КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ
ПОД РУКОВОДСТВОМ ВОЕНИНЖЕНЕРА 1-ГО РАНГА Ф. И. БЕЛОВА

УЧЕБНИК ПО ВОЙСКОВОЙ РАДИОТЕХНИКЕ

Издание третье
исправленное

Scan: Андрей Мятишкин (amyat.narod.ru)

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ВОЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
НАРКОМАТА ОБОРОНЫ СОЮЗА ССР
МОСКВА—1938

Коллектив авторов под руководством военинженера 1-го ранга Ф. И. Белова.

Учебник по войсковой радиотехнике для школ младшего комсостава войск связи РККА. Издание 3-е, исправленное.

Учебник содержит сведения по радиотехнике, которые необходимы для ясного понимания работы и применения современных радиосредств связи.

Весь технический материал, излагаемый в книге, тесно увязан с применением его на практике в войсках, что позволяет пользоваться книгой как справочником по основным вопросам войсковой радиотехники.

Книга также может быть пособием для всего командного и начальствующего состава РККА при изучении материальной части средств радиосвязи.

Исправления, внесенные в 3-е издание книги, отвечают значительно выросшей за последние годы технике радиосвязи, а также тем пожеланиям, которые были высказаны в ряде отзывов на первые издания книги.

В 3-е издание книги внесены описания многоэлектродных ламп, дуплексной схемы приемо-передачи и произведены некоторые изменения в расположении материала.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Условные обозначения 7

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

Глава I. **Проводники и диэлектрики**

1. Электричество, электроны и протоны 13
2. Свободные электроны. Сила электрического тока 15
3. Разность потенциалов. Напряжение 16
4. Сопротивление проводника. Проводимость 18
5. Закон Ома 19
6. Зависимость сопротивления от температуры 21
7. Соединение сопротивлений 22
8. Плотность тока 24
9. Распределение тока в цепи. Первый закон Кирхгофа 25
10. Распределение напряжения вдоль проводника. Потенциометр . . . 27
11. Реостат 29

Глава II. **Тепловые и магнитные действия электрического тока**

12. Тепловое действие тока 31
13. Плавкие предохранители 33
14. Тепловой амперметр 34
15. Энергия, работа и мощность 35
16. Магнетизм 37
17. Магнитное поле и магнитный поток 39
18. Электромагнетизм 41
19. Проволочный телеграф Морзе 43
20. Устройство зуммера 44
21. Амперметры постоянного тока 46
22. Вольтметры 47

Глава III. **Элементы и аккумуляторы (химические источника тока)**

23. Основные свойства химических источников тока 48
24. Соединение батарей 53
25. Гальванические элементы и батареи 57
26. Свинцовые (кислотные) аккумуляторы 62
27. Щелочные аккумуляторы Нифе 65
28. Батареи аккумуляторов 68
29. Зарядка батарей аккумуляторов 72
30. Уход за кислотными аккумуляторами 76
31. Уход за щелочными аккумуляторами 79

Глава IV. **Электрические машины**

32. Электромагнитная индукция 82
33. Величина индуктированной э. д. с. 84

Стр.
34. Некоторые случаи применения электромагнитной индукции 85
35. Самоиндукция 87
36. Преобразование механической энергии в электрическую 90
37. Генераторы постоянного тока (динамомашины) 93
38. Устройство динамомашины 96
39. Типы генераторов постоянного тока 99
40. Моторы постоянного тока 102

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

Глава V. **Понятие о колебаниях и переменном электрическом токе**

41. Механические колебания 112
42. Период и частота 114
43. Собственные и вынужденные колебания 115
44. Применение переменного тока 116
45. Трансформаторы 118
46. Токи звуковой частоты 121
47. Телефон 124
48. Беспроволочная передача электрической энергии 126

Глава VI. **Колебательный контур**

49. Электрические колебания 128
50. Электромагнитные волны 132
51. Зависимость длины волны от емкости и самоиндукции колебательного контура 134
52. Конденсатор 136
53. Емкость 138
54. Конденсаторы постоянной и переменной емкости 139
55. Катушка самоиндукции 144
56. Взаимоиндукция 149
57. Резонанс 151
58. Связь между контурами и различные виды связи 155

Глава VII. **Антенна**

59. Открытый колебательный контур 158
60. Емкость, самоиндукция и собственная длина волны антенны 160
61. Удлинение и укорочение собственной длины волны антенны . . . 161
62. Сопротивление и действующая высота антенны 162
63. Типы антенн 163
64. Направленный прием 167

Глава VIII. **Распространение электромагнитных волн**

65. Рассеивание электромагнитных волн в пространстве 170
66. Поглощение электромагнитной энергии местными предметами . . . 171
67. Влияние атмосферы и земли 172
68. Помехи 173
69. Волны земная и отраженная . . . . . —
70. Мертвые зоны 174
71. Дневные и ночные волны 175
72. Замирание сигналов 177
73. Преимущества и недостатки коротких волн 178
74. Особенности распространения ультракоротких волн . . . . . —

Глава IX. **Электронная лампа**

75. Излучение электронов накаленными телами 179
76. Работа нити накала в вакууме 180
77. Двухэлектродная электронная лампа 181
78. Двухэлектродная лампа как выпрямитель 183
79. Пространственный заряд 184

Стр.
80. Характеристика двухэлектродной электронной лампы 186
81. Трехэлектродная электронная лампа 189
82. Влияние тока накала на ток насыщения 192
83. Параметры лампы 194
84. Многоэлектродные лампы 196
85. Подогревные лампы 206

Глава X. **Лампа как усилитель**

86. Введение 206
87. Искажения при усилении 207
88. Усилители низкой частоты на сопротивлениях 209
89. Усиление низкой частоты на трансформаторах 213
90. Усиление класса *B* и класса *C* 215
91. Применение пентодов для усиления низкой частоты 218
92. Усиление высокой частоты 219
93. Нейтродин 222
94. Усиление на многоэлектродных лампах 226
95. *Автоматический контроль громкости* 231

Глава XI. **Лампа как генератор**

96. Способы получения электрических колебаний 234
97. Устройство лампового генератора . . . . . —
98. Мощность генератора 236
99. Потери на аноде лампы 238
100. Смещение на сетку. Гридлик . . . . . —
101. Настройка лампового генератора 242
102. Генератор с параллельным питанием 243
103. Схемы ламповых генераторов с самовозбуждением 244
104. Поддержание постоянства частоты генератора 245
105. Стабилизация кварцем 247

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

Глава XII. **Ламповые радиопередатчики**

106. Главные части передатчика 249
107. Однокаскадные схемы передатчиков 250
108. Многокаскадные радиопередатчики 251
109. Питание передатчиков 255
110. Усиление и удвоение 257
111. Нейтрализация 258
112. Стабилизация передатчика 262
113. Настройка передатчиков 264
114. Устройство передатчиков 265
115. Понятие о модуляции 266
116. Модуляция на анод 267
117. Модуляция на сетку 271
118. Телеграфирование 273
119. Дуплексная схема радиопередачи 274

Глава XIII. **Лампа как детектор**

120. Понятие о детектировании 277
121. Сеточное детектирование 278
122. Анодное детектирование 283
123. Детектирование при помощи многоэлектродных ламп 286

Глава XIV. **Ламповые приемники**

124. Радиоприем модулированных и незатухающих колебаний 287
125. Чувствительность и избирательность приемников 289
126. Приемник с обратной связью 290

Стр.
127. Супергетеродинные приемники 296
128. Экранирование 301
129. Амортизация 302
130. Особенности устройства коротковолновых приемников и приемников УКВ 303

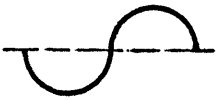
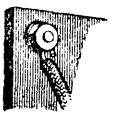
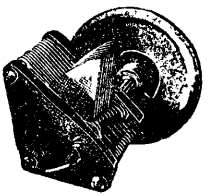
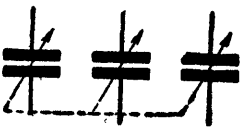
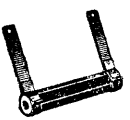
Глава XV. Измерительные приборы для токов высокой частоты

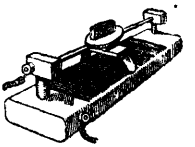
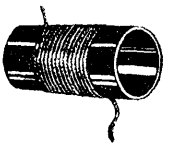
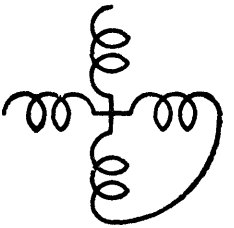
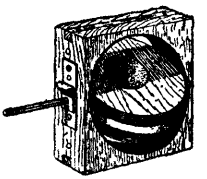
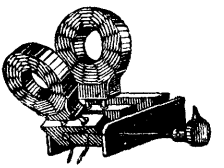
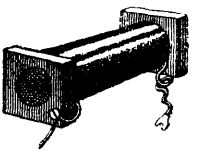
131. Волномер 304
132. Гетеродинный волномер 306
133. Тепловые приборы и термоамперметры 307

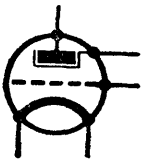
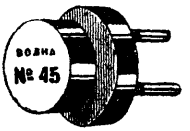
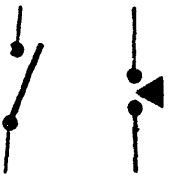
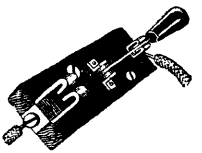
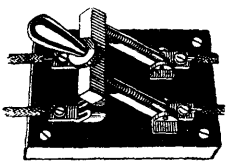
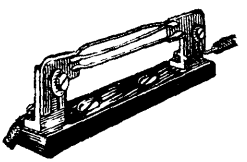
Глава XVI. Помехи радиосвязи в авиации и мотомехчастях

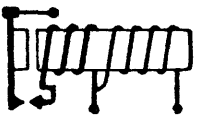
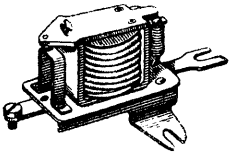
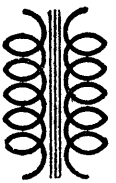
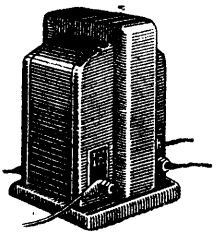
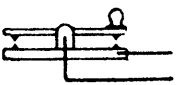
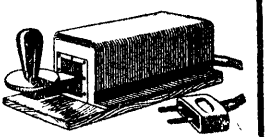
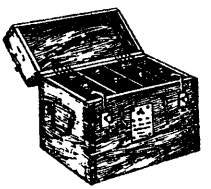
134. Понятие о помехах 309
135. Акустические помехи 311
136. Электрические помехи 314
137. Подавление электрических помех 316

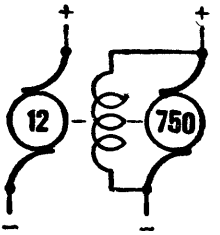
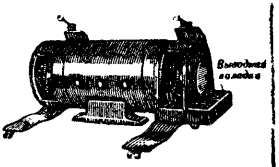
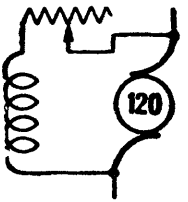
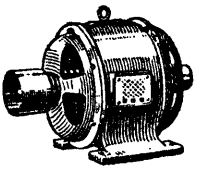
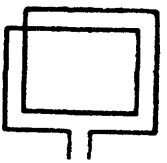
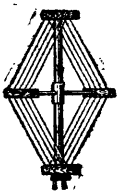
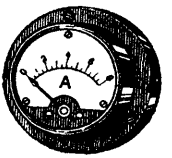
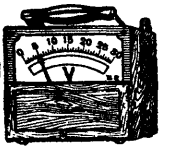
УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

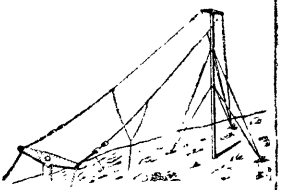
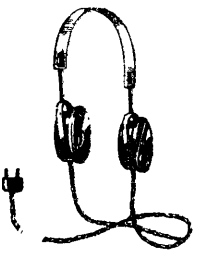
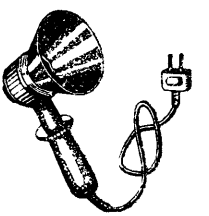
№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
1	Постоянный ток		—
2	Переменный ток		—
3	Заземление или корпус		
4	Конденсатор (емкость)		
5	Конденсатор переменной емкости		
6	Спаренные на одну ось конденсаторы переменной емкости		
7	Сопротивление активное		

№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
8	Сопротивление, изменяемое под током (реостат)		
9	Катушка самоиндукции без железа		
10	Вариометр		
11	Связь индукционная		
12	Катушка самоиндукции с железом		
13	Электронная 2-электродная лампа (кенотрон или диод)		

№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
14	Электронная 3-электродная лампа (триод)		
15	Электронная 4-электродная лампа с экранирующей сеткой (тетрод)		
16	Кварц		
17	Рубильник 1-полюсный (выключатель)		
18	Рубильник 2-полюсный		
19	Плавкий предохранитель		

№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
20	Трубчатый плавкий предохранитель		
21	Реле обратного тока		
22	Трансформатор низкой частоты		
23	Ключ		
24	Батарея элементов или аккумуляторов		

№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
25	Умформер (цифры в кругах указывают напряжение)		
26	Динамомашина (цифры указывают напряжение)		
27	Рамка		
28	Амперметр		
29	Вольтметр		

№ п/п.	Название	Обозначение	Внешний вид
30	Электрическая лампочка		
31	Антенна		
32	Телефон		
33	Микрофон		

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ГЛАВА 1

ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

1. ЭЛЕКТРИЧЕСТВО, ЭЛЕКТРОНЫ И ПРОТОНЫ

Когда мы смотрим на горящую электрическую лампочку, на движущийся трамвай, на говорящий громкоговоритель, то все эти явления кажутся нам простыми и понятными.

В самом деле, лампочка загорается, трамвай движется и громкоговоритель говорит потому, что на них воздействует электричество, которое в виде электрического тока подходит к ним по проводам. Стоит только прекратить доступ электричества, скажем, порвав провода, как лампочка погаснет, трамвай остановится, громкоговоритель замолчит.

Значит, все эти приборы и машины как-то работают от электричества, но как именно и что собой представляет само электричество, какова его природа—вопрос остается неясным. Для объяснения природы электричества существует электронная теория, которая дает некоторое представление о природе электричества.

Если сообщить некоторое количество электричества какому-нибудь предмету, он, как говорят, зарядится; при этом величина заряда будет вполне определенная. Можно ли предмет, или тело, зарядить каким угодно количеством электричества? Оказывается нельзя, так же как нельзя зарядить тело, или предмет, очень малым количеством электричества, меньше некоторой определенной частицы электричества, которая всегда будет одинаковой. Обычно мы сообщаем заряжаемому электричеством телу несколько таких частиц электричества (1, 2, 3 и т. д.), но обязательно целое число. При этом величина самой маленькой частицы электричества будет всегда одинакова.

Если зарядить электричеством несколько тел, то легко заметить, что одни заряженные тела притягиваются друг к другу, другие—отталкиваются. Действительно, если эбонитовую палочку или сургуч натереть сукном, то палочка (сургуч) наэлектризуется и приобретет свойство притягивать к себе маленькие кусочки бумаги, волоски и т. д.

Исследуем это электричество с помощью легкого шарика из бузинной сердцевины (рис. 1), подвешенного на тонкой шелковой нитке. Приблизив к шарику эбонитовую палочку, натертую сукном, легко заметить, что шарик будет притягиваться к палочке, но как только он до нее дотронется, то сейчас же сам

наэлектризуется и оттолкнется от палочки и будет отталкиваться всякий раз, когда мы будем подносить к нему наэлектризованную палочку. Происходит это потому, что тела, заряженные одним и тем же электричеством, отталкиваются друг от друга.

Если коснемся натертой о шелковую материю стеклянной палочкой другого шарика, то явление отталкивания повторится, следовательно, и в этом случае мы имеем отталкивание заряженных одинаковым электричеством тел.

Приближая шарик, заряженный от эбонитовой палочки, к другому шарику, заряженному от стеклянной палочки, заметим, что они притягиваются. Отсюда заключаем, что электричество бывает двух родов, или, как обычно говорят, двух знаков: положительное—от трения стекла о шелковую материю, и отрицательное—от трения эбонита о сукно.

При помощи опытов с заряженными бузиновыми шариками мы убедились, что тела, заряженные одноименным электричеством, положительным или отрицательным, отталкиваются, а заряженные разноименным электричеством притягиваются.

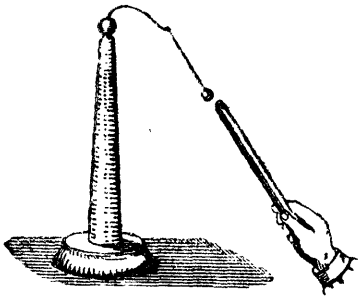


Рис. 1. Бузиновый шарик, зарядившись, отталкивается от наэлектризованной палочки

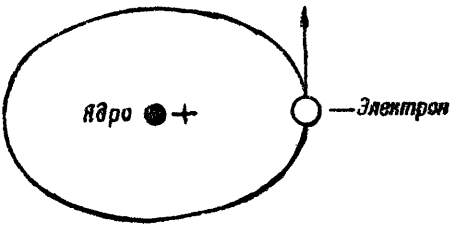


Рис. 2. Строение атома водорода

Таким образом электричество бывает двух родов — положительное и отрицательное, и имеет зернистое строение, так как состоит из частиц (зернышек). Самые маленькие, неделимые зернышки отрицательного электричества называются электронами, а такие же частицы положительного электричества—протонами. Зернышки эти взаимодействуют друг с другом, причем электрон от электрона или протон от протона отталкиваются, а электрон с протоном притягиваются.

Все тела и предметы, которые нас окружают, состоят из молекул (наименьших частиц сложного вещества), а молекулы в свою очередь состоят из мельчайших частиц простого вещества, называемых атомами. Атомы всякого вещества состоят в свою очередь из электронов и протонов. Таким образом, все существующие предметы имеют электрическую природу. Строение атома (рис. 2) можно себе представить так: в середине атома находятся все протоны и часть электронов, которые, группируясь вместе, образуют положительно заряженное ядро атома, так как протонов в ядре всегда больше, чем электронов.

Вокруг этого ядра расположены остальные электроны на разных от него расстояниях. Электроны испытывают со стороны ядра притяжение, причем сила притяжения будет тем меньше, чем дальше электрон отстоит от ядра. Кроме того, электроны вращаются все время вокруг ядра по окружности; очевидно, чем дальше электрон отстоит от ядра, тем большего размера окружность он описывает.

Вращение электронов вокруг ядра происходит, примерно так же, как планеты нашей солнечной системы вращаются вокруг солнца.

В нормальном состоянии всякий атом нейтрален, так как положительный заряд ядра в точности равен сумме отрицательных зарядов всех электронов каждого атома и они взаимно уравновешивают (нейтрализуют) друг друга.

2. СВОБОДНЫЕ ЭЛЕКТРОНЫ. СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

Иногда некоторые электроны отрываются от атома и носятся в пространстве между атомами. Чаще всего это бывает с теми электронами, которые дальше других отстоят от ядра, так как притяжение их к ядру меньше, чем других электронов, и им легче удается оторваться. Такие электроны называются свободными.

В атомах различных веществ электроны не с одинаковой силой притягиваются к ядру: в одних атомах — с большей, в других — с меньшей силой. Поэтому и свободных электронов в одних веществах может содержаться меньшее количество, в других — большее.

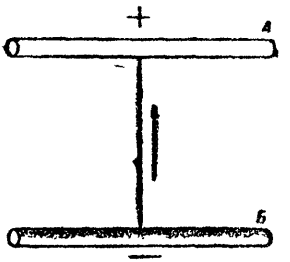


Рис. 3. Движение электронов по проводнику

Тела, которые содержат много свободных электронов и в которых последние могут легко передвигаться, называются проводниками.

Тела, в которых содержится мало свободных электронов и движение их затруднительно, называются непроводниками, или диэлектриками.

Если от атома оторвать один или несколько электронов, то в нем будет преобладать положительный заряд. Атом будет заряжен положительно и будет стремиться притянуть к себе недостающие ему электроны из числа свободных. Таким образом, если от всех атомов какого-нибудь тела оторвать по несколько электронов, то тело окажется заряженным положительно. Наоборот, если телу прибавим некоторое количество электронов, то оно сделается заряженным отрицательно. Пусть у нас имеется 2 металлических тела *А* и *Б* (рис. 3). Тело *А* заряжено положительно, тело *Б*—отрицательно. Следовательно, в теле *А* будет недостаток электронов, а в теле *Б*— избыток их. Если мы расположим тела *А* и *Б* так, чтобы их отделял друг от друга небольшой воздушный промежуток, то положительно заряженное тело *А* будет стремиться притянуть к себе

недостающие электроны из числа избыточных, находящихся в воздушном промежутке и на теле *Б*, но воздушный промежуток, разделяющий тела, не позволит электронам перейти с тела *Б* в тело *А*, так как воздух является непроводником (диэлектриком), а потому движение в нем электронов будет затруднительно.

Пространство между заряженными телами *А* и *Б*, в котором происходит взаимодействие зарядов, называется электрическим полем.

Система двух металлических тел (проводников), разделенных диэлектриком, называется конденсатором, а его свойство вмещать электрические заряды называется емкостью.

Если соединить тело *А* с телом *Б* каким-нибудь проводником, т. е. телом, в котором электроны могут свободно передвигаться, электроны сейчас же устремятся из тела *Б* в тело *А*. Это движение электронов называется электрическим током.

Сила электрического тока определяется количеством электронов, протекающих через проводник в 1 секунду, и обозначается *I*. Так как через проводник, даже при очень малой силе тока, протекает в секунду чрезвычайно большое количество электронов, то измерять силу тока числом электронов затруднительно. Поэтому за единицу силы тока принят такой ток, который, проходя через раствор азотно-серебряной соли, выделяет из нее путем разложения 1,118 миллиграмма[1] чистого серебра в 1 секунду; такая единица силы тока называется ампером и обозначается буквой *А*(*а*). Теперь у нас может возникнуть вопрос: отчего зависит сила тока в проводнике?

3. РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ. НАПРЯЖЕНИЕ

Когда мы соединяли проводником тело *А* с телом *Б*, то видели, что по ним протекал ток.

Чтобы в дальнейшем не было путаницы, надо сделать одну оговорку. Движение электронов направлено от тела *Б* к телу *А*, но за направление электрического тока принято считать обратное направление, т. е. от положительно заряженного тела *А* к отрицательно заряженному телу *Б* (рис. 4).

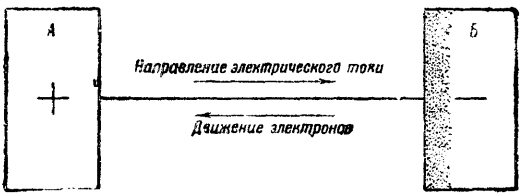


Рис. 4. Направление электрического тока

Это правило было установлено еще до появления электронной теории, когда не знали о движении электронов. Чтобы не изменять установившихся условных обозначений, это правило сохранилось и до сего времени.

Причина, создающая движение электронов и стремящаяся перемещать электрические заряды по проводнику, называется электродвижущей силой и обозначается буквой *Е*.

[1] Миллиграмм—тысячная доля грамма.

Величина тока в проводнике, соединяющем тела *А* и *Б* (рис. 4), будет тем больше, чем больше будет положительный заряд тела *А* (недостаток электронов) и чем больше будет отрицательный заряд тела *Б* (избыток электронов), другими словами, чем больше будет разность зарядов между телами.

Эта разность зарядов называется разностью электрических потенциалов, или напряжением, и обозначается буквой *U*. Чем больше эта разность, тем больше и сила тока. Для лучшего понимания этого вопроса приведем следующее сравнение.

Положим, что два сосуда *А* и *Б* соединены трубкой (рис. 5). В середине трубки пусть будет кран, который пока будем считать закрытым. Нальем в сосуды воду таким образом, чтобы уровень ее h_1 в сосуде *А* был значительно выше уровня h_2 в сосуде *Б*. Откроем кран.

Вода под влиянием разности уровней потечет из сосуда *А* в сосуд *Б*. При этом можно заметить, что вначале, когда разность уровней самая большая, течение воды в трубке будет самое быстрое; по мере же уменьшения разности в уровнях быстрота течения будет уменьшаться. Когда высоты уровней воды в сосудах сравняются, исчезнет разность уровней, и движение воды прекратится вовсе. Подобное же явление мы имеем и в случае электрического тока, в примере с телами *А* и *Б* (рис. 3). Сила электрического тока, как мы видели, также зависит от величины разности „уровней" электрических зарядов, т. е. от величины напряжения. Чем больше эта последняя, тем больше будет и сила тока. Когда же „уровни" электрических зарядов сравняются, то и сила тока прекратится. Чтобы ток не прекращать, а сохранять его величину постоянной, нужно все время поддерживать постоянной и разность „уровней" электрических зарядов. В электротехнике для этой цели служат источники электрического тока. Если мы какой-нибудь источник электрического тока, например батарейку от карманного фонаря, присоединим к концам проводника, то батарейка создаст на них некоторую разность потенциалов, или напряжение, и будет поддерживать ее постоянной. В силу этого по проводнику потечет ток постоянной силы. Таким образом, сила электрического тока зависит от величины разности потенциалов на концах проводника, или от величины напряжения. Так как величина напряжения может быть различной, то ее нужно уметь как-то измерять. Единица измерения разности потенциалов, или напряжения, называется вольтом[1] и обозначается буквой *b*, а в международном обозначении—латинской буквой *V*.

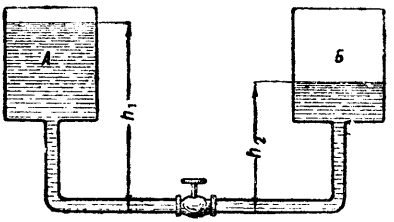


Рис. 5. Движение жидкости

[1] Определение единицы напряжения „1 вольт" см. § 5.

4. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОВОДНИКА. ПРОВОДИМОСТЬ

Кроме напряжения, сила электрического тока зависит также и от сопротивления проводника, по которому течет ток. Раньше мы уже упоминали, что различные материалы не одинаково проводят ток. Чем больше в материале свободных электронов, тем легче они могут в нем двигаться, тем меньше его сопротивление. Наоборот, чем меньше свободных электронов в теле, чем более затруднено их движение, тем больше будет и сопротивление тела. Так, например, сопротивление меди сравнительно невелико, сопротивление же железа больше сопротивления меди в $7\frac{1}{2}$ раз, а сопротивление диэлектриков превышает сопротивление проводников в миллионы раз. Следовательно, величина сопротивления весьма сильно зависит от рода материала проводника.

Раньше мы видели, что сила электрического тока измерялась амперами, напряжение, или разность потенциалов, — вольтами. Точно так же и для сопротивления установлена своя единица измерения. Единица измерения электрического сопротивления называется омом и представляет сопротивление электрическому току столба ртути длиной 106,3 *см* при поперечном сечении 1 *кв. мм* и при температуре таяния льда (0°).

Ом принято обозначать ом или греческой буквой Ω.

Величина, характеризующая способность данного материала сопротивляться прохождению электрического тока и зависящая от рода материала, называется удельным сопротивлением и представляет сопротивление провода (в омах) длиной в 1 *м* при поперечном сечении 1 *кв. мм*. Обозначается удельное сопротивление через ρ (ро).

Чем меньше удельное сопротивление материала, тем лучше он будет проводить ток.

Ниже приводится для сравнения таблица удельных сопротивлений некоторых материалов. Из табл. I видно, что наибольшим удельным сопротивлением из числа приведенных здесь металлов обладает никелин.

ТАБЛИЦА I

Удельные сопротивления и удельные проводимости металлов

Металл	Удельное сопротивление при 20° Ц	Удельная проводимость при 20° Ц	Металл	Удельное сопротивление при 20° Ц	Удельная проводимость при 20° Ц
Алюминий	0,029	34	Никелин .	0,40—0,44	2,5
Свинец . .	0,20	5	Ртуть . .	0,95	1,063 (0° Ц)
Железо .	0,10—0,14	10	Серебро .	0,0164—0,0175	61
Сталь . .	0,167—0,25	6	Вольфрам	0,05	20 (0° Ц)
Медь . .	0,018	57	Олово . .	0,012	8,4
Латунь . .	0,08	12,5			

Другая величина, также зависящая от материала и характеризующая способность его проводить электрический ток, называется удельной проводимостью. Чем больше удельная проводимость материала, из которого сделан проводник, тем лучше он будет проводить ток, а это значит, что тем меньше будет его удельное сопротивление. Следовательно, удельное сопротивление и удельная проводимость находятся между собой в обратном отношении, т. е.

$$\text{удельная проводимость} = \frac{1}{\text{удельное сопротивление}}.$$

Как удельное сопротивление характеризует сопротивление проводника, так и удельная проводимость характеризует общую проводимость. Чем больше проводимость проводника, тем лучше он будет проводить ток, следовательно, тем меньше его сопротивление. Значит, и проводимость провода с его сопротивлением находятся в обратной зависимости, т. е.

$$\text{проводимость} = \frac{1}{\text{сопротивление}}.$$

Проводимость провода мы получим, если единицу разделим на его сопротивление.

Сопротивление проводника зависит не только от свойств материала, но и от его размеров, от его длины и толщины. Чем длиннее и тоньше будет проводник, тем больше будет его сопротивление прохождению тока. Наоборот, чем короче и толще проводник, тем легче и свободнее будут двигаться электроны, тем меньше им придется испытывать сопротивления на своем пути, значит сопротивление проводника будет меньше. Если же проводник будет тонкий и длинный, то он будет больше препятствовать движению электронов, и, значит, сопротивление его будет больше. Следовательно, если мы хотим иметь проводник с большим сопротивлением, то мы должны будем взять его, во-первых, из материала с большим удельным сопротивлением (например никелин), во-вторых, длинным и тонким. Если мы возьмем короткий и толстый проводники с малым удельным сопротивлением, то будем иметь малое сопротивление.

Вообще сопротивление обозначается через R и определяется из соотношения:

$$R = \rho \frac{l}{q},$$

где ρ — удельное сопротивление в омах;
l — длина провода в *м*;
q — поперечное сечение в *мм*^{2}.

5. ЗАКОН ОМА

Между тремя электрическими величинами (напряжением, силой тока и сопротивлением) существует строгая зависимость.

Допустим, мы имеем проводник с сопротивлением в 1 ом; присоединим к его концам какой-нибудь источник энергии,

скажем, гальванический элемент с напряжением в 1 вольт, тогда по проводнику потечет ток ровно в 1 ампер.

Если теперь напряжение, или разность потенциалов, на концах проводника увеличить вдвое, допустим, сделать 2 вольта, то и сила тока увеличится вдвое, будет 2 ампера.

Таким образом, увеличивая напряжение, мы тем самым увеличиваем и силу тока, причем во сколько раз мы увеличили напряжение, во столько же раз увеличилась и сила тока, если сопротивление проводника оставалось постоянным.

Если мы теперь при постоянной разности потенциалов на концах проводника в 1 вольт будем увеличивать сопротивление вдвое, допустим, сделаем его равным 2 омам, то сила тока в проводнике уменьшится также вдвое, т. е. будет 0,5 ампера.

Таким образом, увеличивая сопротивление проводника, мы тем самым уменьшаем силу тока, причем во сколько раз мы увеличили сопротивление проводника, во столько же раз уменьшилась сила тока, если разность потенциалов (напряжение тока) оставалась постоянной.

Эта зависимость между силой тока, напряжением (разностью потенциалов) и сопротивлением проводника была установлена немецким ученым Омом и названа законом Ома.

Эту зависимость можно представить в следующем виде:

$$\text{сила тока} = \frac{\text{напряжение (разность потенциалов)}^1}{\text{сопротивление}},$$

или

$$I = \frac{U}{R}.$$

Путем преобразований из данного выражения можно получить другое:

напряжение (разность потенциалов) = силе тока × сопротивление, или

$$U = IR.$$

Путем дальнейших преобразований получаем третье выражение закона Ома:

$$\text{сопротивление} = \frac{\text{напряжение (разность потенциалов)}}{\text{сила тока}},$$

или

$$R = \frac{U}{I}.$$

При помощи этих соотношений по двум величинам можно найти третью. Если мы имеем напряжение, равное 6 вольтам, а сопротивление—3 ома, то сила тока по первому выражению будет:

$$\text{сила тока} = \frac{6 \text{ вольт}}{3 \text{ ома}} = 2 \text{ ампера}.$$

---

[1] Обычно закон Ома выводится для электродвижущей силы E в форме $I = \frac{E}{R}$. Чтобы не усложнять вопроса, мы не оттеняем различья между э.д.с. (E) и напряжением (U).

Если сила тока равна 3 амперам, а сопротивление—4 омам, то по второму выражению имеем:

напряжение = 3 амперам × 4 ома = 12 вольт.

При напряжении в 15 вольт и силе тока в 1,5 ампера из третьего выражения находим величину сопротивления:

$$\text{сопротивление} = \frac{15 \text{ вольт}}{1{,}5 \text{ ампера}} = 10 \text{ ом}.$$

Закон Ома является одним из самых основных законов электротехники и имеет весьма частое практическое применение.

Из формулы закона Ома мы можем дать определение единицы электрического напряжения.

Вольт есть такое электрическое напряжение, которое в проводнике, имеющем сопротивление в 1 ом, создает ток силой в 1 ампер.

6. ЗАВИСИМОСТЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ

Раньше нами было выяснено, что сопротивление проводника зависит от его материала и размеров. Сопротивление проводника зависит также от температуры, до которой он нагрет. Чем сильнее нагрет проводник, чем большую температуру он имеет, тем больше будет и его сопротивление и, наоборот, чем больше охлажден проводник, чем ниже его температура, тем и сопротивление его будет меньше.

Но не все тела ведут себя таким образом; некоторые из них, например уголь, при повышении температуры дают меньшее сопротивление. Каждое тело при нагревании на 1° изменяет свое сопротивление на вполне определенную часть от своей первоначальной величины. Величина этой части сопротивления называется температурным коэфициентом. Значения этих коэфициентов для некоторых тел приведены в помещаемой ниже табл. II.

ТАБЛИЦА II

Температурные коэфициенты электрического сопротивления различных металлов

Материал	Температурный коэфициент электрического сопротивления между 0 и 100° Ц	Материал	Температурный коэфициент электрического сопротивления между 0 и 100° Ц
Алюминий . . .	+ 0,0037	Никелин	+ 0,00022
Свинец	+ 0,00417	Ртуть	+ 0,00090
Железо	+ 0,0045	Серебро	+ 0,0036
Сталь	+ 0,0045	Вольфрам . . .	+ 0,0047
Медь	+ 0,0043	Олово	+ 0,0045
Латунь	+ 0,0015		

Зная сопротивление проводника при какой-нибудь температуре, можно определить сопротивление этого проводника при любой другой температуре.

Пусть при температуре в 0° мы имеем медный проводник с сопротивлением в 10 омов. Величина сопротивления этого проводника при другой температуре изменится. Давайте вычислим, какое будет его сопротивление при температуре + 40° и —50°.

Температурный коэфициент меди по табл. II равен +0,004, т. е. на четыре тысячных доли своей первоначальной величины увеличится сопротивление проводника при нагревании на 1°. Таким образом сопротивление проводника при нагревании на 1° увеличится на

$$10 \cdot 0{,}004 = 0{,}04 \text{ ома},$$

а при нагревании до 40° увеличится на

$$0{,}04 \cdot 40 = 1{,}6 \text{ ома},$$

т. е. сопротивление при + 40° будет равняться:

$$10 + 1{,}6 = 11{,}6 \text{ ома}.$$

При охлаждении же проводника до температуры 50° ниже нуля сопротивление уменьшится на

$$0{,}04 \cdot 50 = 2 \text{ ома}$$

и будет равняться:

$$10 - 2 = 8 \text{ омам}.$$

7. СОЕДИНЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Если мы к проводу длиной в 1 *м* и с сопротивлением в 1 ом прибавим совершенно такой же провод, то это равносильно тому, что мы вдвое удлиним провод. Но мы уже знаем, что, удлиняя провод вдвое, мы увеличиваем и сопротивление вдвое, т. е. общее сопротивление проводников будет 2 ома.

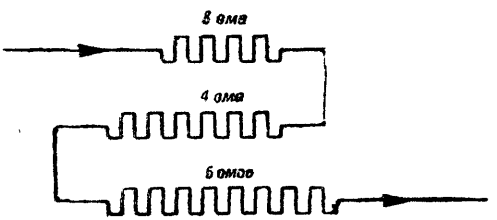


Рис. 6. Последовательное соединение

Если бы мы к проводу в 2 ома присоединили провод в 4 ома так, чтобы один служил продолжением другого, то получили бы общее сопротивление их, равное 6 омам. Такое соединение проводов, при котором путь для прохождения тока удлиняется так, что ток сначала должен пройти через один провод, затем через другой, называется последовательным соединением. При последовательном соединении проводов общее сопротивление их уве-

личивается и равняется сумме сопротивлений отдельных проводников.

Если последовательно соединим проводники в 3, 4 и 5 омов (рис. 6), то общее сопротивление будет:

$$3 + 4 + 5 = 12 \text{ омов.}$$

Посмотрим теперь, каково будет общее сопротивление двух или нескольких проводников, если мы соединим их так, как указано на рис. 7. Пусть мы таким способом соединяем с проводником в 2 ома проводник в 4 ома. Прибавляя так к проводнику в 2 ома проводник в 4 ома, мы как бы увеличиваем его толщину и, следовательно, уменьшаем его сопротивление. Общее сопротивление будет меньше, чем 2 ома. Ток в данном случае идет по двум параллельным ветвям. Такое соединение проводов, при котором ток идет по нескольким параллельным путям, называется параллельным соединением проводов. Часто параллельное соединение называют шунтовым, а само сопротивление, подключаемое параллельно,—шунтом.

При параллельном соединении общее сопротивление проводов будет всегда меньше сопротивления любого отдельного провода и будет тем меньше, чем больше параллельных сопротивлений будет соединено. Если обратиться к проводимостям, то общая проводимость при параллельном соединении проводников равняется сумме отдельных их проводимостей.

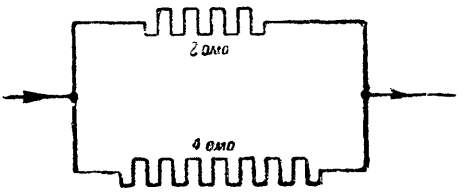


Рис. 7. Параллельное соединение

Если мы имеем три сопротивления в 2, 4 и 8 омов, то проводимость их, как мы уже знаем, будет соответственно $^1/_2$, $^1/_4$ и $^1/_8$.

Если мы соединим проводники параллельно, то общая проводимость будет:

$$^1/_2 + ^1/_4 + ^1/_8 = ^7/_8,$$

и, следовательно, общее сопротивление будет равняться:

$$\text{общее сопротивление} = \frac{1}{\text{общая проводимость}} = \frac{1}{^7/_8} = ^8/_7 = 1^1/_7 \text{ ома}$$

На практике очень часто пользуются как последовательным, так и параллельным соединениями. Положим, у нас имеются 2 электрических лампочки по 110 вольт; напряжение сети, к которой мы должны их приключить, 220 вольт. Если мы приключим лампочку прямо на напряжение сети, то, так как напряжение сети больше в 2 раза, чем нужно, и сила тока через лампочку пойдет тоже в 2 раза больше,—лампочка перегорит. Чтобы сохранить лампочку, надо вдвое увеличить ее сопротивление. Это достигается тем, что лампочки включают после-

довательно, как указано на рис. 8. Если у нас имеется осветительная сеть на 110 вольт, то электрические лампочки надо включить параллельно (рис. 9).

Сочетание параллельного и последовательного соединения называется смешанным (рис. 10). Этот вид соединений, как

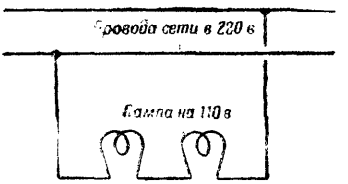


Рис. 8. Последовательное соединение лампочек

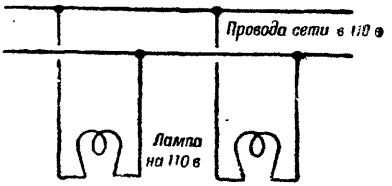


Рис. 9. Параллельное соединение лампочек

увидим в дальнейшем, имеет наибольшее распространение. Чтобы определить общее сопротивление всей системы проводов, входящих в смешанное соединение, сначала находят вели-

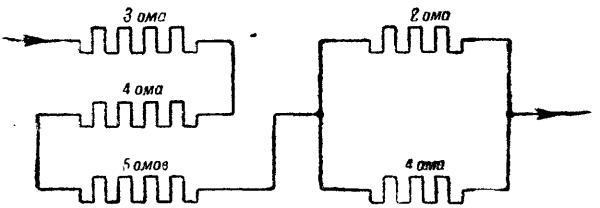


Рис. 10. Смешанное соединение сопротивлений

чину сопротивления параллельно соединенных проводов, затем полученную величину сопротивления складывают с величинами последовательно соединенных проводов.

8. ПЛОТНОСТЬ ТОКА

В дальнейшем мы увидим, что ток, протекая по проводнику, его нагревает. Чем больше будет сила тока, протекающая по проводнику, тем сильнее нагреется последний. Если пропустить один и тот же ток через 2 проводника из одного материала и одинаковой длины, но различной толщины, то более тонкий проводник нагреется сильнее толстого. Чем больше будет разница между проводниками одного и того же материала в толщине, тем больше будет разница и в нагреве, несмотря на то что ток по проводникам проходит одинаковой силы. Пусть мы имеем 2 медных проводника. Толстый имеет сечение в 10 *мм*^{2}, тонкий—в 1 *мм*^{2}. Пропуская по ним ток силой в 5 ампер, заметим, что толстый проводник нагреется очень слабо, в то время

как тонкий нагреется значительно сильнее. Отчего же зависит нагрев и чем он определяется?

Нагрев будет тем больше, чем больше будет сила тока, приходящаяся на единицу поперечного сечения проводника.

Сила тока, приходящаяся на 1 *мм*² поперечного сечения проводника, называется плотностью тока. Чем больше будет плотность тока в проводнике, тем сильнее он нагреется, и наоборот. Чтобы узнать плотность тока, надо силу тока, протекающего по проводнику, выраженную в амперах, разделить на его поперечное сечение, выраженное в *мм*². В нашем примере плотность тока в толстом проводнике будет равна:

$$5 \text{ ампер: } 10 \text{ мм}^2 = {}^1/_2 \frac{\text{ампер}}{\text{мм}^2}$$

и в тонком проводнике будет:

$$5 \text{ ампер: } 1 \text{ мм}^2 = 5 \frac{\text{ампер}}{\text{мм}^2}.$$

Таким образом мы видим, что плотность тока в тонком проводнике будет в 10 раз больше, чем в толстом, потому он и греется значительно сильнее. Чтобы пропустить ток определенной силы по проводнику, надо выбрать его толщину такой, чтобы плотность тока не превосходила некоторой допустимой величины. Тогда нагрев провода будет невелик. Такой допустимой величиной плотности тока для меди практически можно считать около 2 ампер на 1 *мм*². При этой плотности тока для силы тока в 5 ампер надо взять провод сечением в

$$5 \text{ ампер: } 2 \frac{\text{ампер}}{\text{мм}^2} = 2{,}5 \text{ мм}^2.$$

Для определения допустимого значения силы тока в проводниках при данном сечении пользуются особыми таблицами.

Значения силы тока будут различными в зависимости от того, голый или изолированный проводник определенного материала мы имеем. В голых и тонких проводниках может быть допущена бо́льшая плотность тока, чем в изолированных.

9. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТОКА В ЦЕПИ. ПЕРВЫЙ ЗАКОН КИРХГОФА

Посмотрим теперь, как распределяется ток в электрической цепи, и познакомимся с некоторыми законами электрического тока.

Электрической цепью называется один или ряд проводников, включенных в источник электрического тока.

Если цепь не имеет разветвлений, то в каждый данный момент сила тока во всех точках цепи будет одинаковой. Так, например, если сила тока у начала источника равна 1 амперу, то и на расстоянии десятка метров в этой же цепи сила тока

будет равна 1 амперу. Каким же образом распределится ток, если цепь имеет разветвления, т. е. состоит из нескольких проводников, включенных параллельно в один и тот же источник тока? На рис. 11 изображена батарея, к которой параллельно присоединены 3 проводника разных сопротивлений. Эти проводники присоединены к батарее в точках *а* и *б*. В этих точках общий ток, идущий из батареи, разветвляется по ветвям на 3 части, причем, если бы сопротивления ветвей были одинаковы, то и ток по ним протекал бы одинаковый. Но так как сопротивления ветвей (проводников) различные, то ток распределяется в них таким образом, что по ветви с самым большим сопротивлением потечет самый малый ток, по ветви с меньшим сопротивлением потечет ток больше и, наконец, самый большой ток потечет по ветви с самым малым сопротивлением. При этом через проводник с меньшим сопротивлением будет протекать во столько раз больший ток, чем через проводник с большим сопротивлением, во сколько раз сопротивление первого проводника меньше сопротивления второго. Это обстоятельство можно проверить, пользуясь законом Ома.

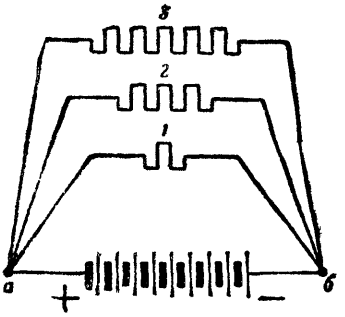


Рис. 11. Распределение тока в проводах

Пусть батарея дает напряжение в 24 вольта, а сопротивление первого проводника (ветви) будет 2 ома, второго—3 ома и третьего—4 ома.

Тогда по закону Ома силу тока в каждом проводнике можно определить так:

$$\text{сила тока в первом проводнике} = \frac{24}{2} = 12 \text{ ампер},$$

$$\text{сила тока во втором проводнике} = \frac{24}{3} = 8 \text{ ампер},$$

$$\text{сила тока в третьем проводнике} = \frac{24}{4} = 6 \text{ ампер},$$

т. е. отсюда видно, что, так как сопротивление первого проводника меньше сопротивления третьего в 2 раза, то сила тока в первом проводнике получилась в 2 раза больше, чем сила тока в третьем. Можно определить, какой ток дает сама батарея, т. е. ток, притекающий в точку *а* или вытекающий из точки *б*. Для этого сначала нужно определить по вышеописанному способу общую проводимость цепи как сумму отдельных проводимостей ветвей, т. е.

$$\text{общая проводимость} = {}^1/_2 + {}^1/_3 + {}^1/_4 = {}^{13}/_{12} \text{ и}$$

$$\text{общее сопротивление} = 1 : \frac{13}{12} = \frac{12}{13} \text{ ома}.$$

Искомая же сила тока от батареи будет 24 вольта: $\frac{12}{13}$ ома = = 26 ампер.

Эта сила тока равняется сумме токов в отдельных ветвях цепи.

В самом деле:

$$12 + 8 + 6 = 26 \text{ ампер.}$$

Таким образом мы видим, что к точке *а* притекает из батареи ток силой в 26 ампер и такой же силы ток, в общей сложности, от нее вытекает в проводники. То же самое можно сказать и про точку *б*. Следовательно, можно сказать, что в той точке, где проводники вместе сходятся или расходятся, т. е. в точке разветвления, сумма токов вытекающих равняется сумме токов притекающих.

Этот закон в электротехнике называется первым законом Кирхгофа.

10. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ВДОЛЬ ПРОВОДНИКА. ПОТЕНЦИОМЕТР

Отвечая на вопрос, как распределяется сила тока в проводнике, мы видели, что она остается постоянной во всех точках проводника в данный момент времени. Но что будет происходить с напряжением (разностью потенциалов), каково будет его распределение вдоль проводника? Чтобы ответить на это, надо опять привести сравнение со свойствами воды. Пусть имеем для примера некоторую водонапорную башню (рис. 12), от которой по земле проложена труба, имеющая по своей длине ряд отверстий. Когда вода из башни пойдет по трубе, то она будет бить фонтаном из отверстий; при этом чем ближе отверстие расположено к башне, тем выше будет бить фонтан. Высота фонтана будет уменьшаться по мере удаления отверстия от башни. Отсюда можно заключить, что вдоль всей трубы происходит падение давления, причем это падение наступает постепенно вдоль всей трубы. Самое большое давление имеет место возле водонапорной башни, самое малое—на другом конце трубы. Разность давлений между началом и концом трубы будет наибольшей. Подобная картина имеет место и для распределения электрического напряжения. Если ток пропустить через проводник, имеющий определенное сопротивление, то по всей его длине будет происходить постепенное падение напряжения, т. е. постепенный переход от более высокого электрического „уровня" к более низкому. На концах проводника будет самая большая разность потенциалов, между всеми же промежуточными точками проводника эта разность будет меньше. Чем

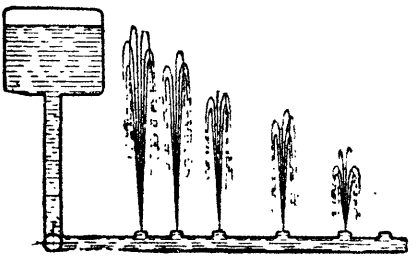


Рис. 12. Падение давления жидкости в трубе

ближе эти точки отстоят друг от друга, тем меньше между ними будет разность потенциалов.

Это свойство падения напряжения в электрической цепи используют, когда желают получить от источника тока напряжение, меньшее того, которое он дает. В таких случаях применяют особый прибор, называемый потенциометром (делителем напряжения).

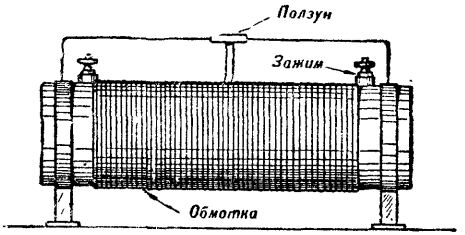


Рис. 13. Потенциометр

Потенциометр имеет обычно вид фарфорового или асбестового цилиндра, на который намотана длинная тонкая проволока с большим удельным сопротивлением (например никелин). По виткам этой проволоки движется ползун (рис. 13). Начало и конец навитой проволоки присоединяются к зажимам, к ним же присоединяется и источник тока, напряжение которого желательно уменьшить.

Рассмотрим, как действует потенциометр. Пусть нам нужно получить для питания радиоприемника напряжение в 80 вольт от осветительной сети постоянного тока в 220 вольт. Для этого необходимо оба зажима потенциометра соединить при помощи проводников со штепсельной розеткой, а один из зажимов (зажим *2*) и ползунок соединить проводниками с соответствующими клеммами приемника (рис. 14).

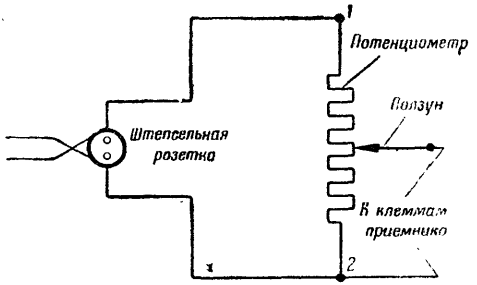


Рис. 14. Питание радиоприемника от сети через потенциометр

При прохождении тока через потенциометр в нем будет происходить падение напряжения. На зажимах потенциометра *1* и *2* мы будем иметь все 220 вольт, а между зажимом *2* и ползунком напряжение вследствие падения напряжения вдоль всей обмотки будет меньше. И это напряжение будет все время уменьшаться по мере приближения ползуна к зажиму *2*. Если ползун поставить посредине, то напряжение между зажимами *1* и *2* разделится пополам, т. е. будет по 110 вольт. Двигая плавно ползун между зажимами *1* и *2*, можем получить плавное изменение напряжения от 0 до 220 вольт.

Очевидно, при некотором положении ползуна можно получить 80 вольт для питания радиоприемника. Так как во время работы потенциометра через него все время проходит ток и, следовательно, расходуется энергия, то, чтобы этой непроизводительной потери энергии было меньше, потенциометр должен иметь большое сопротивление.

11. РЕОСТАТ

Очень часто встречается надобность изменять в электрической цепи силу тока. Этой цели служит прибор, называемый реостатом. Реостат представляет собой сопротивление, величину которого мы можем по желанию менять. Включая его последовательно в цепь, мы тем самым увеличиваем сопротивление цепи и, следовательно, по закону Ома уменьшаем силу тока. Чем больше витков реостата введем в цепь, тем больше увеличим ее сопротивление и тем меньшая сила тока будет по ней протекать. Наоборот, желая увеличить силу тока в цепи, выводим постепенно сопротивление реостата, включенного в нее, уменьшая тем самым общее сопротивление цепи. Пусть электрическая цепь имеет сопротивление в 5 ом и включена на напряжение 20 вольт. Сила тока в ней будет:

$$20 : 5 = 4 \text{ ампера.}$$

Если в ту же цепь включить реостат с сопротивлением в 15 ом, то, введя его полностью, будем иметь силу тока в цепи, равную:

$$20 : (15 + 5) = 1 \text{ ампер.}$$

Таким образом в данном случае реостатом можем изменять ток в цепи в пределах от 1 до 4 ампер. Обычно концы обмотки реостата, а также целого ряда других электрических приборов выводят под специальные контактные зажимы. При включении этих приборов в электрическую цепь провода цепи поджимают под упомянутые контактные зажимы, при этом провода с зажимами образуют, как говорят, контакт. Контакт имеет сопротивление прохождению тока. Это сопротивление будет различно в зависимости от качества контакта, т. е. от плотности поджатия провода под зажимы. Чем плотнее и большей плоскостью соприкасается провод с зажимом, тем лучше контакт, тем меньшим он будет обладать сопротивлением. При неаккуратном зажатии провода, плохом контакте сопротивление последнего может достичь большой величины. Точно так же не совсем хороший контакт получается при соединении двух проводов, когда их друг с другом свивают. Электронам значительно трудней перескочить место скрутки одного провода с другим, чем двигаться просто по проводнику.

Чтобы улучшить контакт при соединении проводов, место соединения обычно пропаивают оловом.

На практике очень часто случается, что сопротивление электрической цепи вдруг резко уменьшается. Это происходит, когда параллельно данной цепи к источнику тока присоединяется проводник с незначительным сопротивлением. Тогда почти весь ток бросится по этому проводнику, а не пойдет в цепь, причем сила тока в нем по закону Ома будет весьма большой. Такое явление называется коротким замыканием цепи.

Положим, имеем осветительную сеть, в которую включен целый ряд параллельно соединенных электрических лампочек (рис. 15). Допустим теперь, что провода сети, идущие от источника тока, соединились каким-либо образом проводником *аб* с малым сопротивлением; тогда почти весь ток от источника бросится по пути с малым сопротивлением, а в лампочки ток почти не пойдет. Так как сопротивление цепи прохождению тока благодаря проводнику *аб* значительно уменьшится, то сила тока в нем, а также в части цепи от источника тока до проводника *аб* значительно вырастет. Этот ток короткого замыкания достигает обычно такой величины, что может попортить провода и электрические приборы, включенные в ту часть цепи, по которой он проходит. Поэтому для предохранения проводов и приборов от токов короткого замыкания в цепь включают предохранители. Предохранитель представляет собой устройство, обычно значительно более дешевое, чем провода и приборы, которые он предохраняет; предохранитель при некотором опасном увеличении тока в цепи перегорает и тем самым прерывает в цепи ток.

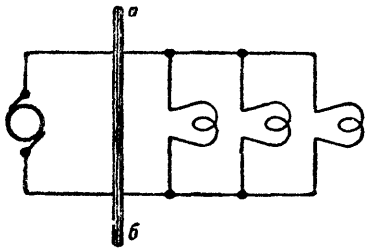


Рис. 15. Короткое замыкание

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Атом всякого вещества имеет электроны и протоны; почему же в нормальном состоянии он все-таки не заряжен?
2. В каком теле число протонов больше числа электронов: в положительно или в отрицательно заряженном?
3. Как принято считать направление тока?
4. Что является причиной движения электронов?
5. Если в теле мало свободных электронов, каким будет его сопротивление—большим или малым?
6. Имеем 2 проводника одинаковых размеров. Удельная проводимость одного проводника в 2 раза больше, чем удельная проводимость другого проводника. Какой из этих проводников обладает бо́льшим сопротивлением и насколько?
7. Насколько изменится сопротивление проводника, если мы увеличим его длину в 2 раза, а толщину (сечение) уменьшим вдвое?
8. Как и насколько изменится сила тока в проводнике, если его длину укоротить в 2 раза? Напряжение на проводе и сечение его постоянно.
9. Как изменится сила тока в проводнике, если напряжение на концах проводника и сопротивление проводника увеличить в 3 раза?
10. Если нагревать проводник, находящийся под током, будет ли в нем сила тока меняться и как?
11. Имеем 2 совершенно одинаковых проводника. Соединяем их первый раз последовательно, второй раз параллельно. Указать, во сколько раз общее сопротивление в первом случае будет больше, чем общее сопротивление во втором?
12. Насколько изменится плотность тока, если сечение проводника уменьшить в 2 раза, а силу тока в нем увеличить в 4 раза?

ГЛАВА II

ТЕПЛОВЫЕ И МАГНИТНЫЕ ДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА

12. ТЕПЛОВОЕ ДЕЙСТВИЕ ТОКА

Зажженная электролампа становится горячей, — в этом легко убедиться, прикоснувшись к ней рукой. Следовательно, электрический ток, проходя через лампу, не только дает свет, но и выделяет тепло. Рассмотрим это явление нагрева более внимательно, для чего проделаем следующий опыт.

Возьмем моток звонковой проволоки длиной в 30 *м* и присоединим его концы к 6-вольтовой аккумуляторной батарее. Так как сопротивление проволоки будет около 1 ома, то по ней пойдет ток силою около 6 ампер, и проволока будет заметно нагреваться. Отчего же происходит нагрев проволоки, когда по ней идет ток? Чтобы уяснить себе это явление, возьмем небольшой кусок какого-нибудь металла, например свинца, и будем ударять по нему молотком. Ударами молотка можно разогреть свинец так, что его нельзя будет держать в руках. С первого взгляда кажется, что нет ничего общего между прохождением тока и ударами молотка по свинцу, однако, если вдуматься в сущность прохождения тока, мы увидим, что сходство есть и даже очень большое. В самом деле, из первой главы мы уже знаем, что электрический ток представляет собой движение электронов по проводнику. Электроны, встречая при своем движении атомы и молекулы проводника, ударяются о них и в результате этих ударов проводник нагревается так же, как и свинец под ударами молотка.

Попробуем в нашем опыте присоединить к аккумулятору не весь моток в 30 *м* проводника, а только 15 *м*. От этого сопротивление уменьшится в 2 раза, и, следовательно, по закону Ома, ток возрастет в 2 раза, т. е. сопротивление проволоки будет $^1/_2$ ома, а ток—12 ампер. Проволока будет нагреваться заметно сильнее, чем в первом случае. Нагрев проволоки будет также увеличиваться, если мы будем увеличивать напряжение аккумуляторной батареи, присоединяя последовательно еще аккумуляторы. Английский физик Джауль доказал, что количество тепла, выделенного током, зависит от силы тока, напряжения и времени прохождения тока, т. е. чем больше сила тока I, чем больше напряжение E и время прохождения тока t, тем больше количество выделенной теплоты Q. Последняя в калориях (тепловых единицах) [1] равна:

$$Q = 0{,}24\,IEt,$$

а так как

$$E = IR,$$

то

$$Q = 0{,}24\,I^2Rt.$$

[1] Калория — единица измерения количества тепла. Одна калория представляет такое количество тепла, которое может нагреть 1 *г* воды на 1° Ц.

Для пояснения этой зависимости обратимся опять к нашему сравнению с ударами. Всякому ясно, что нагрев свинца от ударов молотка тем больше, чем сильнее будут удары и чем большее количество ударов мы сделаем. То же самое и в случае прохождения тока. При повышении напряжения электроны будут двигаться быстрее и, следовательно, сильнее ударяться об атомы и молекулы проводника, отчего проводник нагреется сильнее. При увеличении силы тока количество электронов, проходящих через проводник, увеличится, что вызовет увеличение количества ударов. А увеличение количества ударов в свою очередь вызовет увеличение нагрева проводника.

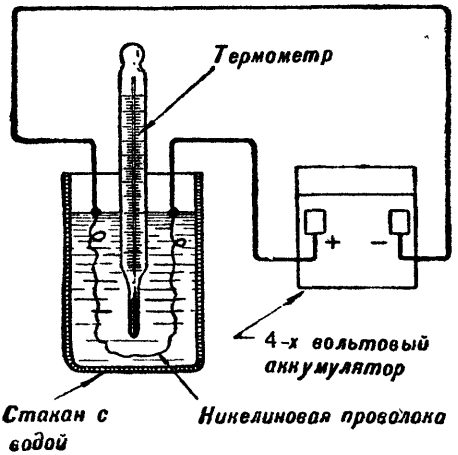


Рис. 16. Нагревание воды в стакане при пропускании тока через проволоку, опущенную в воду

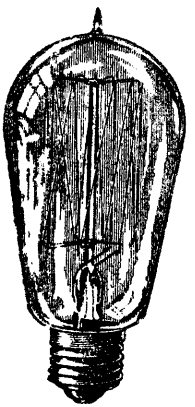


Рис. 17. Электрическая лампа накаливания

С увеличением времени при том же токе мы получаем большое число столкновений между электронами и атомами и молекулами проводника, так как большее количество электронов успеет удариться о них: увеличение времени прохождения тока вызывает повышенный нагрев проводника. Например, если мы возьмем проволоку сопротивлением в 1 ом (для этой цели лучше применить никелин, как обладающий большим сопротивлением), опустим в стакан, наполненный водой, и присоединим проволоку к 4-вольтовому аккумулятору, то температура воды будет подниматься каждую минуту, примерно, на 1°, в чем легко убедиться, если в воду опустить термометр (рис. 16).

На использовании нагревания проводника током основан целый ряд приборов, как-то: электрическая лампочка накаливания, электроутюги, чайники, грелки, паяльники и т. д.

Электрическая лампочка устроена следующим образом: внутри стеклянного сосуда помещена тонкая металлическая нить (обычно из вольфрама); концы нити выведены через стекло

сосуда и припаяны к цоколю. Под действием проходящего тока нить раскаливается до белого каления и светит. Для того чтобы нить не сгорела, из сосуда выкачивается воздух, а сам сосуд запаивается (рис. 17).

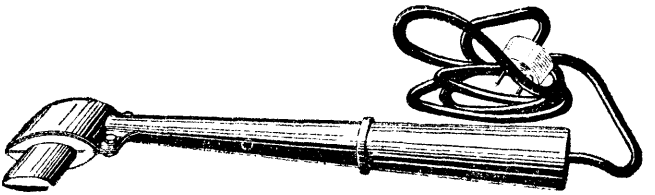


Рис. 18. Электрический паяльник

Все хозяйственные электрические нагреватели устроены примерно одинаково: внутри них помещена проволока, по которой проходит ток; под действием тока проволока нагревается и кипятит воду или разогревает паяльник и т. д. (рис. 18).

13. ПЛАВКИЕ ПРЕДОХРАНИТЕЛИ

Нагрев проводника током может быть настолько большим, что провод расплавится. Для того чтобы расплавить тонкую проволоку, нужно меньшее количество тепла, чем для плавления более толстой проволоки. Это очень легко проверить. Медную проволочку толщиной в $^1/_{10}$ *мм* можно легко расплавить на спичке, между тем как проволоку в $^1/_2$ *мм* можно расплавить только на примусе, а более толстую уже приходится плавить

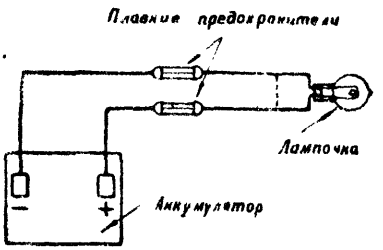


Рис. 19. Схема включения плавких предохранителей

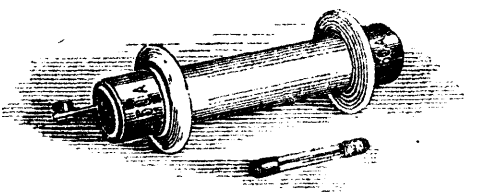


Рис. 20. Плавкие предохранители на $^1/_4$ ампера и на 60 ампер

в горне. На свойстве тонких проводников легко плавиться основано устройство плавких предохранителей. Плавкий предохранитель представляет собой проволочку, значительно более тонкую, чем остальные провода, и поэтому эта проволочка плавится при таком токе, который не повредит остальным проводам, т. е. самому монтажу. Предохранители включаются таким образом (рис. 19), чтобы при сгорании предохранителя цепь тока была оборвана. Если пройдет слишком сильный ток,

например при коротком замыкании, то проволока предохранителя расплавляется и, обрывая цепь, предохраняет от порчи остальные части монтажа. Плавкие предохранители делаются так, чтобы сгоревшую проволоку можно было легко сменить. Кроме того, чтобы при сгорании предохранителя брызги расплавленного металла не вызвали пожара, проволока предохранителя закрывается колпаком или помещается внутри трубки (рис. 20). Предохранители изготовляются на силу тока от четверти ампера до нескольких сотен ампер, причем сила тока обычно указывается на трубочке или на колпаке предохранителя.

14. ТЕПЛОВОЙ АМПЕРМЕТР

Известно, что если нагревать какую-нибудь проволоку, то эта проволока немного удлиняется; а так как под действием тока проводник нагревается, то, значит, он тоже удлиняется. Это можно заметить, если натянуть проволоку и пропустить по ней ток такой силы, чтобы она сильно нагрелась. Так как удлинение проволоки зависит от ее нагрева, а нагрев—от силы тока, то, следовательно, можно по величине удлинения проволоки судить о силе проходящего по ней тока. На этом явлении основан прибор для измерения силы тока, который называется тепловым амперметром.

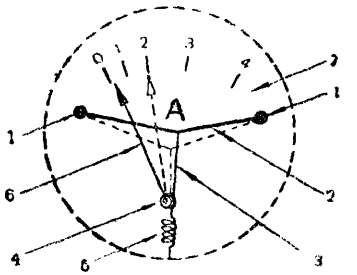


Рис. 21. Устройство теплового амперметра

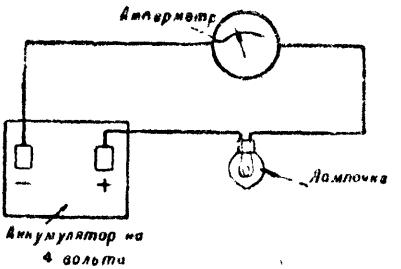


Рис. 22. Включение теплового амперметра

Устроен тепловой амперметр следующим образом (рис. 21). Между двумя металлическими стойками *1* натянута тонкая платиновая проволока *2*, по которой проходит измеряемый ток. К середине проволоки привязана шелковая нитка *3*, которая обернута вокруг колесика *4* и оттягивается в сторону пружиной *5*. К колесику прикреплена стрелка *6*. При прохождении тока проволока нагревается и удлиняется. Вследствие того что концы проволоки неподвижно закреплены в стойках, проволока провисает и занимает положение, указанное на рис. 21 пунктиром. От этого провисания пружинка получает возможность немного потянуть к себе нитку, которая повернет колесико вместе со стрелкой. Сзади стрелки помещена шкала *7*, и

которой нанесены деления в амперах. Таким образом сила тока указывается положением стрелки. Для защиты от порчи прибор закрывается металлическим чехлом со стеклом в передней стенке, через которое можно видеть шкалу и стрелку. Амперметр включается таким образом, чтобы по нему проходил весь ток, идущий в той цепи, где нам нужно его измерить (рис. 22). Включенный по схеме (рис. 22) амперметр измеряет ток, идущий через лампочку от карманного фонаря.

15. ЭНЕРГИЯ, РАБОТА И МОЩНОСТЬ

Итак, электрический ток, проходя по проводнику, нагревает его. Конечно, этот нагрев даром, т. е. без затраты какой-то работы, не получается. На это нагревание тратится вполне определенная часть электрической энергии.

Прежде чем перейти к вопросу, сколько энергии тратится на нагрев током какой-либо проволоки и как вообще определять расход электрической энергии, немного остановимся на том, что такое энергия вообще.

Энергией называют способность данного предмета или вещества производить работу.

Например, порох может взорваться и вытолкнуть пулю из ствола винтовки, ударник под действием пружины при спуске курка ударяет по капсюлю и т. д. Значит, в этих случаях и порох и пружина обладают способностью производить работу, или, как говорят, обладают запасом энергии. Нетрудно увидеть, что энергия у пружины и у пороха различна. И вообще, кроме энергии пружины и пороха, можно назвать еще много явлений с различными видами энергии. Например, трамвай движется посредством электрической энергии, автомобиль—от сгорания бензина, а паровоз движется паром, полученным от подогревания воды в котле, и т. д.

Все сказанное наводит на мысль, что энергия бывает в различных видах, которые могут переходить из одного вида в другой. Никакой работы без затраты энергии получить нельзя. В самом деле, паровоз, если его не топить, не может двигаться, винтовка не будет стрелять, если в патроне не будет находиться достаточного запаса энергии в виде пороха. Для получения определенной работы, или энергии, от какого-либо устройства приходится всегда затратить работу, или энергию, в количестве большем, чем получается от устройства. Например, паровоз расходует на движение поезда только 0,15 той энергии, которую дает уголь в топке, т. е. из каждых 100 *кг* угля тратится на нагрев окружающего воздуха 85 *кг* и только 15 *кг* идет на движение поезда.

Выше было сказано, что все виды энергии могут переходить из одного в другой. Электрическая энергия может переходить в энергию движения (трамвай), в тепловую (нагрев проволоки) и т. д., а также и наоборот. Вернемся к опыту с нагреванием проволоки. Чтобы нагреть проволоку, необходимо было затра-

тить электрическую энергию, которая превратилась в теплоту. В данном случае вся электрическая энергия W обратилась в теплоту Q, т. е.

$$W = Q = 0{,}24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t.$$

В этом отношении энергия выражена в малых калориях, что не всегда удобно, так как электрическая энергия может быть превращена не только в тепловые, но и в другие виды энергии. Поэтому для измерения электрической энергии (работы) принята другая единица—джоуль, причем джоуль равен работе, которую производит ток силою в 1 ампер при напряжении в 1 вольт в течение 1 секунды.

$$1 \text{ джоуль} = 0{,}24 \text{ калории.}$$

Следовательно электрическая работа может быть выражена так:

$$W = \frac{Q}{0{,}24} = \frac{0{,}24 \cdot I^2 \cdot R \cdot t}{0{,}24} = I^2 \cdot R \cdot t \text{ джоулей}$$

или, что то же:

$$W = I \cdot E \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t.$$

При измерении работы электрического тока нас часто интересует скорость, с какой производится данная работа, т. е. работа электрического тока в 1 секунду. Работа электрического тока в 1 секунду называется мощностью и обозначается буквой P.

Чтобы получить мощность электрического тока, надо работу разделить на время в секундах:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{I \cdot E \cdot t}{t} = I \cdot E \text{ джоулей в 1 секунду;}$$

мощность = силе тока × напряжение

или

$$P = \frac{W}{t} = \frac{I^2 \cdot R \cdot t}{t} = I^2 \cdot R \text{ джоулей в 1 секунду;}$$

мощность = силе тока × силу тока × сопротивление.

Вместо джоуль в 1 секунду мощность тока измеряют в ваттах. Один ватт равен мощности, получаемой при токе силой в 1 ампер и при напряжении в 1 вольт:

$$1 \text{ ватт} = 1 \text{ ампер} \times 1 \text{ вольт.}$$

Чтобы не иметь дела с большими числами, часто пользуются еще следующими производными единицами электрической мощности:

1 гектоватт = 100 ватт,

1 киловатт = 1000 ватт.

Механическую мощность, как известно, измеряют в лошадиных силах.

Для того чтобы уметь переходить от механической мощности к электрической, нужно знать, что 1 лошадиная сила (обозначаемая л. с.) равна 736 ватт. Для обратного перехода от электрической мощности к механической запомним:

1 киловатт = 1,36 лошадиной силы.

16. МАГНЕТИЗМ

Все, вероятно, видели магнит. Магнит большей частью бывает в виде стальной подковы и обладает свойством притягивать к себе железо. Опустив такой магнит в железные опилки, мы увидим, что опилки пристанут к магниту неравномерно: на концах опилок пристанет много, а чем ближе к середине, тем опилок будет меньше (рис. 23). Это говорит о том, что сила притяжения магнита сосредоточена на его концах. Концы магнита называются полюсами и обладают разными свойствами, или, как говорят, разным магнетизмом. В этом можно убедиться, приближая к полюсам магнита компас. Стрелка компаса тоже представляет собой магнит. Если мы будем приближать компас к магниту, то увидим, что к одному концу магнита будет притягиваться только синий конец стрелки компаса, другой конец будет отталкиваться, а к другому концу магнита будет притягиваться только неокрашенный конец стрелки. Тот конец магнита, который притягивает синий конец стрелки, называется южным полюсом магнита, а другой конец называется северным полюсом магнита. Приближая магниты друг к другу, нетрудно убедиться, что одноименные полюсы отталкиваются, а разноименные притягиваются. Отсюда нетрудно понять, почему синий конец стрелки компаса всегда показывает на север. Земля представляет собой громадный магнит, у которого южный магнитный полюс находится на севере, а северный магнитный полюс — на юге. У стрелки компаса северный полюс магнита делают вороненым (синим), а неокрашенным оставляют конец стрелки с южным полюсом.

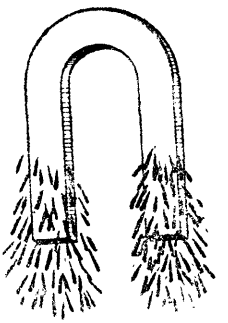


Рис. 23. Магнит притягивает железные опилки, главным образом, своими концами

Северный полюс стрелки компаса, притягиваясь южным полюсом магнита-земли, направляется на север, где этот магнитный полюс находится. Приложив к одному из полюсов какого-нибудь магнита кусок железа, например болт, мы увидим, что этот болт сам становится магнитом. Приближением компаса можем убедиться в том, что болт стал как бы продолжением магнита, т. е. магнитный полюс перешел на конец болта. Поднесенный к болту железный гвоздик пристает к болту, как и к магниту. Как только оторвем болт от магнита, сейчас же магнитные свойства болта теряются, и гвоздик отпадает. Если же вместо железного болта возьмем стальное сверло, то увидим, что сверло и после отделения его от магнита продол-

жает притягивать железо, хотя и в меньшей степени. Значит, сталь удерживает магнетизм, как говорят, намагничивается, между тем как железо не удерживает магнетизма, не намагничивается. Поэтому постоянные магниты делаются из стали.

Если мы разломим магнит пополам и испытаем намагничивание отдельных половинок при помощи компаса, то обнаружим, что каждая из половинок представляет магнит с двумя полюсами. Разломав каждую из половинок, мы снова получим по два магнита с двумя полюсами и т. д. Получить магнит с одним полюсом нам не удастся. Из этого опыта можно вывести предположение, что молекулы железа представляют собой магнитики. В ненамагниченном железе молекулярные магнитики расположены в беспорядке (рис. 24). Их действие во внешнем пространстве взаимно уничтожается и не может быть обнаружено. Приблизим к куску железа магнит. Молекулярные магнитики подобно стрелкам компаса повернутся и расположатся в определенном порядке—их северные полюсы будут направлены (рис. 25) в одну сторону, а южные—в противоположную.

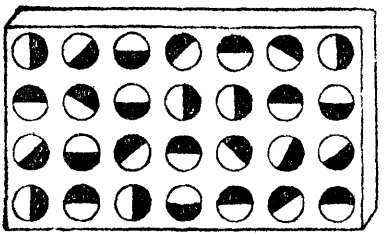


Рис. 24. В ненамагниченном бруске железа полюса молекулярных магнитов расположены в беспорядке

Железо окажется намагниченным. Однако стоит нам удалить магнит, как молекулы железа снова повернутся в свое перво-

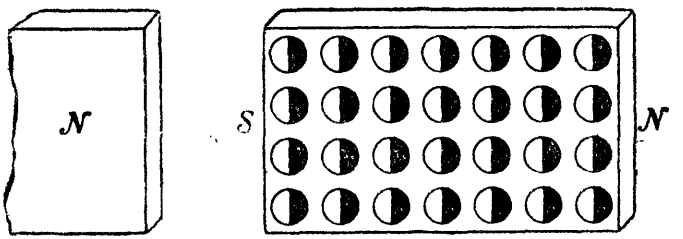


Рис. 25. Приближая магнит к бруску железа, мы заставляем молекулярные магниты расположиться в определенном порядке: северные полюса в одну сторону, южные—в другую

начальное положение и порядок магнитиков расстроится, железо размагничивается. Некоторые магнитики все же остаются повернутыми вдоль полосы, что и проявляется в железе слабыми магнитными его свойствами, называемыми остаточным магнетизмом.

Молекулы в стали не так подвижны, как молекулы в железе. Действительно, поднося магнит к стальному бруску, мы заставим молекулярные магнитики в бруске расположиться в опре-

деленном порядке, т. е. намагнитим его. После удаления магнита молекулы в бруске сохранят свой порядок, так как существует задерживающая сила, которая помешает им вернуться в прежнее беспорядочное расположение. Таким образом сталь в отличие от железа сохраняет магнетизм.

Гипотеза о существовании молекулярных магнитов объясняет ряд явлений. Например:

1) намагничивание стали ускоряется при постукивании, так как мы помогаем молекулам преодолеть „задерживающую силу" и расположиться в определенном порядке;

2) стальной магнит нужно беречь от ударов и сильных сотрясений, потому что сотрясения будут способствовать молекулам вернуться в беспорядочное состояние, и стальной магнит размагничивается;

3) при сильном нагревании магнитные свойства стального магнита пропадают под влиянием усиления теплового движения молекул;

4) после того как почти все молекулярные магнитики расположатся в определенном порядке, дальнейшее намагничивание станет невозможным—наступит магнитное насыщение.

17. МАГНИТНОЕ ПОЛЕ И МАГНИТНЫЙ ПОТОК

Пространство, в котором действуют силы магнитного притяжения или отталкивания, мы называем магнитным полем.

Наглядное представление о магнитном поле мы получим, произведя следующий опыт. Подковообразный магнит накроем куском гладкого картона или стекла, на котором равномерно насыпаны мелкие железные опилки. Постучав слегка по картону (стеклу), мы увидим, что опилки расположились цепочками от полюса к полюсу рядом линий (рис. 26). Поместив в какой-нибудь точке картона (стекла) магнитную стрелку, мы увидим, что изображенные опилками линии совпадают с направлением стрелки, указывающей направление магнитного поля в данном

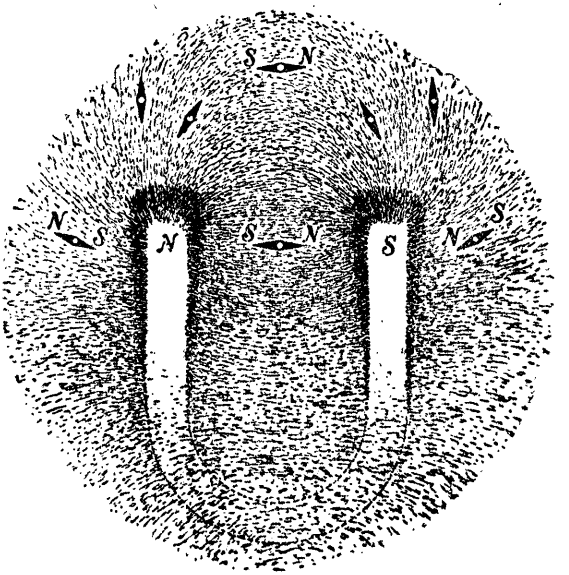


Рис. 26. Линии магнитного поля, обнаруживаемые с помощью железных опилок. Направления магнитных стрелок, помещенных в различных точках поля, совпадают с линиями, по которым расположены опилки

месте. Линии, по которым располагаются железные опилки, называют линиями магнитного поля.

При рассмотрении картины расположения опилок, мы замечаем, что у полюсов линии поля располагаются гуще, чем в остальном пространстве. Помещая в различные точки магнитного поля полюс магнита (очень тонкого и длинного, так чтобы влиянием его другого полюса можно было пренебречь), мы заметим, что магнит испытывает силу притяжения или отталкивания тем большую, чем гуще линии магнитного поля. Если мы позволим магниту под влиянием этой силы двигаться, то направление его движения совпадает с направлением линий поля. Из этого опыта мы можем заключить, что поле в каждой точке характеризуется напряженностью и направлением. Напряженность магнитного поля, обозначаемая буквой H, характеризует силу притяжения или отталкивания магнитов, вносимых в это поле.

Принято считать, что через каждый квадратный сантиметр площадки, перпендикулярной к линиям поля, проходит число линий, равное численной величине H. С величиной H мы познакомимся подробнее в следующем параграфе.

Мы знаем, что железо, помещенное в магнитном поле, намагничивается, это явление носит название магнитной индукции.

Магнитную индукцию обозначают буквой B.

Различие между величинами B и H можно представить себе так. Просверлим в намагниченном железе канал вдоль направления магнитного поля. Измеряя величину поля в канале, получим значение H. Сделаем узкий разрез в железе поперек направления поля; измеряя величину поля в этом разрезе, мы получим величину B. Число, показывающее, во сколько раз магнитная индукция больше или меньше напряженности магнитного поля, в котором находится тело, называется магнитной проницаемостью данного тела.

$$\text{Магнитная проницаемость} = \frac{\text{магнитной индукции}}{\text{напряженность магнитного поля}}.$$

Отношение $\frac{B}{H}$ является чрезвычайно важной величиной, характеризующей магнитные качества данного материала. Эта величина носит название коэфициента магнитной проницаемости, обозначается буквой μ и является отвлеченным числом. Таким образом магнитная индукция в данном теле:

$$B = \mu H \quad \text{или} \quad \mu = \frac{B}{H}.$$

Для пустоты $\mu = 1$, для воздуха μ почти равно 1 и, следовательно, $B = H$. Для железа μ много больше единицы и для разных сортов железа и стали различно, достигая 5000. Для некоторых специальных сплавов, как, например, пермаллой, $\mu = 12\,000$ и более; для большинства немагнитных тел μ близко к единице. Напряженностью магнитного поля мы называли

число силовых линий, проходящих через 1 *кв. см* площадки, перпендикулярной к линиям поля.

Полное же число силовых линий, проходящих через всю данную площадь, мы называем магнитным потоком. Магнитный поток обозначается буквой Ф. Линии магнитного поля можно рассматривать как отдельные „струйки" потока. Условимся считать, что линии магнитного потока выходят из северного полюса и, расширяясь в пространстве, окружающем магнит, проходят к южному полюсу, где снова входят в тело магнита и по нему проходят к северному полюсу. Таким образом магнитный поток всегда замкнут на самого себя.

Если магнитный поток встречает на своем пути железо, то происходит как бы всасывание линий потока в железо, так как магнитная проницаемость железа в μ раз больше воздуха. Плотность магнитного потока в железе B будет в μ раз больше, т. е. $B = \mu H$ линий на квадратный сантиметр. Если поперечное сечение железа будет S *кв. см*, то весь магнитный поток в железе Ф будет равен:

$$\Phi = B \cdot S.$$

Поле магнитного потока будет равномерным, если напряженность магнитного поля H имеет одинаковое направление и величину.

18. ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Если поднесем компас к мотку звонковой проволоки, по которой проходит ток, то заметим, что стрелка компаса притягивается мотком проволоки, причем это притяжение стрелки прекращается, если выключить ток. Значит, наш моток под действием проходящего по нему тока превращается как бы в магнит, северный полюс которого находится с одной стороны катушки, а южный — с другой.

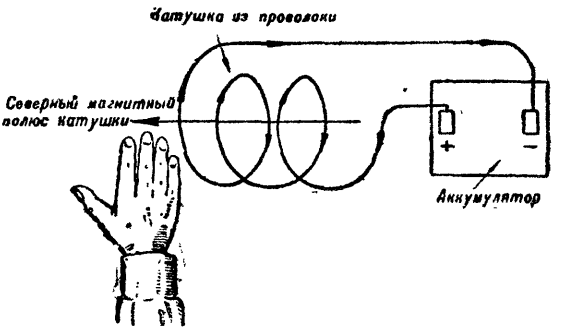


Рис. 27. Определение расположения магнитных полюсов катушки, по которой проходит ток

Компасом легко проверить, что при изменении направления тока по мотку меняются местами магнитные полюсы мотка.

Существует простое правило для определения полюсов любой обмотки, по которой проходит ток. Для этого надо положить на обмотку правую руку так, чтобы указательный палец указывал направление тока, тогда северный магнитный полюс этой катушки будет направлен в сторону большого пальца. Направление тока считается от плюса батареи к минусу (рис. 27).

В однородном поле силовые линии имеют вид параллельных прямых, находящихся на одинаковом расстоянии друг от друга. Например, почти равномерное поле мы имеем между разноименными полюсами, когда расстояние между ними невелико. Поле магнитного потока будет неравномерным, если напряженность магнитного поля H в разных точках магнитного поля неодинакова. В этом случае силовые линии не параллельны, и в тех местах, где напряженность магнитного поля больше, силовые линии расположены гуще.

Если внутри этой катушки положить какой-нибудь кусок железа, например болт, то поднесенный к нему железный гвоздь притянется. При прекращении тока гвоздь отпадает. Следовательно, болт под влиянием тока, проходящего по мотку проволоки, становится магнитом.

Прибор, состоящий из железного сердечника и окружающей его обмотки, по которой проходит электрический ток, называется электромагнитом. Если вместо железа взять стальное сверло, то сверло продолжает оставаться магнитом и после прекращения тока. Таким способом намагничивают постоянные магниты на заводах. Для этого стальной брусок обматывают проволокой и по ней пропускают ток значительной силы.

Рассмотрим подробнее явления, происходящие в катушке-соленоиде (соленоидом называется спираль, состоящая из нескольких витков проволоки), обтекаемой электрическим током.

Мы знаем, что такая катушка обладает всеми свойствами магнита. Следовательно, вокруг катушки и внутри нее проходит магнитный поток. Если катушка достаточно длинна, то можно считать, что напряжение магнитного потока H внутри катушки везде одинаково, кроме ее концов.

Опыт показал, что величина напряженности H этого потока зависит от силы тока I, числа витков катушки w и длины ее l *см*, а именно:

$$H = \frac{1{,}25 \cdot w \cdot I}{l}.$$

Произведение силы тока в амперах на число витков катушки Iw кратко называют ампервитками.

Возьмем электромагнит, представляющий собой железное кольцо (тороид), обмотанное проволокой.

Если бы кольцо было из немагнитного материала, для которого $\mu = 1$, то напряженность поля H в этом кольце или плотность магнитного потока была бы:

$$H = \frac{1{,}25Iw}{l},$$

где l — длина окружности кольца. Для железного кольца плотность магнитного потока будет в μ раз больше, т. е.

$$\mu H = B = \frac{1{,}25 \cdot I \cdot w \cdot \mu}{l} = \frac{1{,}25 \cdot I \cdot w}{\frac{l}{\mu}}$$

линий на 1 *кв. см*.

Величина потока в нашем кольце сечением S *кв. см* будет:

$$BS = \Phi = \frac{1{,}25 \cdot I \cdot w}{\frac{l}{\mu S}}.$$

Эта формула напоминает формулу закона Ома. Роль электродвижущей силы здесь играет величина $1{,}25 \cdot I \cdot w$, которую называют магнитодвижущей силой.

Магнитодвижущая сила является причиной, создающей в магнитной цепи магнитный поток.

Величина $\frac{l}{\mu S}$ носит название магнитного сопротивления; таким образом

$$\text{магнитный поток} = \frac{\text{магнитодвижущей силе}}{\text{магнитное сопротивление}}.$$

Если мы вырежем в нашем железном кольце кусок длиной l *см*, то магнитный поток часть своего пути должен будет проходить в воздухе, имеющем в μ раз большее магнитное сопротивление, и поток уменьшится.

В этом случае величина потока будет:

$$\Phi = \frac{1{,}25 \cdot I \cdot w}{\frac{l_{\text{железа}}}{\mu S_{\text{железа}}} + \frac{l_{\text{воздуха}}}{S_{\text{воздуха}}}}.$$

Для получения большего магнитного потока мы должны путь линий в воздухе делать возможно меньше.

19. ПРОВОЛОЧНЫЙ ТЕЛЕГРАФ МОРЗЕ

Мы знаем, что электрический ток может проходить по проводам на значительном расстоянии. Следовательно, если соеди-

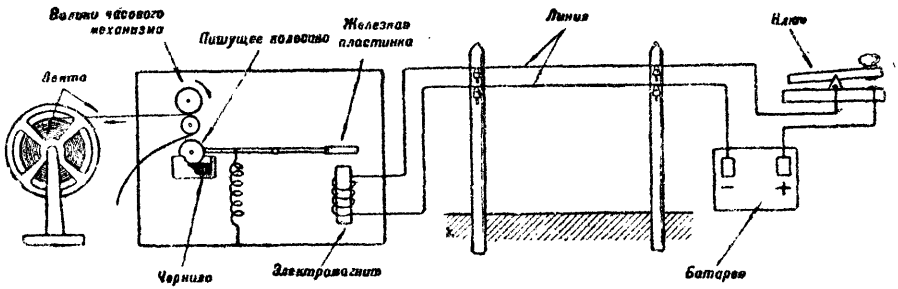


Рис. 28. Схема устройства телеграфного аппарата Морзе

нить два каких-нибудь места проводами и присоединить к проводам в одном месте батарею, а в другом — обмотку электромагнита, то можно, замыкая или размыкая цепь тока у батареи, заставить электромагнит, находящийся на большом расстоянии от батареи, притягивать или отпускать положенный около него

кусок железа. Это явление использовано в различных видах проволочной телеграфии. Рассмотрим устройство наиболее простого телеграфного аппарата Морзе (рис. 28 и 29). В телеграфном аппарате Морзе имеется электромагнит, который может притягивать железную пластинку с пером, находящуюся около его полюсов. Пластинка оттянута от электромагнита пружинкой. При притяжении пластинки к электромагниту перо прижимается к ленте, которая протягивается мимо него часовым механизмом. На ленте получается черта все время, пока через обмотки электромагнита проходит ток. Следовательно, при длительном пропускании тока получается на ленте длинная черта (тире), а при коротком — короткая черта (точка). Из сочетаний точек и тире составляется по азбуке Морзе содержание текста телеграммы. Для удобства и возможности быстрой передачи

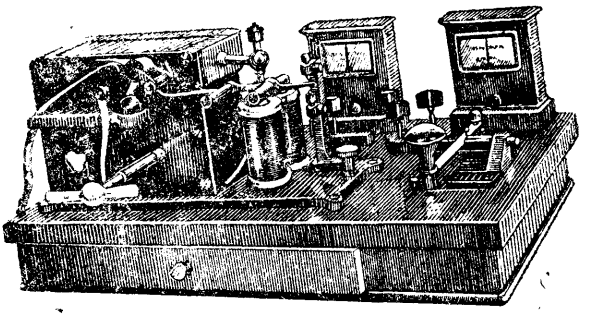


Рис. 29. Аппарат Морзе

знаков азбуки Морзе цепь тока замыкается и размыкается ключом, при нажатии которого ток включается, а при отпускании прекращается. Ключ и батарея соединяются с аппаратом линией, и при работе на расстоянии в несколько сот километров от аппарата перо чертит на ленте точки и тире соответственно работе ключа.

20. УСТРОЙСТВО ЗУММЕРА

На том же явлении притяжения железа электромагнитом основано устройство зуммера (рис. 30). Зуммер (рис. 31), называемый иначе пищиком, представляет собой электромагнит, около полюсов которого находится маленькая железная пластинка, оттянутая от электромагнита пружиной. Пластинка соединена с одним из концов обмотки. Сзади пластинки помещен контактный винт, соединенный с одним концом батареи и касающийся пластинки. Другой конец батареи присоединяется к другому концу обмотки. Таким образом ток через зуммер может проходить только тогда, когда пластинка не притянута к электромагниту. Если же пластинка притянется к электромагниту, то нарушится соединение между контактным винтом и пластинкой, и цепь тока оборвется. Посмотрим, что получится, если при-

соединить зуммер к батарее. Ток от батареи, пройдя через электромагнит, заставит его притянуть пластинку; при этом цепь тока будет оборвана и электромагнит отпустит пластинку. Но при отпущенной пластинке цепь тока снова замыкается и пластинка опять притянется и т. д. Значит, все время, пока зуммер присоединен к батарее, пластинка его будет дрожать между контактным винтом и электромагнитом и „пищать", отсюда и название пищик. Можно зуммер присоединить к батарее через ключ, тогда зуммер будет гудеть только при нажатии ключа. Работая ключом, можно получать короткие и длинные гудки. Такая схема очень часто применяется для обучения приему на-слух знаков азбуки Морзе.

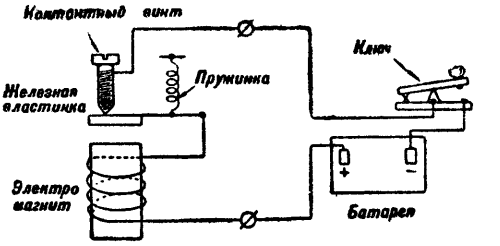


Рис. 30. Устройство и включение зуммера

Электромагнитом можно также замыкать цепь другого источника тока. Например, пропуская по электромагниту очень малый ток (в несколько тысячных долей ампера), можно зажечь лампочку, которая потребляет около 1 ампера тока. Такой прибор называется реле (рис. 32). Реле работает следующим образом: электромагнит при прохождении тока через его обмотку притягивает железную пластинку, кото-

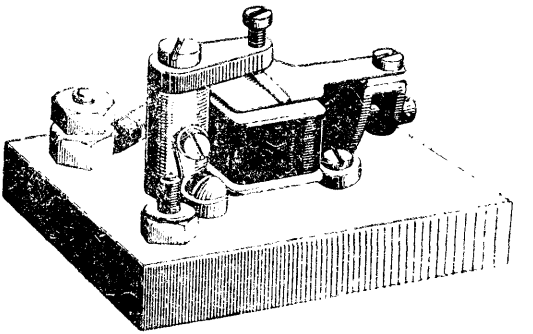


Рис. 31. Зуммер

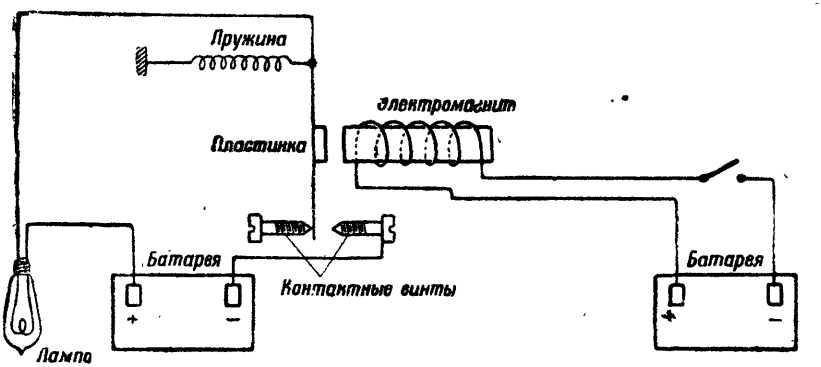


Рис. 32. Устройство и включение реле

рая, прижимаясь к контактному винту, замыкает цепь добавочной батареи и лампочки.

21. АМПЕРМЕТРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Как мы уже знаем, разноименные полюсы магнитов притягиваются, а одноименные отталкиваются. Следовательно, помещенный между полюсами подковообразного магнита маленький магнит, который может вращаться вокруг своей оси, как например стрелка компаса, повернется своим северным полюсом к южному полюсу подковообразного магнита. Такая же картина получится, если вместо компаса поместить моток проволоки, по которой проходит ток. Под действием тока этот моток становится как бы магнитом, у которого с одной стороны будет северный, а с другой — южный полюс. Значит, если такой моток

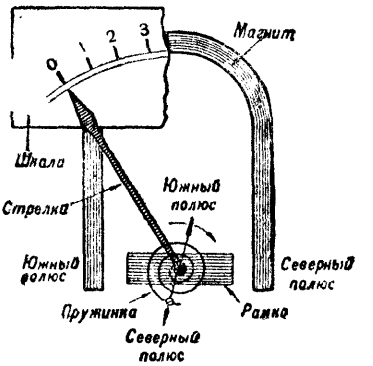


Рис. 33. Устройство амперметра постоянного тока

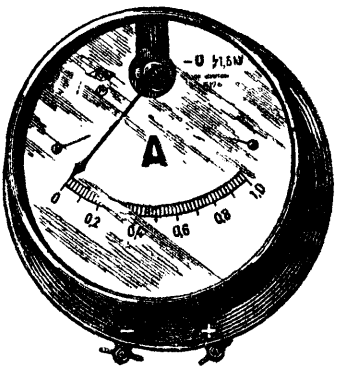


Рис. 34. Амперметр магнитоэлектрический

поместить между полюсами магнита так, чтобы он мог поворачиваться, то при пропускании тока по мотку моток будет поворачиваться. На этом явлении основано устройство амперметра постоянного тока. Такой амперметр называется магнитоэлектрическим амперметром или амперметром с вращающейся катушкой. В амперметре постоянного тока (рис. 33) между полюсами сильного подковообразного магнита помещена рамка из нескольких витков проволоки. Рамка укреплена на подшипниках так, что она может вращаться; удерживается она в определенном положении двумя спиральными пружинками, которые одновременно служат и для подводки тока в обмотке рамки. Под действием проходящего тока рамка поворачивается, натягивая при этом спиральные пружинки. Очевидно, что при пропускании более сильного тока через обмотку рамки рамка будет поворачиваться с большей силой и сильнее сожмет пружинки, т. е. при более сильном токе рамка повернется на больший угол. Следовательно, поворот рамки зависит от силы тока, и по повороту рамки можно судить о силе тока. К рамке приделана стрелка, которая движется по

шкале с делениями. Деления на шкале наносятся в амперах, и по отклонению стрелки можно непосредственно узнать силу тока. Прибор, так же как и тепловой амперметр, закрывается металлическим кожухом со стеклом для наблюдения за стрелкой (рис. 34). Расположение полюсов рамки зависит от направления прохождения тока: при перемене этого направления изменятся магнитные полюсы рамки, и она повернется в другую сторону. Обычно на приборе отмечается, какую клемму нужно соединить с плюсом и какую с минусом батареи, чтобы стрелка повернулась в правильную сторону. Для измерения малых сил тока приборы снабжаются шкалой с делением на миллиамперы и называются миллиамперметрами. Включаются магнито-электрические амперметры в схему так же, как и тепловые амперметры, т. е. так, чтобы через них проходил тот же ток, который проходит через проводник, в котором мы хотим измерить силу тока (рис. 22).

Для того чтобы на амперметр не расходовалось много энергии, нужно, чтобы он обладал малым сопротивлением, так как энергия, потребляемая прибором, определяется током, который через него проходит, помноженным на напряжение на концах амперметра.

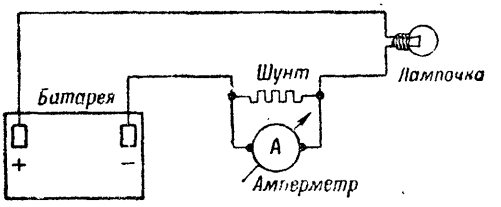


Рис. 35. Схема включения шунта к амперметру

Так как сила тока зависит целиком только от внешних условий и менять ее мы не можем, нужно, чтобы сопротивление амперметра было по возможности меньше. При измерении очень сильных токов через амперметр пропускают не весь ток, так как иначе рамку пришлось бы делать из очень толстого провода. Большая часть тока пропускается через малое сопротивление, присоединенное параллельно амперметру (рис. 35). Такое сопротивление называется шунтом.

22. ВОЛЬТМЕТРЫ

Для того чтобы узнать напряжение батареи, можно измерить силу тока, проходящего через известное нам сопротивление; например, при сопротивлении в 100 ом от батареи пошел ток в 1 ампер. Какое напряжение дает батарея?

По закону Ома находим:

$$E = I \cdot R = 1 \cdot 100 = 100 \text{ вольт.}$$

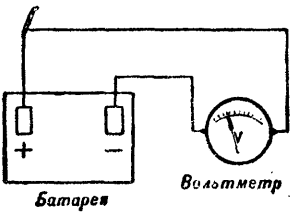


Рис. 36. Схема включения вольтметра

Очевидно, так мерить напряжение неудобно, каждый раз придется иметь дело с расчетами. Поэтому сопротивление вставляют внутри кожуха амперметра, а на шкале наносят деле-

ния прямо в вольтах. Такой прибор носит название вольтметра. Совершенно ясно, что, если мы хотим, чтобы наш вольтметр не забирал много энергии, нужно сопротивление взять по возможности большим, чтобы сила тока была возможно меньшей. Конечно, в этом случае придется применить прибор на малую силу тока. Для измерения напряжения вольтметр присоединяется непосредственно к тем точкам, между которыми мы хотим промерить напряжение (рис. 36).

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему проволока нагревается при прохождении по ней электрического тока?
2. Назовите приборы, основанные на нагревании проводника током.
3. Как устроены электрические нагревательные приборы?
4. Какому закону подчиняется нагрев проводников током?
5. Что такое энергия?
6. Что называется мощностью?
7. Какими единицами измеряется мощность?
8. Чем определяется мощность электрического тока?
9. Что такое электромагнетизм?
10. Какие приборы основаны на магнитном действии тока?
11. Какая разница между включением амперметра и вольтметра?

ГЛАВА III

ЭЛЕМЕНТЫ И АККУМУЛЯТОРЫ

(ХИМИЧЕСКИЕ ИСТОЧНИКИ ТОКА)

23. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ХИМИЧЕСКИХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА

Один из способов получения электрического тока для питания тех или иных электроприборов заключается в использовании электрической энергии, освобождающейся при некоторых химических взаимодействиях различных веществ (главным образом, металлов с химически действущими на них жидкостями).

Химическим взаимодействием (химической реакцией) двух или нескольких веществ называется такое явление, когда вещества, действуя друг на друга, превращаются в другие, новые вещества. При этом в некоторых случаях выделяется тепловая или электрическая энергия, а в других, наоборот, надо тепловую или электрическую энергию затратить, чтобы такое превращение веществ могло произойти.

Самым характерным, взятым из повседневной жизни примером химического взаимодействия веществ и превращения одних веществ в другие, является горение. Заключается оно в том, что топливо (дрова, уголь, бензин и т. д.) соединяется с кислородом воздуха, и при этом углерод, составляющий основную часть всякого топлива, превращается в углекислый газ, который улетучивается в воздух. Другие составные части топлива, не

способные к соединению с кислородом, остаются в виде золы (частично уходящей вместе с углекислым газом в воздух в виде дыма). Все эти превращения веществ (топлива и кислорода воздуха) сопровождаются сильным выделением тепла.

Приборы, в которых за счет химических превращений веществ получается электрическая энергия, которая в свою очередь может быть использована для питания той или иной электроаппаратуры, называются химическими источниками тока.

Существуют два вида химических источников тока, а именно: первичные, или гальванические элементы[1], и вторичные элементы, или аккумуляторы. Различие между ними будет видно из дальнейшего.

Всякий химический источник тока должен обязательно состоять из двух различных веществ (преимущественно металлов), изготовляемых обычно в виде пластинок или стержней, опущенных в жидкость, которая по своему составу способна вступать в химическое взаимодействие с веществом по крайней мере одной из этих пластинок.

Пластинки или стержни носят названия электродов, концы их—полюсов, а жидкость называется электролитом. И электроды и электролит должны быть из материалов, проводящих электрический ток.

Вследствие химического взаимодействия вещества электролита и вещества электродов, между последними появляется разность потенциалов, которая называется электродвижущей силой химического источника тока. Для краткости письма вместо слов „электродвижущая сила" часто пишут э. д. с.

Величина э. д. с. зависит, главным образом, от того, какие вещества применены в качестве электродов и электролита, и несколько изменяется в зависимости от состояния электродов и электролита и от температуры. Величина э. д. с. не зависит от размеров и формы электродов, количества электролита и конструкции как всего химического источника, так и его устройства.

Все химические источники тока дают всегда только постоянный ток. Поэтому один из полюсов будет положительным (+), через него (при замыкании цепи) ток поступает от источника во внешнюю цепь; другой будет отрицательным (—), через него ток возвращается из внешней цепи к источнику тока. Отрицательным полюсом бывает всегда тот, вещество которого сильнее взаимодействует с электролитом, поэтому он в процессе работы сильнее разрушается.

Таким образом химический источник тока может быть в простейшим виде представлен так, как это изображено на рис. 37.

---

[1] Гальваническим элемент называется в честь итальянского ученого Гальвани, впервые (в 1786 г.) наблюдавшего явление, лежащее в основе действия химических источников тока. Слово „аккумулятор" в переводе на русский язык значит собиратель или накопитель. Следует подразумевать—„собиратель или накопитель электрической энергии". Причина такого названия выяснится из дальнейшего.

На схеме условно изображают химические источники тока так, как это показывает рис. 38, причем здесь каждая из черточек обозначает один из полюсов.

При замыкании источника тока на внешнюю цепь, вследствие наличия э. д. с., на его полюсах, по цепи пойдет ток, как было указано, от положительного полюса к отрицательному во внешней цепи. Так как, однако, путь тока всегда замкнутый, как мы это знаем из предыдущих глав, то, значит, внутри источника тока через электролит также должен итти ток, но здесь его направление будет уже от отрицательного полюса к положительному, так что во всей цепи ток будет итти в одном направлении, как это ясно из рис. 39.

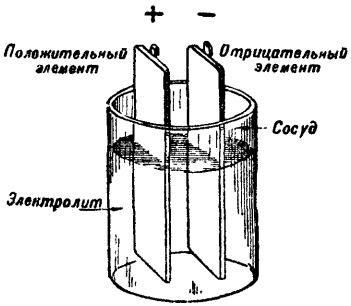


Рис. 37. Устройство простейшего химического источника тока (элемента)

Рис. 38. Условное обозначение элемента или аккумулятора в схеме

Величина силы тока в цепи определяется, как и всегда, по закону Ома, с которым мы познакомились в главе I, а именно: сила тока (в амперах) равна э. д. с. источника тока (в вольтах), разделенной на величину сопротивления всей цепи (в омах).

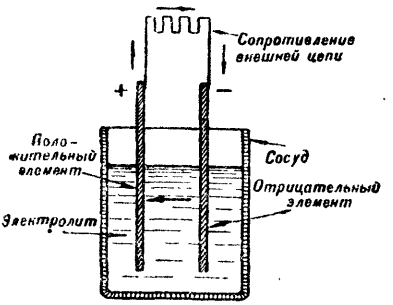


Рис. 39. Путь тока во внешней цепи и внутри элемента

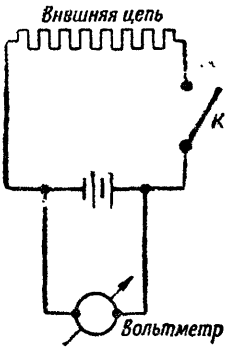


Рис. 40. Измерение э. д. с. (ключ K разомкнут) и напряжения на зажимах (ключ K замкнут) химического источника тока

Сопротивление всей цепи составляется из сопротивления внешней цепи, обозначаемого буквой R, т. е. сопротивления тех приборов, которые питаются током от нашего источника (например, сопротивление обмоток зуммера, сопротивление нити лампы и т. д.), и соединительных проводов плюс так называемое внутреннее сопротивление самого источника тока, т. е. сопротивление электролита между его электродами — r.

Поэтому закон Ома следует написать в этом случае так:

$$I = \frac{E}{R + r}.$$

Внутреннее сопротивление источника тока зависит от состава электролита и от размеров и конструкции источника тока, а именно: оно тем меньше, чем больше поверхность электродов, соприкасающихся с электролитом, и чем ближе электроды друг к другу.

Если мы приключим вольтметр к полюсам источника тока, а затем, не отключая вольтметра, замкнем источник тока на внешнюю цепь, включенную к его полюсам параллельно вольтметру (рис. 40), то увидим, что после замыкания этой внешней цепи показание вольтметра уменьшится. Это происходит потому, что при замыкании цепи часть э. д. с. источника тратится на то, чтобы прогнать ток внутри самого источника тока, т. е. на преодоление его внутреннего сопротивления.

Напряжение на зажимах всегда меньше разности потенциалов между полюсами незамкнутого источника тока, т. е. его э. д. с. Эта разница между напряжением на зажимах и э. д. с. тем больше, чем больше внутреннее сопротивление источника тока и сила тока в цепи. Из сказанного следует, что внутреннее сопротивление есть сопротивление вредное, уменьшающее величину напряжения на зажимах и величину силы тока в цепи, и поэтому чем оно меньше, тем источник тока лучше, выгоднее.

Когда химический источник тока не замкнут на внешнюю цепь, то химическое взаимодействие между веществами, его составляющими, слабое, и они почти не расходуются; наоборот, при замыкании, когда по цепи идет ток, то его существование должно поддерживаться, что и происходит за счет траты химической энергии, запасенной в веществах, составляющих источник тока, вследствие чего химическое взаимодействие между ними при замыкании цепи усиливается и, следовательно, увеличивается и их расход. Работающий на внешнюю цепь химический источник тока, как говорят, разряжается.

При этом с течением времени работа э. д. с. и напряжение на зажимах постепенно уменьшаются, а внутреннее сопротивление увеличивается.

При взаимодействии вещества отрицательного полюса с электролитом выделяется газ—водород, который при замкнутой цепи переносится вместе с током к положительному полюсу и на нем оседает в виде мельчайших пузырьков (на-глаз иногда и невидимых). Таким образом положительный электрод покрывается газовой пленкой, отделяющей его от электролита, т. е. поверхность его соприкосновения с электролитом уменьшается; вследствие этого, как мы знаем, увеличивается внутреннее сопротивление, а напряжение на зажимах и сила тока уменьшаются, а вскоре и вовсе прекращаются, т. е. источник тока перестает работать. Такое явление называется поляризацией и, как видно, крайне вредно.

Чтобы избежать этого, положительный электрод окружают веществом (жидким или твердым), которое способно вступать в химическое взаимодействие с направляющимся к положительному электроду водородом, препятствуя таким образом его выделению на электроде, причем само это вещество расходуется,

превращаясь в другое. Этот процесс называется **деполяризацией**, т. е. уничтожением поляризации, а само вещество, осуществляющее деполяризацию, — **деполяризатором**. Все практически применяемые химические источники тока обязательно имеют деполяризатор: в гальванических элементах в виде отдельного вещества, окружающего положительный электрод[1], а в аккумуляторах эту роль выполняет вещество, составляющее само положительную пластинку.

Как было сказано, при работе химического источника тока вещества, его составляющие, вступают в химические взаимодействия и при этом расходуются. Ясно, что должен наступить такой момент, когда по крайней мере одно из них расходуется полностью (обычно раньше всего деполяризатор), и тогда источник тока перестанет работать.

Гальванический (первичный) элемент после этого должен итти в утиль, или расходовавшиеся вещества в нем должны быть заменены новыми (это зависит от типа и конструкции)[2], а аккумулятор обладает свойством, что если после этого через него пропустить постоянный электрический ток (как об этом будет сказано дальше), то химические взаимодействия образовавшихся в нем веществ идут в обратном порядке, и эти вещества приходят в первоначальное состояние, после чего аккумулятор снова может отдавать электрическую энергию[3].

То количество электричества, которое запасено в химическом источнике тока и которое он может отдать при разряде до своего истощения, называется **разрядной емкостью**, или просто емкостью. Это понятие не имеет ничего общего с емкостью конденсатора, о которой в книге говорится дальше.

Емкость химического источника тока равна силе разрядного тока, отдаваемого при работе, умноженной на время его работы, и выражается в ампер-часах.

Емкость зависит от типа источника, его размеров, устройства, качества изготовления, качества применяемых материалов и от других причин, из которых главнейшей является та, что с увеличением силы разрядного тока емкость уменьшается. Это особенно заметно для гальванических элементов. Чем больше элемент, тем больше его емкость и тем больший разрядный ток может быть от него получен.

Пример. Элемент, э. д. с. которого $E = 1{,}5$ вольта, а внутреннее сопротивление $r = 0{,}5$ ома, работает в течение 4 часов, будучи включенным на внешнюю цепь сопротивлением $R = 2{,}5$ ома. Определить отданную элементом емкость.

---

[1] Деполяризатор отсутствует только в особых недавно изобретенных гальванических элементах, так называемых элементах воздушной деполяризации, где деполяризация совершается кислородом воздуха, попадающего внутрь элемента. У нас в СССР такие элементы изготовляются.

[2] Описываемые ниже, принятые в РККА гальванические элементы замены израсходованных веществ не допускают и по срабатывании идут в утильсырье.

[3] Этим свойством и объясняются названия вторичного элемента, или аккумулятора, т. е. накопителя электрической энергии. Оно же и составляет главнейшую разницу первичных и вторичных элементов.

Разрядный ток элемента (в амперах) равен электродвижущей силе E (в вольтах), разделенной на все сопротивление цепи (в омах), т. е. на сумму внешнего и внутреннего сопротивлений. Следовательно:

$$I = \frac{E}{R + r} = \frac{1{,}5}{2{,}5 + 0{,}5} = \frac{1{,}5}{3{,}0} = 0{,}5 \text{ ампера.}$$

Емкость (в ампер-часах) равна произведению силы разрядного тока (в амперах) на время работы (в часах), т. е. для нашего случая элемент отдал емкость = 0,5 ампера × 4 часа = 2 ампер-часа.

Так как химические взаимодействия веществ, составляющих химический источник тока, происходят в нем и тогда, когда он не включен на работу и не отдает полезного тока для питания приборов, то вещества при этом расходуются (хотя, как было сказано, этот расход веществ при бездействии значительно меньше, чем при работе), и часть энергии теряется бесполезно. Это явление называется саморазрядом. Может случиться, если химический источник тока будет долго храниться без работы, что вся его энергия израсходуется на саморазряд, и гальванический элемент в таком случае придет в полную негодность, а аккумулятор потребует новой зарядки.

Как видно, саморазряд представляет собой крайне вредное явление. Степень саморазряда зависит во многом от качества материалов, качества изготовления и конструкции. Кроме того, как правило, саморазряд тем больше, чем меньше размеры элемента или аккумулятора. Дать гальванический элемент с малым саморазрядом, т. е. выдерживающий большой срок хранения,—одна из важнейших и вместе с тем одна из труднейших задач элементного производства.

24. СОЕДИНЕНИЕ БАТАРЕЙ[1]

Вследствие сравнительно малой величины э. д. с. всех существующих химических источников тока (1—2 вольта) и неспособности некоторых из них отдавать токи нужной силы, на практике никогда почти не применяют отдельных элементов или аккумуляторов, а соединяют нужное их количество в так называемые батареи. Существуют три способа соединения: последовательное, параллельное и смешанное.

Последовательное соединение, наиболее часто применяемое на практике, состоит в том, что положительный электрод одного элемента соединяют проводником с отрицательным электродом другого, его положительный электрод—с отрицательным электродом третьего и т. д. Отрицательный электрод первого и положительный электрод последнего элементов будут служить для включения этой батареи в цепь, которую надо питать током.

Рис. 41 показывает, как производится это соединение, а рис. 42 — как такая батарея изображается на схемах.

[1] То, что говорится в этом параграфе, относится в одинаковой мере к первичным и ко вторичным элементам.

Батарея последовательно соединенных элементов обладает следующими свойствами:

1. Электродвижущая сила батареи равна сумме э. д. с. отдельных элементов, ее составляющих.

2. Внутреннее сопротивление батареи равно сумме внутренних сопротивлений отдельных элементов.

3. От батареи может быть взят разрядный ток той же силы, что и от одного из составляющих ее элементов.

4. Емкость последовательной батареи равна емкости одного элемента (а если соединим элементы разной емкости, то емкость батареи будет определяться наименьшей емкостью). Это справедливо при условии, что и один элемент, и батарея будут разряжаться током одинаковой силы.

Отсюда следует, что последовательное соединение применяется тогда, когда надо иметь напряжение большее, чем то, которое может дать один элемент. При этом число последовательно соединенных элементов в батарее и определяется тем, какое напряжение надо подать на схему прибора для его работы, а именно: число элементов батареи равно требуемому напряжению, разделенному на напряжение одного элемента.

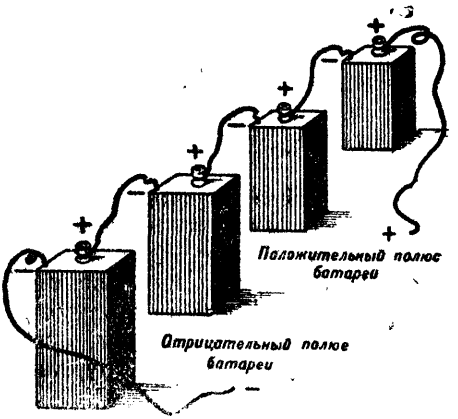


Рис. 41. Последовательное соединение элементов в батарею

Рис. 42. Условное обозначение последовательной батареи

Например, для питания цепи анода ламп в приемнике требуется напряжение в 80 вольт. Напряжение одного элемента около 2 вольт. Следовательно, для составления батареи придется соединить последовательно $\frac{80 \text{ вольт}}{2 \text{ вольта}} = 40$ элементов.

При *параллельном соединении* соединяют проводниками положительные полюсы всех элементов между собой и отрицательные полюсы всех элементов между собой и получают таким образом два полюса батареи, как это показано на рис. 43 и 44.

Батарея параллельно соединенных элементов обладает следующими свойствами:

1. Электродвижущая сила батареи равна э. д. с. одного элемента.

2. Внутреннее сопротивление батареи равно внутреннему сопротивлению одного элемента, разделенному на число элементов батареи.

3. Сила разрядного тока, которая может быть взята от батареи, во столько раз больше силы разрядного тока, которую можно взять от одного элемента, сколько элементов в батарее.

4. Емкость батареи во столько раз больше емкости одного элемента, сколько элементов в батарее (при условии, что и один элемент, и батарея будут разряжаться током одной и той же силы).

Отсюда следует, что параллельное соединение может быть применяемо или когда напряжение одного элемента хотя и достаточно для питания цепи, но нельзя нагрузить его током той силы, которая требуется для работы, или когда емкость его слишком мала и он скоро израсходуется.

На практике почти не бывает случаев, когда применяется параллельное соединение одиночных элементов, так как почти никогда напряжение одного элемента не бывает достаточным.

Не следует соединять параллельно элементы с неодинаковыми э. д. с., так как электрический ток от одного элемента с большей э. д. с. пойдет через другой элемент, обладающий

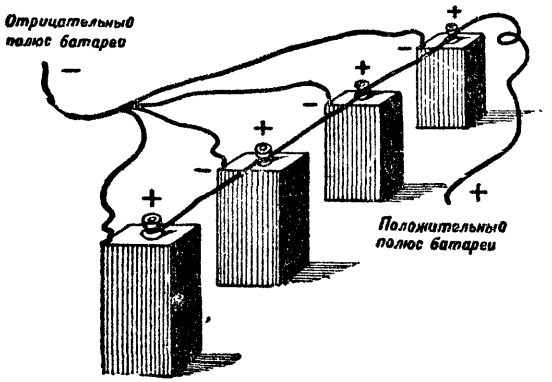


Рис. 43. Параллельное соединение элементов в батарею

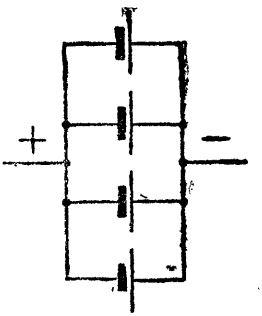


Рис. 44. Условное обозначение батареи параллельно соединенных элементов

меньшей э. д. с. Этот ток для внешней цепи бесполезен, так как через нее он не проходит.

Смешанное соединение, как показывает и само название, представляет собой комбинацию последовательного и параллельного соединений и производится так, как это представлено на рис. 45 и 46. При этом важно отметить, что количество последовательно соединенных элементов в каждой из групп, соединяемых параллельно, должно быть обязательно одинаковым, соответствующим нужному напряжению.

К последовательно соединенным элементам смешанной батареи относится все, что сказано было о последовательном соединении, а к параллельно соединенным между собой группам — то, что сказано было о параллельном соединении.

Таким образом в батарее со смешанным соединением элементов имеются следующие свойства:

1. Электродвижущая сила батареи во столько раз больше э. д. с. одного элемента, сколько последовательно соединенных элементов в группе, и не зависит от числа параллельных групп.

2. Внутреннее сопротивление батареи будет во столько раз больше внутреннего сопротивления одного элемента, сколько последовательных элементов, и одновременно во столько раз меньше, сколько параллельных групп.

3. Сила разрядного тока, которая может быть взята от батареи, во столько раз больше, чем сила разрядного тока, которую можно взять от одного элемента, сколько в батарее параллельных групп, и не зависит от числа последовательно соединенных элементов в группе.

4. Емкость батареи во столько раз больше емкости одного элемента, сколько в батарее параллельных групп, и не зависит от числа последовательно соединенных элементов (также при условии разряда батареи и одного элемента током одинаковой силы).

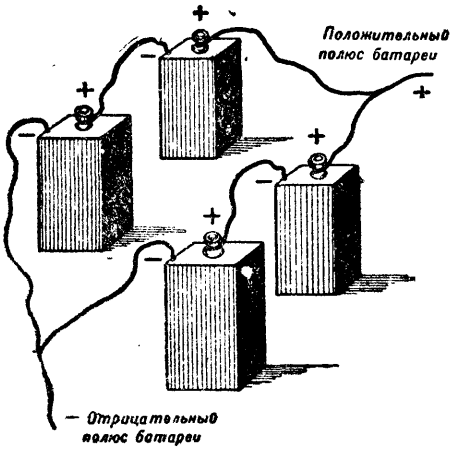


Рис. 45. Смешанное соединение

Следовательно, смешанная батарея применяется тогда, когда надо при заданном напряжении (выбрав соответствующее количество последовательных элементов) нагрузить батарею током, превышающим возможную нагрузку только последовательной батареи, или при данной силе тока повысить емкость батареи.

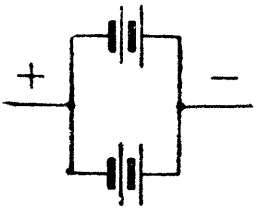


Рис. 46. Условное обозначение батарей со смешанным соединением элементов

Вообще говоря, применения смешанной батареи следует по возможности избегать, а для наиболее экономичной работы выгоднее применять последовательную батарею, составленную из элементов подходящей емкости и допускающих нужную нагрузку.

Отметим еще важные условия для правильного составления и эксплоатации батарей:

1. Не следует составлять батарею из элементов разных типов, размеров и, главное, дающих разное напряжение. Для последовательной батареи это крайне нежелательно, а для параллельной и смешанной вовсе недопустимо. Такая батарея быстро выйдет из строя.

2. Следует обратить самое серьезное внимание на изоляцию отдельных элементов батареи друг от друга. Особенно важно это для последовательной и смешанной батарей. При плохой изоляции батарея выйдет из строя значительно раньше времени

Следует поэтому избегать ставить отдельные элементы батареи вплотную друг к другу и надо следить, чтобы элементы снаружи были совершенно сухими.

3. При продолжительном бездействии батареи следует разъединять элементы друг от друга. Это уменьшит саморазряд и увеличит срок службы батареи.

25. ГАЛЬВАНИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ И БАТАРЕИ

Существует весьма много разнообразных типов гальванических элементов, отличающихся друг от друга как веществами, примененными для их изготовления, так и конструкцией. Мы рассмотрим здесь только элементы, применяемые в частях РККА в качестве табельного имущества. Это—так называемые водоналивные и сухие элементы типа Лекланше[1].

Водоналивным элементом называется элемент, в который при изготовлении его на заводе вложен электролит в сухом виде и который способен отдавать электрическую энергию только после заливки его водой (когда сухой электролит растворится в воде). Зато сухой электролит не входит в химическое взаимодействие с другими веществами, составляющими элемент, и поэтому водоналивной элемент до его заливки водой[2] не обладает саморазрядом и в незалитом виде может храниться неограниченно долго, не подвергаясь порче. Надо только хранить его в сухом месте, чтобы в него случайно не попала вода или чтобы сухой электролит не отсырел.

Сухим элементом называется элемент, который выпускается с завода в таком виде, что не требует никакой дополнительной заливки перед постановкой его на работу. Сухим он называется потому, что для большего удобства при хранении, эксплоатации и перевозке электролит в таком элементе находится не в виде жидкости, как мы это говорили раньше, а в виде так называемой пасты, т. е. киселеобразной массы, представляющей собой жидкий электролит, загущенный при помощи муки, крахмала или других веществ. Сухой элемент подвержен явлению саморазряда с самого момента своего изготовления на заводе.

Электродвижущая сила всех элементов Лекланше в начале их работы бывает от 1,45 до 1,55 вольта и при расчетах принимается равной 1,5 вольта.

С повышением температуры емкость элементов Лекланше повышается, с понижением—уменьшается. При температуре —17° Ц водоналивные и при температуре около —22° Ц сухие элементы замерзают и перестают работать. После оттаивания их действие восстанавливается. Сохранность заряженных элементов с повышением температуры уменьшается, с уменьшением тем-

---

[1] По имени французского ученого Лекланше, предложившего подобный элемент в 1868 г.

[2] Заливка водоналивных элементов водой иногда называется зарядкой. Не смешивать этого названия с зарядкой аккумуляторов (см. ниже).

пературы увеличивается. Поэтому хранить сухие элементы рекомендуется в холодном месте.

Элемент Лекланше построен следующим образом (рис. 47).

Угольный стержень, являющийся положительным полюсом элемента, окружается смесью перекиси марганца и графита, являющейся деполяризатором элемента, называемого здесь также агломератом[1]. Агломерат обертывается снаружи миткалем, обвязывается нитками, вставляется внутрь цинкового стакана, являющегося одновременно и сосудом и отрицательным полюсом элемента. Между агломератом и дном цинкового стакана лежит изолирующая прокладка (парафинированный картон, стеклянная пластинка и т. п.). Пространство между боковой поверхностью агломерата и цинковой коробкой заполняется в водоналивных элементах пропускной бумагой, опилками или другими влагоудерживающими веществами; в сухих же элементах оно заполняется пастой, заваренной на растворе нашатыря и хлористого цинка с пшеничной мукой и крахмалом.

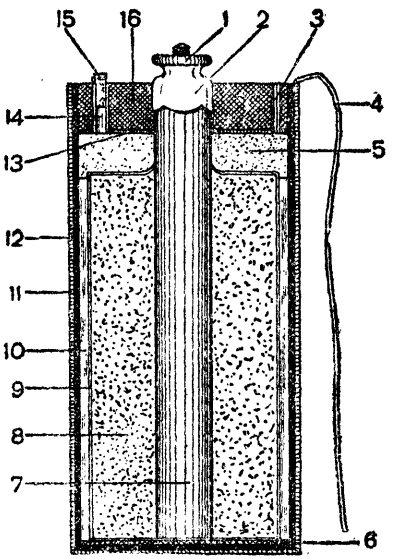


Рис. 47. Продольный разрез водоналивного (сухого) элемента типа Лекланше:

1 — положительная клемма; *2* — латунный колпачок; *3* — газоотводная трубка; *4* — отрицательный токоотвод; *5* — нашатырь (в сухих элементах пустое пространство); *6* — изоляция дна; *7* — уголь; *8* — деполяризационная смесь (агломерат); *9* — миткаль; *10* — пропускная бумага, опилки и т. п. (в сухих элементах паста); *11* — картонный футляр; *12* — цинковая коробка; *13* — картонная шайба; *14* — водоналивная трубка (в сухих элементах отсутствует); *15* — пробка; *16* — смолка

Сверху элемент заливается смолкой, плотно прилегающей к картонной парафинированной шайбе, надетой на уголь. В сухих элементах через смолку проходит одна узкая газоотводная трубочка для выведения наружу газов, получающихся в результате работы элемента (в элементах очень малых размеров эта трубочка отсутствует).

В водоналивных элементах, кроме газоотводной трубочки имеется широкая водоналивная трубка, закрывающаяся пробкой, через которую происходит заливка элемента водой перед началом работы.

Пространство между смолкой и агломератом в водоналивных элементах заполняется сухим нашатырем (сухой электролит), который растворяется при зарядке элемента водой и пропитывает собой влагоудерживающее вещество (бумагу, опилки). После зарядки это пространство в водоналивных элементах

[1] Слово „агломерат" происходит от французского слова, означающего „скопление", и применяется здесь потому, что деполяризационная смесь элементов Лекланше представляет собой скопление мельчайших частичек перекиси марганца и графита.

остается пустым, так же как и в сухих элементах, так как избыток жидкости, не впитанной пропускной бумагой, выливается.

Токоотвод у положительного полюса осуществляется при помощи надетого на уголь латунного колпачка, утопленного в смолку, к которому припаивается изолированный проводничок или навинтованный стержень с гайкой. Токоотвод у отрицательного полюса представляет собой изолированный проводник, припаянный к верхнему краю цинковой коробки.

Цинковая коробка снаружи покрывается тонким слоем какого-либо изолирующего состава и вставляется в картонный футляр, также покрытый изолирующим веществом (обычно парафином).

Химические процессы в элементе Лекланше таковы.

Во время работы элемента Лекланше отрицательный полюс, т. е. цинк, растворяется в нашатыре, а на положительном полюсе, т. е. на угле, выделяются газы: аммиак и водород. В момент своего выделения водород тотчас же соединяется с кислородом перекиси марганца и образует воду, а перекись марганца при этом превращается в другие соединения, менее богатые кислородом. Если бы в элементе не было перекиси марганца, то выделившийся водород покрыл бы уголь тонким, не проводящим электрический ток, слоем, элемент поляризовался бы и перестал работать. Таким образом перекись марганца, препятствующая этому явлению, и является здесь деполяризатором. Так как перекись марганца сама очень плохо проводит электричество, то к ней подмешивается графит, являющийся, как известно, хорошим проводником электрического тока.

Другой газ (аммиак), выделяющийся на положительном полюсе, частично уходит из элемента через газоотводную трубочку, а в большей своей части растворяется в воде и дает нашатырный спирт.

Нашатырный спирт не остается в элементе без изменения и вступает во взаимодействие с цинком, перешедшим в раствор, в результате чего получаются белые хлопьевидные или кристаллические соли, постепенно все более и более засоряющие элемент и увеличивающие его внутреннее сопротивление.

У нас в СССР изготовляются элементы четырех стандартных размеров, данные о которых приводятся в табл. III.

Кроме отдельных элементов, нашей промышленностью выпускаются и в РККА применяются анодные сухие батареи и сухие батареи для карманных фонарей. И те и другие состоят из одинаковых сухих элементиков типа Лекланше, соединенных последовательно.

Элементики эти цилиндрической формы, имеют диаметр стаканчика около 20 *мм*, а высоту около 55 *мм*. Устройство их такое же, как было описано выше для элементов больших размеров. Батарея для карманного фонаря состоит из трех последовательно соединенных элементиков (размер батареи $20\times60\times68$ *мм*) и имеет э. д. с. в 4,5 вольта. Анодные батареи изготовляются двух типов; наиболее употребительный с э. д. с. в 90 вольт, размером $135\times215\times75$ *мм*, состоит из 60 последовательно со-

ТАБЛИЦА III

Справочные данные по сухим и водоналивным элементам типа Лекланше, принятым в РККА

Род элементов	Номер по стандарту	Размеры элементов	Высота с зажимами	Вес незаряженного элемента	Количество воды для зарядки	Вес заряженного элемента	Электродвижущая сила	Внутреннее сопротивление: в начале	Внутреннее сопротивление: в конце	Наибольший разрядный ток	Емкость	Срок хранения в заряженном виде	Укупорка: число элементов, укладываемых в ящик	Укупорка: размеры ящиков	Укупорка: вес ящика	Укупорка: вес ящика с элементами	Примечание
		мм	*мм*	*г*	*г*	*г*	вольты	омы	омы	амперы	ампер-часы	годы	штуки	*см*	*кг*	*кг*	
Сухие	1-с	32×32×75	85	—	—	140	1,45—1,55	0,6	2,5	0,10	3	3/4—1 1/2	250	82×44×10,5	19	54	Применяются в радиоделе: анодные батареи стационарных установок; батареи накала
	2-с	40×40×90	100	—	—	270	1,45—1,55	0,6	2,5	0,15	6	3/4—1 1/2	180	82×44×10,5	19	70	
	3-с	55×55×125	133	—	—	650	1,45—1,55	0,5	1,7—4	0,25	23	1—2	100	60×80×14	15	80	
	4-с	40×80×175	190	—	—	950	1,45—1,55	0,5	1,7—4	0,3	42	1—2	40	38×44×19,5	10	48	
Водоналивные	1-в	32×32×75	85	125	30—35	155	1,45—1,55	0,7	1,5—5	0,10	2,5	1/2—1	250	82×44×10,5	19	51	Анодные батареи стационарных установок; батареи накала
	2-в	40×40×90	100	180	40—50	320	1,45—1,55	0,7	1,5—5	0,15	5	1/2—1	180	82×44×10,5	19	52	
	3-в	55×55×125	133	590	100	690	1,45—1,55	0,6	1,3—4	0,25	20	3/4—1 1/2	100	60×80×14	15	74	
	4-в	40×80×175	190	900	175	1 075	1,45—1,55	0,6	1,3—4	0,30	35	3/4—1 1/2	40	38×44×19,5	10	46	

Примечания. 1. Величины внутреннего сопротивления и сохранности приблизительные, так как они сильно колеблются в зависимости от качества изготовления.

2. Величина, указанная для наибольшего разрядного тока, показывает тот наибольший ток, при котором данный элемент еще работает экономически выгодно. При надобности от элемента может быть взят ток и большей силы, но такая работа невыгодна; элемент очень скоро израсходуется, придет в негодность.

3. Величина емкости указана при непрерывном разряде элементов на внешнюю цепь с сопротивлением в 10 ом до тех пор, пока напряжение на зажимах элемента не упадет до 0,7 вольта.

единенных элементиков; менее употребительная 45-вольтовая батарея имеет 32 элементика и наружный размер 178×92×75 *мм*. Батареи для карманных фонарей могут путем их последовательного соединения между собой применяться и для составления батарей **сетки** или анода, что иногда и делают. Емкость

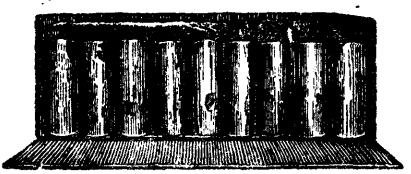


Рис. 48. Сухая анодная **батарея**, вскрытая сбоку

всех этих батарей при разряде их на постоянное внешнее сопротивление в 117 ом на каждый элемент батареи до падения напряжения на зажимах до 1 вольта на каждый элемент батареи[1] колеблется в пределах 0,33—0,50 ампер-часа. Сохранность всех этих батарей очень невелика и колеблется в пределах от

Рис. 49. Сухая анодная батарея (90 вольт), вскрытая сверху. Видно соединение отдельных элементов и следы окисления, происшедшего вследствие саморазряда

2 до 4 месяцев. Рисунки 48 и 49 показывают устройство анодной батареи (вид сбоку и сверху).

При пользовании анодными батареями надо следить, чтобы батареи не находились в сыром или в жарком месте и чтобы их полюсы не могли иметь случайного касания друг с другом.

Если схема, питаемая батареей, долгое время будет бездействовать, то батарею следует отключать от схемы. Соблюдение этих условий несколько удлинит срок службы батареи.

[1] 90-вольтовая батарея, состоящая из 60 элементов, будет разряжаться, следовательно, на сопротивление 117 ом × 60 = 7 000 ом до напряжения на зажимах 1 вольт × 60 = 60 вольт.

На рис. 50 показан общий вид всех описанных элементов и батарей.

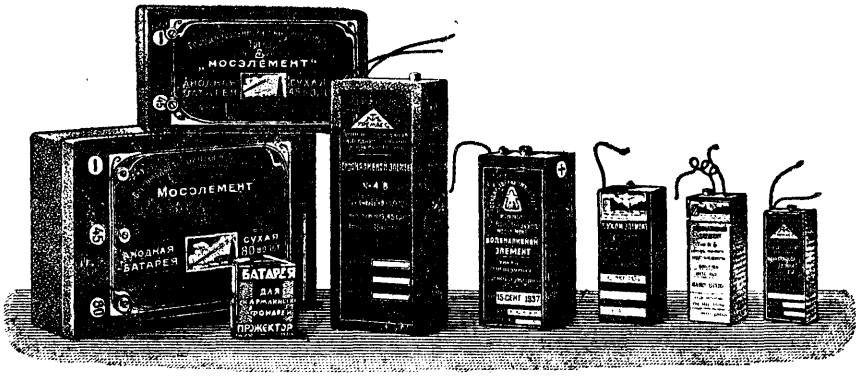


Рис. 50. Элементы и батареи типа Лекланше, изготовляемые в СССР

26. СВИНЦОВЫЕ (КИСЛОТНЫЕ) АККУМУЛЯТОРЫ

Аккумулятор простейшего вида состоит из электролита, налитого в сосуд (или бак), и двух электродов, помещенных на некотором расстоянии друг от друга в указанном сосуде. Один электрод является положительным, а другой отрицательным.

Аккумуляторы различаются между собой химической природой электролита и электродов, формой и строением электродов, устройством сосудов и т. д.

В настоящее время применяются аккумуляторы: а) свинцовые, или, как их часто называют, кислотные, и б) щелочные.

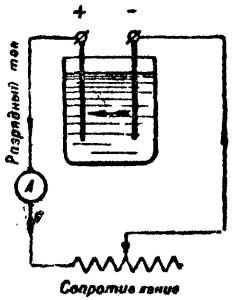


Рис. 51. Путь тока разряда свинцового аккумулятора

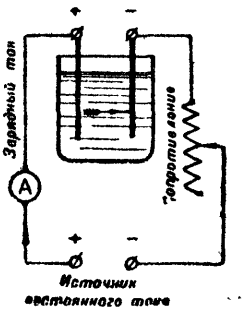


Рис. 52. Путь тока заряда свинцового аккумулятора

В качестве электролита в свинцовом аккумуляторе берется разбавленная серная кислота. Оба же электрода (и положительный и отрицательный) состоят из свинцовой основы, причем на основе (на пластине) положительного электрода, когда аккумулятор заряжен, находится темно-коричневая перекись свинца, а на отрицательной пластине — мелкораздробленный разрыхленный свинец, называемый губчатым свинцом. Если такой аккумулятор поставить на разряд (рис. 51), т. е. соединить положительную пластину (+) с отрицательной (—) через сопротивление, то разрядный ток потечет от + к —. Величину сопротивления надо брать такую, чтобы сила тока была не больше установленной для данного аккумулятора.

При прохождении разрядного тока через аккумулятор в нем происходят химические взаимодействия, в результате которых в конце разряда на обеих пластинах образуется сернокислый свинец, и плотность серной кислоты уменьшается.

Если теперь поставить аккумулятор на зарядку, то зарядный ток внутри аккумулятора пойдет уже в противоположном направлении (рис. 52) по отношению к току разрядному. Химические взаимодействия при этом в аккумуляторе будут протекать в обратном направлении, и в конце заряда на положительной пластине получится перекись свинца, на отрицательной же — губчатый свинец (т. е. те же вещества, которые были и раньше), а плотность кислоты увеличится. Аккумулятор, следовательно, снова можно будет разряжать.

Напряжение аккумулятора во время разряда не остается постоянным. Только что заряженный аккумулятор имеет напряжение от 2,1 до 2,2 вольта на каждом элементе, которое при разряде быстро падает до 2,0 вольт и затем медленно уменьшается до 1,85—1,80 вольта. Среднее рабочее напряжение при разряде принимают в 2 вольта. Ниже напряжения 1,80 вольта никогда не следует разряжать аккумулятор, ибо, во-первых, напряжение затем начинает очень быстро падать и, во-вторых (это главное), при глубоком[1] разряде на пластинах образуется в большом количестве сернокислый свинец, который является плохим проводником электричества[2] и который губительно действует на пластины аккумулятора, делая его неспособным к новой зарядке.

При заряде аккумулятора напряжение довольно быстро возрастает приблизительно до 2,1 вольта, затем медленно достигает величины 2,2—2,3 вольта, после чего снова быстро возрастает до 2,5 вольта и, наконец, медленно поднимается до 2,7—2,75 вольта.

В конце заряда (около 2,6—2,7 вольта) аккумулятор, как говорят, начинает кипеть, т. е. начинают бурно выделяться газы — водород и кислород. Это служит признаком, что действующая (активная) масса на пластинках в большой своей части подверглась изменению (заряжанию) и перестала воспринимать весь пропускаемый через аккумулятор ток, избыток которого идет теперь на газообразование.

Изменение напряжения при заряде и разряде можно представить графически в виде кривой заряда и кривой разряда аккумулятора. Для этого проводят две линии под углом в 90° — горизонтальную и вертикальную; на первой в определенном масштабе откладывают время, в течение которого акку-

---

[1] Глубоким разрядом называется разряд до напряжения значительно меньше 1,80 вольта.

[2] Внутреннее сопротивление в конце разряда вследствие этого увеличивается. Вообще же внутреннее сопротивление аккумуляторов значительно меньше внутреннего сопротивления гальванических элементов. У малых аккумуляторов оно составляет всего несколько сотых ома, у больших—несколько тысячных ома.

мулятор заряжался или разряжался, а на второй — напряжение (рис. 53 и 54).

Для снятия кривых заряда и разряда сила тока все время поддерживается одна и та же.

Сила тока, которой можно заряжать (или разряжать) аккумулятор без вреда[1] для него, обычно указывается заводом, выпускающим аккумуляторы. Она зависит от величины поверхности электродов (пластин). Чем больше будут пластины, тем большим током можно разряжать (или заряжать) аккумулятор.

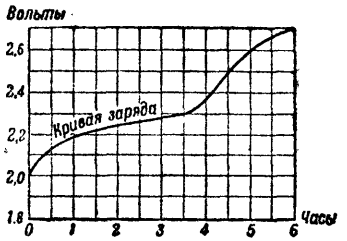


Рис. 53. Кривая заряда свинцового аккумулятора

Емкостью аккумулятора называется то количество электричества, которое мы должны ему сообщить при заряде или можем получить от него при разряде. Первая называется зарядной емкостью, а вторая — разрядной.

Следовательно:

зарядная емкость = зарядному току × время заряда,

а разрядная емкость = разрядному току × время разряда.

При этом сила тока берется в амперах, а время — в часах. Емкость же измеряется в ампер-часах.

Емкость зависит от температуры: с повышением температуры на 1° она увеличивается, примерно, на 1,5% по сравнению

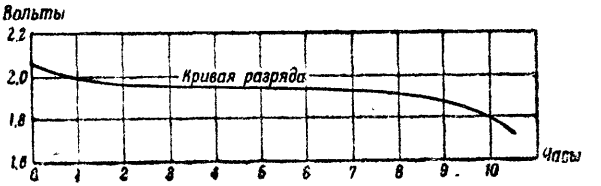


Рис. 54. Кривая разряда свинцового аккумулятора

с емкостью при +15° Ц. С понижением температуры она, наоборот, уменьшается.

У заряженного, но не работающего аккумулятора емкость не остается постоянной; она, как и у гальванических элементов, уменьшается вследствие саморазряда. В течение суток аккумулятор теряет около 1—2% своей емкости.

Разрядная емкость всегда меньше зарядной; отношение их определяет отдачу аккумулятора по количеству электричества:

$$\text{отдача по количеству электричества} = \frac{\text{разрядной емкости}}{\text{зарядную емкость}}.$$

У свинцовых аккумуляторов она равняется 0,85—0,90 или в процентах—85—90%, т. е. около 15—10% всего количества электри-

[1] При токах больше нормального пластины быстро разрушаются.

чества, которое было сообщено аккумулятору, тратится в нем самом.

Переносные аккумуляторы собираются в стеклянных, эбонитовых и, реже, целлулоидных сосудах. В эбонитовых сосудах пластины подвешиваются или, так же как в стеклянных сосудах, они устанавливаются на эбонитовые призмы, расположенные на дне сосуда (рис. 55).

Пластины располагают достаточно высоко над дном сосуда. Это делается затем, чтобы осадок, который с течением времени при работе аккумулятора образуется на дне, не коснулся нижних краев пластин, ибо, если это случится, то произойдет короткое замыкание между пластинами, потому что осадок хорошо проводит ток.

Для того чтобы две соседние пластины не могли соприкасаться между собой, их разъединяют изолирующими веществами, например стеклянными трубками, эбонитовыми и перфорированными (продырявленными) листами, фанерными ребристыми прокладками и т. д. Разъединяющие прокладки называются сепараторами.

Так как положительные пластины легко коробятся, если подвергаются действию тока только с одной стороны, то их помещают между двумя отрицательными пластинами. Следовательно, в каждом аккумуляторном элементе отрицательных пластин всегда на одну больше числа положительных пластин [1].

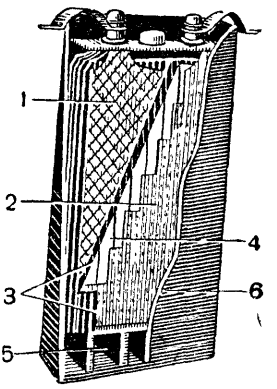


Рис. 55. Переносный свинцовый аккумулятор (часть средней стенки сосуда и боковой вырезана):

1 — положительная пластина; *2* — отрицательная пластина; *3* — перфорированный эбонитовый сепаратор; *4* — фанерный сепаратор; *5* — эбонитовые призмы; *6* — эбонитовый сосуд

Одноименные пластины в элементе соединяются между собой.

27. ЩЕЛОЧНЫЕ АККУМУЛЯТОРЫ НИФЕ

В щелочных аккумуляторах на положительных пластинах имеется гидрат окиси никеля, а на отрицательных — металлический кадмий и некоторое количество окислов железа.

При разряде на положительных пластинах образуется гидрат закиси никеля, на отрицательных — гидрат закиси кадмия.

Электролит состоит из 20—21% раствора едкого кали (удельный вес—1,21[2]). При разряде и заряде концентрация (крепость) его изменяется очень незначительно, но так как при этом выделяются газы (кислород и водород), которые образуются за счет разложения воды, то время от времени в аккумулятор прихо-

[1] Исключение (иногда) представляют только аккумуляторы небольшой емкости для анодных батарей.

[2] Плотностью раствора, или его удельным весом, называют число, показывающее, во сколько раз вес данного раствора больше или меньше веса воды, взятой в таком же объеме и при той же температуре.

дится доливать дестиллированной воды или очень слабый раствор едкого кали.

Изменение напряжения аккумулятора при разряде и заряде можно видеть на рис. 56. Щелочные аккумуляторы вообще

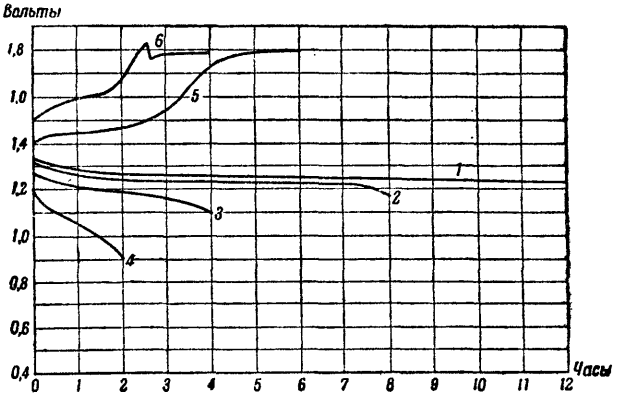


Рис. 56. Кривые напряжения при заряде и разряде щелочного аккумулятора Нифе:

1 — при 12-часовом разряде; *2* — при 8-часовом разряде (нормальном); *3* — при 4-часовом разряде; *4* — при 2-часовом разряде; *5* — при 6-часовом заряде (нормальном); *6* — при 4-часовом заряде

допускают разряд и заряд без вреда для аккумуляторов значительно бо́льшими токами (по сравнению с нормальными), чем кислотные аккумуляторы.

Пластины аккумулятора помещаются в прямоугольные сосуды (коробки), изготовленные из стали и никелированные. Стенки для прочности делаются волнистыми.

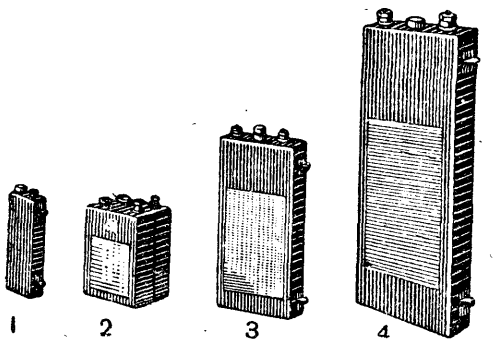


Рис. 57. Отдельные банки щелочных аккумуляторов Нифе:

1 — тип СИ-02, емкость его 2 ампер-часа; *2* — сдвоенный фонарный, емкость его 10 ампер-часов; *3* — тип СИ-2, емкость его 22 ампер-часа; *4* — тип СИ-6 емкость его 60 ампер-часов

Крышки коробки имеют три отверстия, из которых два служат для вывода полюсных болтов, а третье — для заливки электролита и выпуска газа. Отверстие для заливки закрывается или специальным вентилем или эбонитовой пробкой с небольшим отверстием, которая при перевозках заменяется резиновой пробкой.

На рис. 57 можно видеть отдельные банки аккумуляторов типа СИ (которые нашли большое применение в области радио) и сдвоенный фонарный аккумулятор.

В табл. IV приводятся главнейшие данные аккумуляторов этого типа.

ТАБЛИЦА IV

Главные данные для щелочных аккумуляторов Нифе

Тип	Емкость в амперчасах при 8-часовом режиме	Размеры			Вес одного элемента с электролитом в *кг*	Объем электролита в одном элементе в *л*	Нормальный зарядный ток в амперах	Нормальный разрядный ток в амперах
		длина	ширина	высота борта				
				Тип СИ				
СИ-0,2 . .	2	20	45	120	0,23	0,03	0,5	0,25
СИ-0,4 . .	4	29	80	105	0,45	0,10	1,4	0,50
СИ-0,8 . .	8	29	80	150	0,72	0,15	2,0	1,0
СИ-1 . . .	10	29	80	150	0,75	0,15	2,5	1,25
СИ-2 . . .	22	29	105	200	1,35	0,25	5,5	2,75
СИ-4 . . .	45	52	105	200	2,30	0,40	11	5,65
СИ-6 . . .	60	41	128	330	3,90	0,675	16	7,50
				Сдвоенные аккумуляторы для фонарей				
ДА-1 . . .	10	64	80	108	1,3	0,20	2,5	1,25

Среднее рабочее напряжение аккумуляторов Нифе на один элемент при разряде 1,2—1,25 вольта (конечное напряжение — 1 вольт), наибольшее напряжение при заряде—1,75 вольта.

Емкость аккумулятора мало зависит от силы зарядного (и разрядного) тока, и только в случае быстрой зарядки (и разрядки) при силах токов, в несколько раз больших нормального, емкость уменьшается на 15% по сравнению с обозначенной емкостью.

Емкость щелочного аккумулятора не зависит от температуры окружающей среды в промежутке от $+25^\circ$ до -17° Ц, если только аккумулятор до включения в цепь не подвергался предварительному охлаждению.

С повышением температуры до $+40^\circ$ емкость аккумулятора увеличивается, но при превышении этого предела аккумулятор безвозвратно теряет до 50% своей емкости.

При низких температурах, примерно до -30° Ц, аккумуляторы работают, только несколько уменьшается их емкость; при -30° Ц и ниже электролит замерзает, и работа аккумулятора прекращается.

Саморазряд у этих аккумуляторов практически отсутствует, поэтому они могут долгое время оставаться заряженными, не теряя своей емкости. Срок службы очень значительный.

По сравнению с кислотными аккумуляторами щелочные имеют следующие недостатки:

1. Низкое рабочее напряжение (1,2—1,25 вольта), тогда как кислотные имеют около 2 вольт. Вследствие этого для получения определенного напряжения приходится брать батарею из щелочных аккумуляторов с числом элементов приблизительно в 1,6 раза большим, чем кислотные.

2. Имеют относительно высокую стоимость, но благодаря большому сроку службы этих аккумуляторов дороговизна вполне окупается.

Но наряду с недостатками щелочные аккумуляторы по сравнению с кислотными обладают и многими достоинствами:

1. Весьма нечувствительны к механическим толчкам и тряске.
2. Обладают большой выносливостью:

а) случайное короткое замыкание или очень большой разрядный ток для аккумуляторов безвредны;

б) также совершенно безвреден перезаряд;

в) оставление аккумуляторов в заряженном, разряженном и полузаряженном виде на какое угодно время их не портит.

3. Весьма медленно расходуется электролит.
4. Практически отсутствует саморазряд.
5. Имеют большой срок службы.
6. Не выделяют вредных газов, почему они, во-первых, менее вредны для обслуживающего персонала, чем кислотные, и, во-вторых, для них гораздо проще отыскать помещение.

Перечисленные выше качества щелочных аккумуляторов делают их особенно пригодными для применения в военном деле.

28. БАТАРЕИ АККУМУЛЯТОРОВ

Для получения необходимого для работы напряжения из отдельных аккумуляторов, как и из гальванических элементов, собирают батареи, причем аккумуляторы соединяют последовательно.

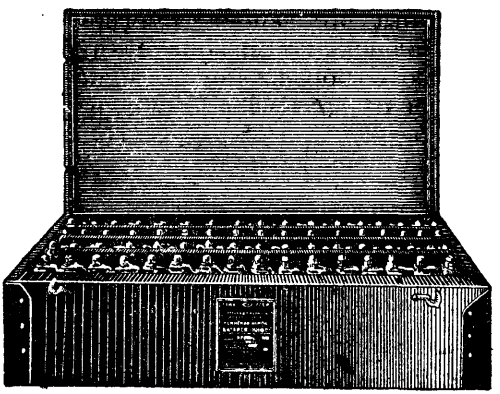


Рис. 58. Щелочная 80-вольтовая аккумуляторная батарея типа 64-СИ-0,2 емкостью 2 ампер-часа. Вес батареи с электролитом 27,1 *кг*

Анодные батареи. Необходимое число элементов в анодной батарее аккумуляторов определяется из ее напряжения и среднего рабочего напряжения одного элемента. Так, например, 80-вольтовая свинцовая (кислотная) батарея должна иметь $\frac{80}{2} = 40$ аккумуляторных элементов, а батарея того же напряжения щелочных аккумуляторов должна иметь $\frac{80}{1{,}25} = 64$ элемента. Такая батарея из щелочных элементов приводится на рис. 58. Она собрана в деревянном ящике из 64 аккумуляторов типа СИ-0,2 (тип батареи 64-СИ-0,2).

Данные этой батареи следующие: рабочее напряжение — 80 вольт, напряжение в конце заряда — 113,92 вольта; нормальный зарядный ток при 6-часовом заряде—0,5 ампера; нормаль-

ный разрядный ток при 8-часовом разряде—0,25 ампера; наружные размеры 599×168 *мм*; вес батареи с электролитом — около 27,1 *кг*.

Данные анодных батарей из свинцовых аккумуляторов приводятся в табл. V и VI.

ТАБЛИЦА V

Батареи в стеклянных сосудах в общем деревянном ящике с крышками и ручками

Тип	Рабочее напряжение в вольтах	Емкость при разрядном токе 0,02 ампер-часа	Максим. сила тока при разряде в амперах	Максим. сила тока при заряде в амперах	Наружные размеры в *мм*			Вес с кислотой в *кг*	Количество кислоты в *л*
					длина	ширина	высота		
20 РГ-1 . .	40	2,5	0,1	0,25	380	235	140	9	1,0
20 РТЧ . .	40	2,5	0,1	0,25	380	235	140	9	1,0

Примечание. Для батарей РТЧ применяется аккумуляторная кислота удельного веса 1,09, для батарей РГ — 1,21.

ТАБЛИЦА VI

Батареи в эбонитовых сосудах в общем деревянном ящике с крышками и ручками

Тип	Рабочее напряжение в вольтах	Емкость при разрядном токе 0,2 ампер-часа	Максим. сила тока при разряде в амперах	Максим. сила тока при заряде в амперах	Наружные размеры в *мм*			Вес кислоты в *кг*	Количество кислоты в *л*
					длина	ширина	высота		
20 РГ-1 . .	40	2,5	0,1	0,25	365	185	140	8,2	0,8
20 РГЧ . .	40	2,5	0,1	0,25	365	185	140	8,2	0,8
40 РГ-1 . .	80	2,5	0,1	0,25	633	185	140	14,8	1,6
40 РТЧ . .	80	2,5	0,1	0,25	633	185	140	14,8	1,6
10 РГП . .	20	5,0	0,2	0,50	435	175	152	10	0,8

На рис. 59 приводится аккумуляторная анодная радиобатарея типа 10 РАТ-1. Напряжение ее — 20 вольт, емкость — 1,2 ампер-часа. Чтобы получить 80 вольт, надо взять 4 таких блока и соединить их последовательно.

Батареи накала. Число элементов в этих батареях определяется по наименьшему напряжению одного аккумулятора при разряде, для того чтобы в конце разряда для лампы (или ламп) было обеспечено нормальное напряжение накала. Например, если в приемнике применяются лампы УБ-110 (у которых

напряжение накала — 4 вольта), то придется брать батарею из 4 щелочных аккумуляторов, так как наименьшее напряжение

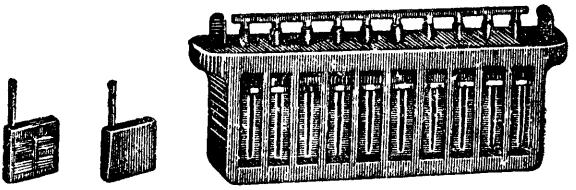


Рис. 59. Свинцовая аккумуляторная анодная радиобатарея типа 10-РАТ-1 (государственного аккумуляторного треста), в стеклянном блоке с перегородками, 20 вольт, 1 ампер-час, слева — отдельные пластины, положительная (темная) и отрицательная (светлая)

при разряде у этих аккумуляторов 1 вольт. Определив число элементов батареи, выбирают из таблицы тип, обладающий требуемой величиной разрядного тока и емкостью. Так как непосредственно после зарядки аккумулятор имеет напряжение $4 \times 1{,}25 = 5$ вольт, то необходимо в цепь накала включать реостат.

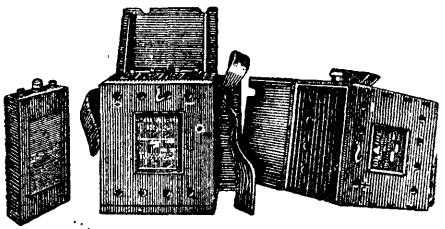


Рис. 60. Щелочная аккумуляторная батарея накала типа 4-СИ-2 емкостью 22-ампер-часа, напряжение 5 вольт

На рис. 60 и 61 даются снимки батарей накала.

Стартерные батареи СТА. Эти батареи свинцовые (кислотные) и служат для пуска мотора автомобиля. Государственный аккумуляторный трест собирает в деревянных ящиках батареи из отдельных аккумуляторных элементов на 6 и 12 вольт. Основные данные некоторых из этих батарей приводятся в табл. VII.

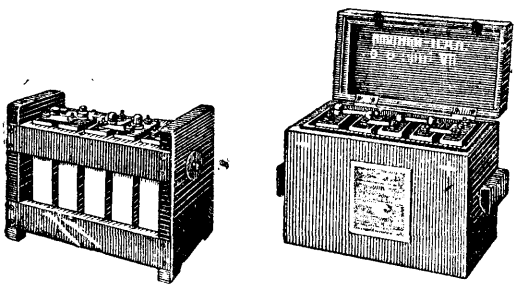


Рис. 61. Щелочная аккумуляторная батарея типа 5-СИ-1, емкостью 10 ампер-часов, напряжение 6,25 вольта

Каждый аккумуляторный элемент в зависимости от его емкости имеет несколько положительных (темно-коричневого цвета) и отрицательных (серого цвета) пластин, причем последних всегда на одну больше, чем положительных. Те и другие пластины соединяются между собой в так называемые блоки с помощью бареток (мостиков), которые при помощи водорода припаиваются к пластинам. Пластины друг от друга изолируются ребристыми деревянными фанерами.

ТАБЛИЦА VII

Основные данные стартерных батарей государственного аккумуляторного треста

Тип	Емкость в ампер-часах при 20-часовом режиме	Средняя сила зарядного тока в амперах	Напряжение в вольтах	Длина в *мм*	Ширина в *мм*	Высота в *мм*: 1) ящика, 2) то же с борнами	Количество кислоты 16° Б на 1 элемент в *л* около	Вес с кислотой в *кг*	Емкость в ампер-часах в зависимости от силы разрядного тока в амперах, при температуре 30° Ц[1] и концентрации электролита в 32° Б					
									сила тока в амперах I	емкость в ампер-часах I	сила тока в амперах II	емкость в ампер-часах II	сила тока в амперах III	емкость в ампер-часах III
3-СТА-III . . .	48	3	6	163	188	205/220	0,36	13,8	23,5	23,5	40	20	120	10
6-СТА-III . . .	48	3	12	291	188	205/220	0,36	26,2	23,5	23,5	40	20	120	10
3-СТА-IV . . .	64	4	6	212	192	205/220	0,48	16,0	31,4	31,4	54	27	160	13
6-СТА-IV . . .	64	4	12	378	199	205/220	0,48	31,0	31,4	31,4	54	27	160	13
6-СТА-IV-БД .	64	4	12	490	155	205/220	0,48	31,0	31,4	31,4	54	27	160	13
3-СТА-V . . .	80	5	6	232	187	225/238	0,60	19,3	39	39	66	33	200	16,5
6-СТА-V . . .	80	5	12	450	197	225/238	0,60	38,3	39	39	66	33	200	16,5
3-СТА-VI . . .	96	6	6	265	190	225/238	0,70	23,0	47	47	80	40	240	20
6-СТА-VI . . .	96	6	12	500	191	225/238	0,70	45,5	47	47	80	40	240	20
6-СТА-VII . .	112	7	12	583	195	240/258	0,85	52,4	55	55	94	47	280	23
6-СТА-VIII .	128	8	12	648	191	240/254	1,00	61,0	63	63	106	53	320	26,5
3-СТА-IX . . .	144	9	6	408	195	240/266	1,15	34,1	70	70	120	60	360	30
3-СТА-IX-Д . .	144	9	6	380	190	240/245	1,15	34,3	70	70	120	60	360	30
6-СТА-9 . . .	144	9	12	764	195	240/266	1,15	68,6	70	70	120	60	360	30

Примечание. Буква „Б" в конце названия батареи указывает, что данная батарея продольной сборки, т. е. что пластины в элементах расположены параллельно длинной стороне деревянного ящика. Буква „Д" в конце названия батареи указывает, что ящик, в котором собрана батарея, дубовый.

[1] При температурах, отличающихся от 30° Ц, емкость увеличивается или уменьшается, примерно, на 1% на каждый градус температуры.

Собранные и спаянные блоки положительных и отрицательных пластин устанавливаются в эбонитовых сосудах на специальных эбонитовых призмах. Крышка каждого элемента в отдельности и вся батарея в целом сверху заливаются кислотоупорной мастикой, для того чтобы предотвратить возможность просачивания кислоты через промежутки между стенками бака, крышки и т. д.

Эбонитовые пустотелые пробки для батарей типа СТА состоят из двух частей и снабжены внизу у шейки двумя отверстиями для свободного прохождения из элемента газа, который выделяется из аккумулятора особенно сильно при зарядке. Такие же отверстия имеются по бокам ввинчивающейся в пробку крышки. Эта конструкция пробки гарантирует батареи от выплескивания кислоты при толчках и обеспечивает в то же время свободное газовыделение даже при зарядке на ходу при условии, что отверстия не забиты грязью.

По обозначению типа батареи можно определить ее напряжение и емкость, ибо первая (арабская) цифра в обозначении типа показывает число элементов, а последняя (римская) — число положительных пластин в элементе; каждая же пластина соответствует емкости в 16 ампер-часов. Так, например, обозначение батареи „6 СТА-IV" указывает, что батарея состоит из 6 элементов, следовательно, рабочее напряжение ее 2 вольта $\times 6 = 12$ вольт, а каждый элемент содержит 4 положительных пластины, и поэтому его емкость будет 16 ампер-часов $\times 4 = 64$ ампер-часа; отрицательных же пластин в каждом элементе будет $4 + 1 = 5$ штук.

29. ЗАРЯДКА БАТАРЕЙ АККУМУЛЯТОРОВ

Для зарядки аккумуляторов отводятся особые аккумуляторные помещения. Они оборудуются со строгим соблюдением установленных на этот счет правил. Эти помещения должны быть сухие, светлые, иметь хорошую приточно-вытяжную вентиляцию для удаления газов, образующихся при зарядке; освещаться помещение должно исключительно электрическими лампами накаливания, которые подвешиваются в закрытой арматуре; выключатели, предохранители, штепсельные соединения должны устанавливаться вне помещения. При печном отоплении топку необходимо устанавливать в соседней с помещением комнате. Щелочные аккумуляторы необходимо заряжать отдельно от кислотных.

При зарядке переносные батареи лучше устанавливать на специально изготовленных для этой цели стеллажах.

Когда имеется в распоряжении осветительная сеть постоянного тока (110 или 220 вольт), то применяют обычно схему, приведенную на рис. 62, т. е. заряжают непосредственно от сети, причем плюс батареи надо подключать к плюсу сети, а минус батареи — к минусу сети. Когда неизвестно, на каком зажиме сети плюс и на каком минус, то полярность сети можно определить различными способами. Например, если имеется

вольтметр с постоянными магнитами, около зажимных клемм которого ставятся знаки плюс и минус, то полярность определяется простым подключением вольтметра к сети. При правильном отклонении стрелки положительным зажимом сети будет тот, который присоединен к плюсовой клемме вольтметра.

Другой способ: подключают к клеммам источника тока две медные проволоки и зачищенные их концы осторожно опускают в слабый раствор поваренной соли. Через некоторое время на проволоке, которая соединена с положительным полюсом источника тока, образуется зеленый налет.

Для получения необходимой силы зарядного тока в зарядную цепь включают ламповый реостат (*ЛР*) или регулировочный (*РР*); последний включают, когда приходится заряжать батарею, собранную из 10 или более кислотных аккумуляторов.

Наивыгоднейшее использование зарядного тока от осветительной сети будет в том случае, если в зарядную цепь можно включить столько аккумуляторов, чтобы их наибольшее напряжение в конце заряда было равно напряжению сети. Например, при напряжении сети 110 вольт будет выгодно заряжать свинцовую батарею из 38—40 элементов (2,7 вольта × 40=108 вольт).

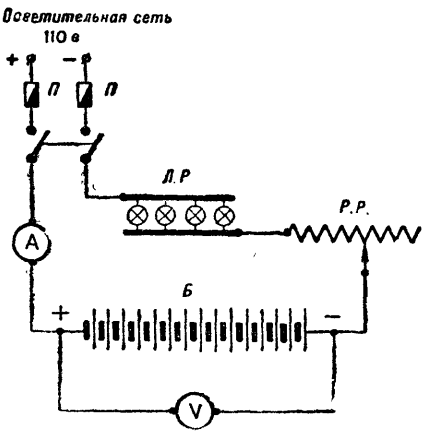


Рис. 62. Зарядка батареи аккумуляторов

Б от осветительной сети; *П* — предохранители; *ЛР* — ламповый реостат; *РР* — регулировочный реостат

Если сети с постоянным током нет, то для зарядки аккумуляторов применяются динамомашины обычно с двумя коллекторами, из которых один дает низкое напряжение для зарядки батарей накала, а другой — высокое для зарядки анодных батарей. Такого типа динамомашина РМ-5 устанавливается, например, в зарядной двуколке радиостанций. Машина приводится в движение бензиновым 1-цилиндровым 4-тактным двигателем, который посредством упругих колец, насаженных на пальцы его маховика и на пальцы специальной муфты динамомашины, соединяется с 2-коллекторным электрическим генератором (динамомашиной). Двигатель и динамо, т. е. весь агрегат, смонтированы на раме из углового железа. Двигатель имеет мощность 3 лошадиных силы, а данные динамомашины следующие.

Со стороны коллектора высокого напряжения имеет 120 вольт, 1,5 ампера; со стороны коллектора низкого напряжения—36 вольт, 20 ампер.

Нормальное число оборотов 1 800 об/мин. Обмотки высокого и низкого напряжения уложены в пазах одного и того же якоря и вращаются в общем магнитном поле.

Магнитное поле создается 4 катушками возбуждения, находящимися на 4 полюсных башмаках, прикрепленных болтами к железной станине машины. Катушки возбуждения питаются со стороны коллектора высокого напряжения и присоединены к щеткам параллельно (шунтом).

В цепь питания катушек возбуждения включен последовательно шунтовой реостат сопротивлением 180 ом. Этот реостат смонтирован на распределительном щите (рис. 63).

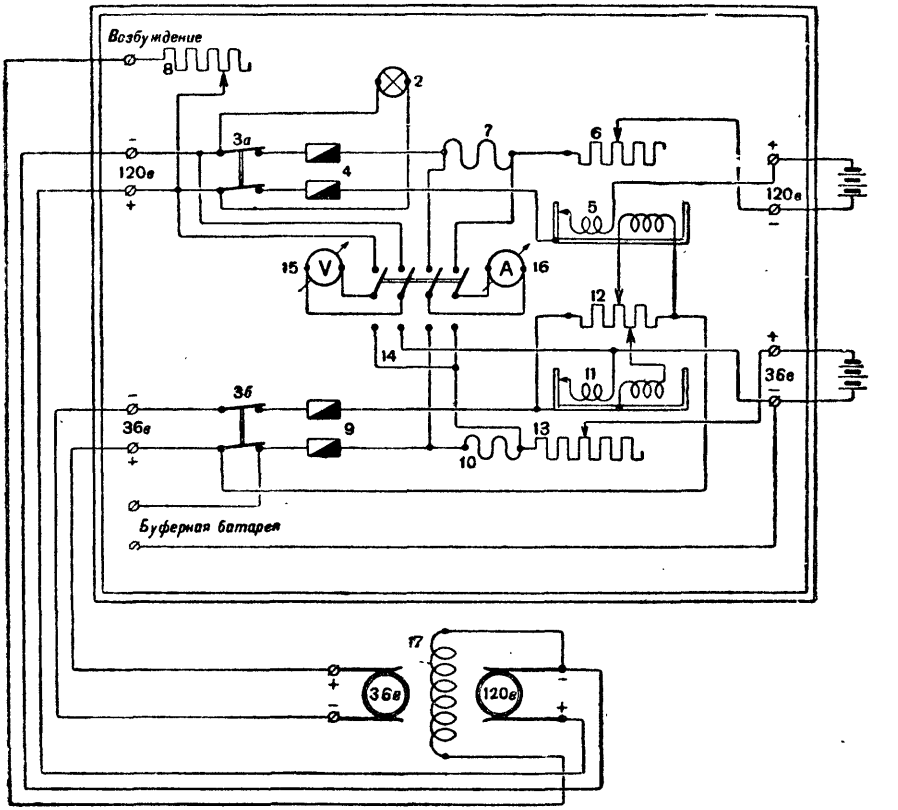


Рис. 63. Принципиальная схема зарядного щита

Так как магнитное поле в динамомашине общее для обеих обмоток якоря, то одновременно с изменением высокого напряжения меняется и низкое (см. главу IV).

В зависимости от положения ползунка реостата напряжение динамомашины можно регулировать в пределах 90—130 вольт и 27—40 вольт. Дальнейшее понижение напряжения можно получить, уменьшая число оборотов бензинового двигателя.

Для подводки тока от динамомашины к распределительному щиту агрегата имеется пятижильный кабель, который одним своим концом закреплен в контактной коробке динамомашины, а вторым (свободным) концом, имеющим кабельные наконечники,

подводится к контактным болтам щита, где поджимается под гайки.

На щите смонтированы (рис. 63) следующие части:

1. Вольтметр *15* постоянного тока типа 4-ДШ на 140 вольт
2. Амперметр *16* постоянного тока типа 4-ДШ на 50 ампер.
3. Четырехполюсный переключатель к ним *14*, в зависимости от положения которого контролируется нагрузка или в цепи 120 вольт (включен в верхнее положение) или в цепи 36 вольт (в нижнем положении).

В цепи высокого напряжения (120 вольт) имеются такие части:

4. Шунтовой реостат *8* на силу тока до 1 ампера, сопротивлением 180 ом.
5. Контрольная лампа *2* на 120 вольт 15 ватт.
6. Двухполюсный рубильник *3а* на 40 ампер.
7. Двухполюсный плавкий предохранитель *4* на 1,5—2,5 ампера, закрытый крышкой.
8. Реле-автомат (обратного тока) *5* для включения и выключения заряжаемых батарей; тонкая обмотка питается от потенциометра *12* в цепи низкого напряжения (потенциометр помещен за щитом). Эта обмотка состоит из 2000 витков (ток, проходящий через нее, должен быть около 0,1 ампера). Вторая толстая обмотка имеет 60 витков.
9. Шунт *7* к амперметру на 5 ампер (за щитом).
10. Нагрузочный реостат *6* на 2 ампера сопротивлением 60—70 ампер.

В цепи низкого напряжения (36 вольт) имеются следующие части:

11. Двухполюсный рубильник *3б* на 40 ампер.
12. Двухполюсный плавкий предохранитель *9* на 25—35 ампер, закрытый крышкой.
13. Реле-автомат *11* на ток до 25 ампер для включения и выключения заряжаемых батарей; тонкая обмотка питается от потенциометра *12* в цепи низкого напряжения; она имеет 2500 витков (ток, проходящий через нее, должен быть около 0,1 ампера). Толстая обмотка состоит из 40 витков.
14. Шунт *10* к амперметру на 50 ампер (за щитом).
15. Потенциометр *12* сопротивлением около 100 ом для включения обоих реле-автоматов (потенциометр помещается за щитом).
16. Регулировочный реостат *13* на 20—25 ампер сопротивлением 1,1—1,4 ома.

Вдоль левой стороны щита находятся 7 контактных болтов с 6-гранными гайками, к которым подводятся (рассматриваем сверху вниз): + цепи возбуждения динамомашины,—120 вольт, +120 вольт,—36 вольт, +36 вольт (к этим болтам присоединяются концы 5-жильного кабеля согласно отметкам на кабельных наконечниках). Два нижних контакта болта в этой схеме не используются.

По правой стороне щита находятся 4 контактных болта, под зажимные барашки которых приключаются наконечники кабелей и шнуров, отводящих ток к заряжаемым аккумуляторам.

Полярность этих болтов (считается сверху вниз): +120 вольт, —120 вольт, +36 вольт, —36 вольт.

Зарядный агрегат допускает возможность производства одновременной зарядки со стороны коллектора высокого напряжения до 3 параллельно соединенных 80-вольтовых щелочных аккумуляторов батарей типа 64-СИ-0,2, а со стороны коллектора низкого напряжения такое количество аккумуляторных батарей в смешанном соединении, чтобы количество последовательных элементов (банок) в каждой из параллельных ветвей не превосходило 20 штук, а суммарная сила тока не превышала бы 20 ампер.

Включение заряжаемых батарей производится после того, как двигатель разовьет такое число оборотов, что вольтметр, включенный поворотом 4-полюсного рубильника *14* в цепь 120 вольт, покажет 120 вольт. При этом шунтовой реостат должен быть введен (ползунок его должен стоять в крайнем нижнем положении); также должны быть полностью введены и нагрузочные реостаты (ползунки их надо отвести вправо).

Сначала врубают рубильник 36 вольт *3б*, в силу чего подается ток в потенциометр, якорьки автоматов-реле срабатывают под действием тока, проходящего по тонким их обмоткам, и контакты реле замыкаются. Затем врубают рубильник 120 вольт *3а*.

Сила зарядного тока регулируется при помощи как нагрузочных реостатов *6* и *13*, так и шунтового реостата *8* динамо.

Экономически целесообразнее устанавливать величину силы зарядного тока с помощью шунтового реостата *8* и регулировкой мощности двигателя, стремясь к тому, чтобы нагрузочные реостаты были как можно больше выведены; этим будет уменьшен бесполезный расход мощности, идущий на нагревание обмоток нагрузочных реостатов.

Во время зарядки необходимо следить по амперметру за постоянством силы тока.

Для прекращения зарядки можно или вырубить рубильники или остановить двигатель. В первом случае выключение рубильников производится в порядке, обратном включению, т. е. сперва вырубают рубильник 120 вольт *3а*, а потом — 36 вольт *3*. При другом порядке выключения контакт реле высокого напряжения разомкнулся бы под током, т. е. с искрообразованием, что при частых повторениях влечет за собою сгорание контакта и порчу реле.

Во втором случае, т. е. когда останавливают двигатель, реле сами отключают заряжаемые батареи при врубленных рубильниках, так как обратный ток из батареи в якорь останавливающейся динамомашины пройдет через толстые обмотки автоматов-реле в направлении, противоположном нормальному, отчего сердечники реле размагничиваются и якорьки разрывают контакт.

30. УХОД ЗА КИСЛОТНЫМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

Кислотные аккумуляторы требуют особо тщательного ухода и присмотра за собой. Батареи необходимо содержать сухими и

чистыми, ибо влажность и всякого рода соли создают ответвления тока, которые со временем разъедают зажимы и деревянные ящики. Если электролит попадает на ящик, на окраску, одежду и т. д., то рекомендуется промывать их раствором соды или нашатырным спиртом и затем чистой водой. После промывки батарею необходимо просушивать. Батареи должны заливаться серной кислотой, плотность которой берется 22° Боме (удельный вес—1,18), причем она должна иметь среднюю комнатную температуру (не выше + 30° Ц)[1].

Определение плотности раствора серной кислоты производится при помощи ареометра Боме[2]. Последний представляет собой полую стеклянную трубочку, запаянную с обоих концов и имеющую внутри шкалу, разделенную на градусы (рис. 64). В нижней части трубка несколько расширяется, образуя поплавок, который дальше переходит в шарик, наполненный ртутью, для того чтобы трубочка плавала вертикально. Чем больше плотность раствора, тем выше поднимается из жидкости ареометр. В дестиллированной воде с температурой 4° Ц ареометр должен показывать нуль.

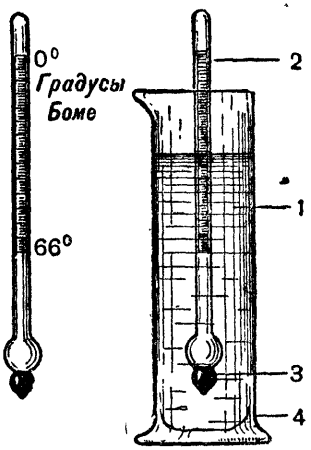


Рис. 64. Ареометр Боме и измерение плотности кислоты:
1 — кислота; *2* — ареометр; *3* — шарик с ртутью; *4* — мензурка

Ареометр не показывает прямо удельного веса кислоты, а дает показания в градусах Боме.

Смешивание кислоты с водой следует производить осторожным подливанием кислоты в воду (все время помешивая жидкость стеклянной или деревянной палочкой), а не наоборот, так как иначе могут получиться опасные брызги.

Аккумуляторная кислота должна быть химически чистой, ибо содержание примесей в кислоте вызывает быстрое разрушение пластин и понижает емкость аккумулятора.

---

[1] Стартерные батареи, указанные в табл. VII, заливаются электролитом с удельным весом 1,125 (16° Б). Электролит заливают совершенно остуженный. После первой заливки элементов батарей электролитом дают им постоять до зарядки около 6 час. Электролит должен покрывать пластины слоем не менее 15 *мм*. Плотность электролита (кислоты) в конце зарядки поднимается, и тогда ее доводят до нормы, т. е. до 32° Б. Однако в зависимости от времени года и климатических условий местности плотность кислоты рекомендуется изменять следующим образом: летом плотность электролита в конце зарядки понижается до 29—30° Б, а в очень жарких местностях даже до 25° Б. В зимнее время, наоборот, плотность электролита увеличивают до 33° Б и даже до 35° Б при очень сильных морозах. При какой плотности электролита батарею надо ставить на зарядку, указывается в табл. VII.

[2] Для определения плотности в аккумуляторах большой емкости ареометр опускают непосредственно в сосуды аккумуляторов; в малых же аккумуляторах для измерения плотности приходится электролит набирать из аккумуляторов в мензурку и уже в ней измерять плотность электролита (рис. 64).

Заряд батареи необходимо производить током не больше нормального, который для данного аккумулятора дается в заводских наставлениях. В конце зарядки, когда аккумуляторы начинают кипеть, заряд лучше производить током, уменьшенным на 50—80% против нормального. Как только батарея разрядится, ее необходимо зарядить. Совершенно разряженную батарею ни в коем случае нельзя оставлять без заряда дольше 24 часов.

Если заряженная батарея аккумуляторов находится в нерабочем состоянии, то ее все равно надо заряжать не реже чем 1 раз в месяц, ибо аккумуляторы саморазряжаются.

Примерно раз в месяц необходимо батарею основательно заряжать (перезаряжать), т. е. продолжать некоторое время заряд при сильном кипении аккумулятора, причем перезаряд всегда надо производить при уменьшенном токе. Надо избегать заряда батареи в обратном направлении.

Для избежания порчи пластин необходимо наблюдать, чтобы температура электролита не превышала 40° Ц[1].

Конец заряда можно определить по следующим признакам:

1. Повышение напряжения на каждый элемент батареи, примерно, до 2,7—2,75 вольта при нормальной силе зарядного тока. Указанное напряжение должно оставаться постоянным в течение 1—2 часов зарядки подряд.

2. Повышение плотности электролита до максимума 24—25° Б (для аккумуляторов 40-РГ-1—до 29°), т. е. она должна повыситься, примерно, на 3—4° (это является наиболее точным признаком окончания заряда) по сравнению с его плотностью при конце разряда.

3. Сильное выделение газов на положительных и отрицательных пластинах.

Разряд не следует производить силой тока большей, чем та, которая для данного аккумулятора указана заводом. Меньшим, чем нормальная сила тока, разряжать аккумуляторы возможно, но при этом надо следить, чтобы отданная аккумулятором емкость не была больше гарантированной заводом, ибо в противном случае разряд слабым током будет вредным образом действовать на состояние пластин.

Никогда не следует разряжать батарею аккумуляторов ниже 1,8 вольта на каждый элемент батареи.

Измерение напряжения батареи при разрядке должно производиться тогда, когда батарея работает, так как при выключении нагрузки ее напряжение сразу повышается и не дает представления о том, до какой степени разрядились элементы батарей.

Плотность кислоты в конце заряда должна быть около 22°.

---

[1] Если батарея доставляется в сухом виде, то после заливки аккумуляторов электролитом соответствующей плотности (она указывается заводом в наставлении по уходу за батареей) батарее дают постоять до зарядки около 6 часов и затем уже ставят на зарядку. Первая зарядка обыкновенно производится дольше обычной, т. е. ей дают количество ампер-часов, примерно, на 60% больше гарантированной емкости.

Необходимо следить, чтобы уровень электролита всегда был на 1—1,5 *см* выше над верхними краями пластин. Если же уровень электролита опустится ниже своего нормального положения, то необходимо доливать дестиллированную воду (кислоту доливают только при случайном проливании электролита из аккумулятора). Не покрытые кислотой части пластин быстро подвергаются сульфации (что можно ясно видеть на рис. 65), т. е. покрываются плохо растворимым сернокислым свинцом, отчего пластины приходят в негодность.

Доливку необходимо производить в начале зарядки.

Надо безусловно избегать короткого замыкания, т. е. соединения пластин проводником, имеющим небольшое сопротивление.

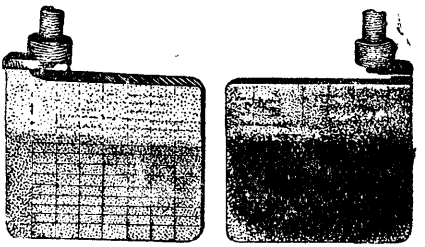


Рис. 65. Пластины свинцового аккумулятора, верхние части которых подвергались сульфации, так как эти части не были покрыты электролитом

Сохранение батареи в бездействующем состоянии. Если батарея должна долгое время сохраняться в бездействующем состоянии, то в этом случае поступают следующим образом: сначала батарею разряжают нормальной силой тока до падения напряжения на каждый элемент батареи до 1,7 вольта. После этого кислоту из элементов выливают, заливают их дестиллированной водой и оставляют на 3 часа. Затем снова удаляют раствор кислоты из элементов, наливают снова дестиллированной водой и оставляют на несколько часов. Такие промывки батареи производят до тех пор, пока вода из аккумуляторов при пробе стеклянной или чистой деревянной палочкой на язык не будет иметь привкуса кислоты.

Вылив эту последнюю воду и закрыв все аккумуляторы пробками, батареи можно сохранять годами без всякого вреда для них.

При пуске в ход батареи, сохранявшейся вышеуказанным способом, поступают точно таким же образом, как и с вновь полученной сухой батареей.

31. УХОД ЗА ЩЕЛОЧНЫМИ АККУМУЛЯТОРАМИ

Выше уже указывалось, что щелочные аккумуляторы обладают прочностью и выносливостью, поэтому уход за ними значительно легче, чем за свинцовыми.

Главнейшие правила, которые должны соблюдаться при обслуживании батарей из щелочных аккумуляторов, следующие:

1. Батарейные ящики аккумуляторов должны содержаться в сухом виде, а наружные части отдельных аккумуляторов необходимо тщательно очищать от пыли, грязи и образующихся солей. Неокрашенные части аккумуляторов и соединения должны быть всегда покрыты свободным от кислоты вазелином.

2. Ни в коем случае нельзя заливать аккумуляторы серной кислотой, которая их совершенно разрушает.

3. Нельзя устанавливать аккумуляторы в помещениях, где имеет место выделение хлора, сернистого газа и других кислотных испарений, так как они разрушают сосуд и активную массу пластин.

4. Необходимо следить, чтобы электролит имел плотность 25° Б (удельный вес 1,21). Приготовлять раствор необходимо в чистом железном, чугунном или эмалированном сосуде, в который куски твердого едкого кали надо класть железными щипцами или пинцетом; твердый едкий кали надо хранить в запаянных или плотно закрытых банках, а раствор едкого кали—в герметически закрытых бутылках, потому что кали портится от действия содержащихся в воздухе угольной кислоты и водяных паров.

Для приготовления электролита для аккумуляторов надо применять чистую дестиллированную воду, так как всякая другая вода содержит посторонние примеси и различные растворенные в ней соли. Эти примеси загрязняют аккумулятор, вызывают уменьшение емкости и сокращают срок службы. В исключительных случаях можно допускать применение дождевой воды или воды от растопленного чистого снега.

5. Наливать и доливать электролит и воду в аккумуляторы следует специальной пипеткой или через чистую воронку из фарфора, стекла или эбонита, лишь перед зарядом батареи.

Наполнять аккумуляторы надо с таким расчетом, чтобы электролит покрывал пластины слоем не меньше 5 *мм* в малоемкостных типах и не менее 20 *мм*—в типах большой емкости. Когда же уровень опустится ниже указанной высоты, то необходимо доливать дестиллированной водой или электролитом плотности 25° Б, если электролит случайно был пролит.

6. Калигидрат едок, и при обращении с ним необходимо соблюдать осторожность. Пятна на руках и одежде устраняются посредством 10% раствора борной кислоты.

7. Старый электролит необходимо заменять свежеприготовленным 1 раз в 8—12 месяцев, но не позже как после 250-го разряда. Перед заливкой свежим электролитом батарею аккумуляторов сперва надо разрядить нормальной силой тока до напряжения 0,8 вольта на каждый элемент батареи, а потом промыть дестиллированной или чистой водой.

8. Аккумулятор, в который только что влит заново электролит, надо ставить на заряд спустя час после заливки.

Первые два заряда надо производить следующим образом: сперва аккумуляторы заряжать нормальным током в продолжение всего нормального времени заряда, а потом еще дополнительно в течение такого же времени, но силой тока, на половину меньше нормальной. Перед вторым зарядом батарее дают нормальный разряд. Указанные заряды рекомендуется производить 1 раз в месяц или при каждом десятом заряде.

9. Аккумуляторы возможно заряжать быстрее нормального срока (усиленный заряд), например, вместо 6 часов их можно зарядить в 4 часа, а именно: первые 2,5 часа надо заряжать силой тока в 2 раза больше нормальной и потом 1,5 часа— нормальной силой тока.

При таком заряде необходимо следить, чтобы температура электролита не превышала +45° Ц.

10. При заряде необходимо резиновые пробки удалять из отверстий аккумуляторов, для того чтобы предоставить газу возможность свободно уходить. Закрывать аккумуляторы герметическими пробками можно только спустя 12 часов после заряда.

11. Батареи аккумуляторов не следует разряжать ниже напряжения 1,1—1 вольт на элемент. В случае необходимости можно разряжать и до 0,8 вольта на элемент, но потом надо дать батарее соответствующий переразряд.

12. Разряд можно производить током выше нормального. При этом необходимо следить, чтобы температура электролита не была выше +45° Ц.

13. Батареи аккумуляторов лучше хранить в полузаряженном состоянии, разрядив батарею после полного заряда на 25—50% и разъединив элементы батареи друг от друга (удаляя соединительные пластинки).

14. Для предохранения электролита от поглощения им углекислоты из воздуха надо вливать в аккумуляторы немного чистого вазелинового масла и закрывать герметическими пробками. Крышки и все неокрашенные части аккумуляторов необходимо хорошо смазывать вазелином и периодически очищать от ползучей соли. Окрашенные же части в тех местах, где краска стерлась, надо снова закрасить асфальтовым лаком.

15. Хранить батарею можно и в разряженном виде. При этом надо батарею разрядить при нормальном режиме, разъединить элементы друг от друга, вылить электролит (но аккумуляторы не промывать водой), закрыть отверстия герметическими пробками и смазать густым вазелином крышки аккумуляторов.

Батареи надо хранить в прохладном, но сухом помещении.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких частей состоит химический источник тока?
2. От чего зависит величина э. д. с. химического источника тока?
3. От чего зависит величина внутреннего сопротивления химического источника тока?
4. Что такое поляризация и как с ней бороться?
5. Какая разница между э. д. с. и напряжением на зажимах химического источника тока?
6. Что такое емкость химического источника тока и чем она измеряется?
7. Что такое саморазряд и чем он объясняется?
8. Как изменяется величина э. д. с. и внутреннего сопротивления при последовательном, параллельном и смешанном соединениях?
9. В каких случаях и какие соединения элементов следует применять? Какое соединение должно быть применено для анодной батареи?

10. В чем состоит разница между сухим и водоналивным элементами в отношении их сохранности? В чем разница между ними в отношении конструкции? Почему сухой элемент так называется?
11. Из какого вещества делается в элементе Лекланше положительный полюс, из какого отрицательный?
12. Какова э. д. с. элементов Лекланше?
13. Как влияет изменение температуры на емкость и сохранность элементов Лекланше?
14. Из каких частей состоит аккумулятор?
15. В чем отличие аккумулятора от гальванического элемента?
16. Какое напряжение получается у одного элемента свинцового аккумулятора в конце заряда, в конце разряда и каково его среднее рабочее напряжение?
17. Каково среднее рабочее напряжение у щелочных аккумуляторов?
18. Можно ли со щелочными аккумуляторами работать в поле зимой?
19. Перечислите преимущества и недостатки щелочных аккумуляторов по сравнению со свинцовыми.

ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МАШИНЫ

32. ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНДУКЦИЯ

Из главы II известно, что при прохождении электрического тока по проводнику вокруг него образуется магнитное поле. Электрический ток представляет собой движение частиц материи—электронов. Поэтому можно сказать, что движущиеся электроны создают вокруг своего пути замкнутые магнитные силовые линии, иначе говоря, магнитное поле. Естественно предположить, что, воздействуя на электроны магнитным полем, можно привести их в движение и таким образом получить электрический ток. Проверим наше предположение на опыте. Возьмем подковообразный магнит, между полюсами которого, как известно, сосредоточено сильное магнитное поле, и будем двигать в этом поле медный стержень (проводник) таким образом, чтобы он пересекал магнитные силовые линии; концы проводника соединены с чувствительным указателем тока—гальванометром (рис. 66). При этом легко заметить, что при движении нашего проводника поперек силовых линий магнита гальванометр будет указывать на протекание тока все время, пока проводник движется перпендикулярно магнитному полю.

Если магнит будет достаточно сильным, т. е. магнитное поле между его полюсами достаточно плотно, а концы медного стержня (проводника) соединены накоротко, то вследствие малого сопротивления всей этой цепи можно получить ток достаточно большой величины и обнаружить, что для движения необходимо приложить некоторое усилие нашей руки. Чтобы это явление уяснить, необходимо иметь в виду, что проводник, по которому течет электрический ток, окружен своим магнитным полем, которое, взаимодействуя с полем магнита, оказывает противодействие движению проводника, вызывающему этот

ток. Это противодействие заставляет нас прикладывать некоторое усилие, производить известную работу, чтобы двигать проводник в магнитном поле. Так как при этом в проводнике возникает электрический ток, то можно сказать, что механическая работа,—в данном примере работа руки,—затраченная на движение проводника в магнитном поле, превратилась в работу электрического тока. Это явление носит название электромагнитной индукции и впервые было открыто и исследовано в 1831 г. Фарадеем. Оно служит тем фундаментом, на котором построена современная электротехника.

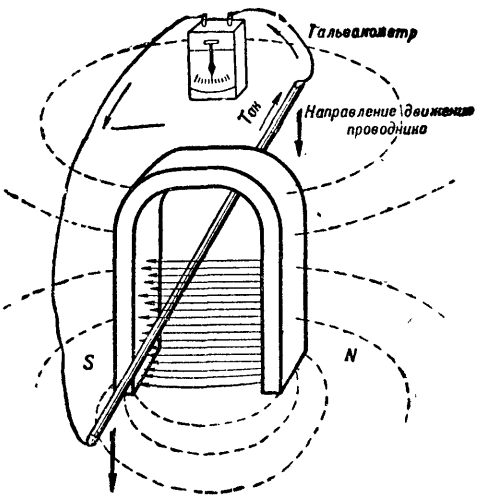


Рис. 66. Магнитные силовые линии выходят из северного полюса *N* и входят в южный полюс *S*. При движении проводника в магнитном поле в направлении, указанном стрелками, появляется электрический ток, обнаруживаемый гальванометром

Попробуем, повторяя опыты Фарадея, выяснить законы электромагнитной индукции. Возьмем два проводника (рис. 67), расположенных рядом, но друг с другом не соединяющихся. К концам первого проводника приключим батарею элементов через рубильник; цепь второго проводника замкнем гальванометром с нулем шкалы посредине. Включая и выключая рубильник, будем наблюдать отклонение стрелки гальванометра. Мы заметим, что стрелка гальванометра второго проводника в момент включения тока в первом проводнике отклонилась вправо, что указывает на появление тока, направленного по стрелке *Б*, т. е. против направления тока в первом проводнике. При выключении рубильника гальванометр, включенный в цепь второго проводника, отклонится влево. Направление тока во втором проводнике изменилось на обратное, как указано стрелкой *А*, теперь направление индуктированного тока совпадает с направлением индуктирующего тока.

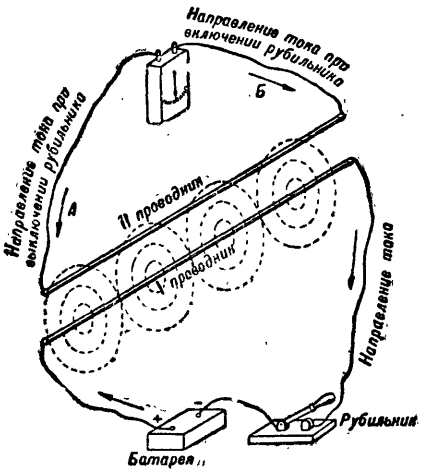


Рис. 67. Опыт Фарадея. При включении и выключении тока в первом проводнике возникает ток во втором проводнике

Это будет понятно, если вспомнить, что вокруг проводника, по которому идет ток, образуется магнитное поле. Это поле в моменты своего возникновения и исчезновения пересекает рядом лежащий второй проводник и вызывает в нем электрический ток.

Если свернуть первый и второй проводники в катушки (соленоиды), то магнитные поля отдельных витков сложатся и получится более мощное магнитное поле, а поэтому явления электромагнитной индукции будут происходить сильнее.

Очевидно, что вместо катушки, по которой течет электрический ток, можно взять постоянный магнит.

33. ВЕЛИЧИНА ИНДУКТИРОВАННОЙ Э. Д. С.

Выясним, от чего зависит величина индуктированной э. д. с. Возьмем несколько постоянных магнитов разной магнитной силы и разной ширины (рис. 68 и 69) и будем двигать проводник, как показано на рисунках, каждый раз с одной и той же скоростью, отмечая показания гальванометра для каждого типа магнита.

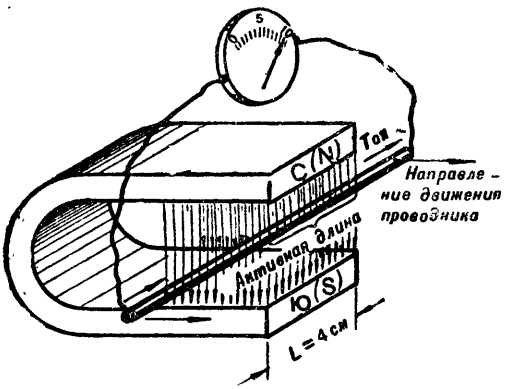


Рис. 68. Ширина магнита 40 *мм*, активная длина проводника 40 *мм*. Отклонение гальванометра 10 делений

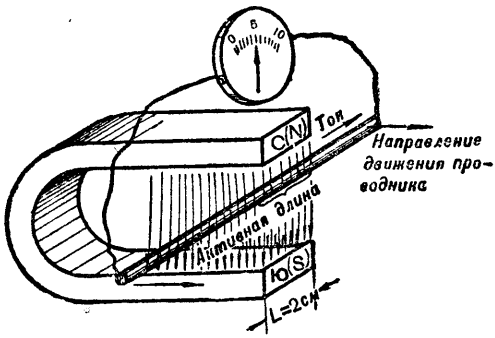


Рис. 69. Ширина магнита 20 *мм*, активная длина проводника 20 *мм*. Отклонение гальванометра 5 делений

Изучая полученные таким образом данные для разных магнитов, мы должны будем сделать вывод, что величина отклонения стрелки гальванометра, показывающая величину индуктированной э. д. с., будет:

а) тем больше, чем больше напряженность магнитного поля H;

б) тем больше, чем больше активная длина проводника, т. е. та его часть, которая во время движения пересекает линии магнитного поля. Например, активная длина проводника на рис. 68 в 2 раза больше, чем на рис. 69. Электродвижущая сила в первом случае будет в два раза больше, чем во втором.

При движении проводника вдоль линий магнитного поля э. д. с. в нем не индуктируется.

Двигая проводник в поле одного и того же магнита с разной скоростью, мы заметим, что индуктированная э. д. с. не будет постоянна; она будет тем больше, чем больше скорость пересечения проводником магнитных силовых линий. Путем точных измерений было найдено, что величина индуктированной э. д. с. определяется по формуле:

$$E = \frac{H \cdot l \cdot v}{100\,000\,000} \text{ вольт},$$

где H — плотность (напряженность) магнитного поля (число магнитных силовых линий, проходящих через 1 $см^2$);
l — активная длина проводника в $см$;
v — скорость движения проводника в магнитном поле в $см/сек$;
100 000 000 — коэфициент пропорциональности.

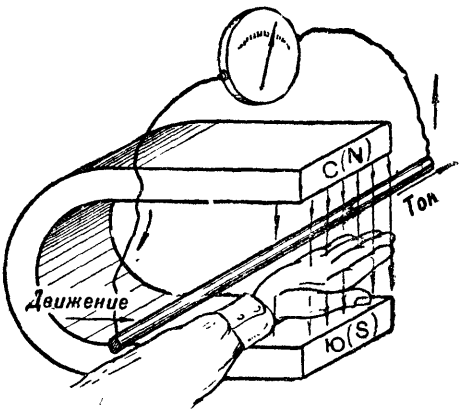


Рис. 70. *Правило правой руки.* Если ладонь правой руки поместить так, чтобы магнитный поток падал на ладонь, а большой палец показывал направление движения проводника, то направление вытянутых остальных пальцев укажет направление тока

Таким образом, чтобы найти величину индуктированной э. д. с. нужно плотность магнитного поля умножить на активную длину проводника, затем умножить на скорость движения проводника в магнитном поле и полученное произведение разделить на 100 000 000.

Пример. Возьмем постоянный магнит шириной в 4 *см* с плотностью магнитного поля между полюсами $H=500$. Двигая проводник в поле этого магнита со скоростью 500 *см/сек*, мы получим индуктированную в этом проводнике э. д. с. равной:

$$\text{э. д. с.} = \frac{4 \times 500 \times 500}{100\,000\,000} = \frac{1}{100} = 0{,}01 \text{ вольта}.$$

Направление индуктированного тока в проводнике легко определить по так называемому правилу правой руки.

Если ладонь правой руки поместить против северного полюса магнита (магнитный поток как бы падает на ладонь) и отставленный большой палец ее будет показывать направление движения проводника, то направление вытянутых остальных пальцев будет показывать направление тока, индуктируемого в проводнике (рис. 70).

34. НЕКОТОРЫЕ СЛУЧАИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ

Рассмотрим некоторые приложения явления электромагнитной индукции к технике.

Индукция в проводах. При телефонных переговорах иногда мы слышим посторонние разговоры, работу телеграфа, гудение переменного тока. Происходит это оттого, что в линиях, параллельных нашей, происходят изменения силы тока, а следовательно, и магнитного поля, которые в нашем проводнике индуктируют э. д. с.

Индукционная катушка (рис. 71) состоит из двух катушек, одна внутри другой, надетых на железный сердечник для увеличения магнитного потока. Внутренняя первичная катушка состоит из небольшого числа витков толстой проволоки, внешняя вторичная состоит из большого числа витков тонкой проволоки. Замыкая и размыкая ток в первичной обмотке катушки при помощи особого прерывателя, мы заставляем возникающий и исчезающий магнитный поток первой обмотки с большой

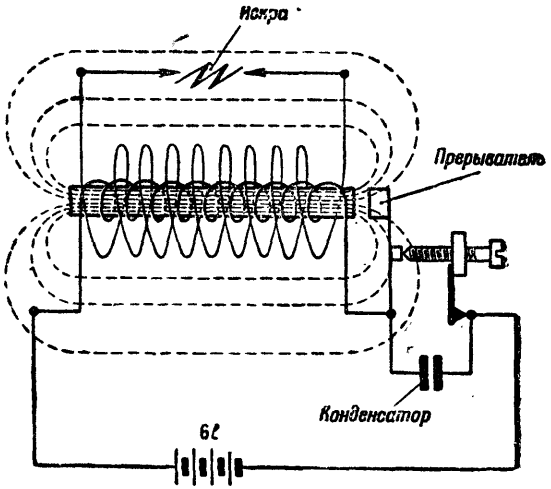


Рис. 71. Индукционная катушка. Конденсатор способствует быстрому уничтожению магнитного поля

скоростью пересекать витки вторичной катушки, индуктируя в них значительную э. д. с.

При достаточно большом числе витков вторичной обмотки напряжение на ее концах достигает нескольких сот тысяч вольт. Напряжение, подводимое к первичной обмотке катушки, не превышает обычно 100 вольт, а для малых катушек, называемых зуммерами или пищиками, — нескольких вольт. Таким образом такая катушка является простым и удобным прибором для преобразования, или, как говорят, трансформации напряжений. Такие катушки находят применение для трансформации напряжений переменных телефонных токов; в этом случае нужда в особом прерывателе отпадает.

До сих пор рассматривалась индукция одного провода или одной катушки на другой провод или на другую катушку. Однако, если взять одну катушку или один провод, то легко

обнаружить, что такая катушка (или провод) сама в себе индуктирует э. д. с. электромагнитной индукции.

35. САМОИНДУКЦИЯ

Разберем схему рис. 72. При включении тока в обмотку катушки, как известно, создается вокруг витков катушки магнитное поле, которое исчезает после выключения тока. Это магнитное поле при своем возникновении и исчезновении пересекает витки катушки и, следовательно, индуктирует в них некоторую э. д. с. В самом деле величина наведенной в проводнике э. д. с. будет зависеть от скорости изменения магнитного потока. При этом совершенно безразлично, каково происхождение магнитного поля, порождающего в проводнике э. д. с. Это может быть или поле обыкновенного магнита, или же магнитное поле какого-то проводника, по которому протекает изменяющийся электрический ток. Нам уже известно, что такой проводник, вокруг которого имеется изменяющееся магнитное поле, созданное протекающим по нему током, может наводить в соседних проводниках э. д. с. Но одновременно это же самое изменяющееся магнитное поле пересекает и самый проводник, который это поле создает. Наведенная в проводе собственным магнитным потоком э. д. с. называется э. д. с. самоиндукции.

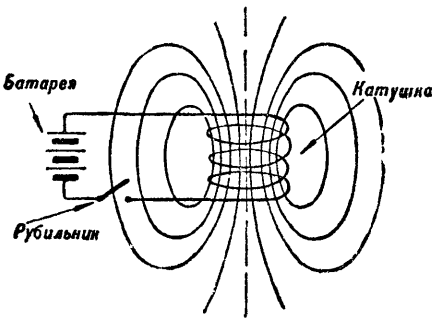


Рис. 72. Магнитное поле, образующееся при включении рубильника, пересекает витки катушки и индуктирует в ней электродвижущую силу самоиндукции

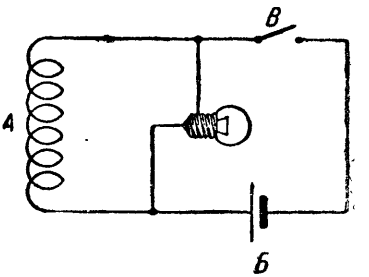


Рис. 73. Схема опыта обнаружения самоиндукции

Рассмотрим более подробно явление самоиндукции. Для этого проделаем следующий опыт. На рис. 73 изображена катушка *А* с большим числом витков. Концы катушки подключены к батарее *Б* с напряжением 2 вольта. Параллельно концам катушки включена лампочка накаливания, работающая нормально при 6 вольтах. Цепь замкнута с помощью выключателя *В*. Лампочка горит темнокрасным накалом, так как к ней подводится только 2 вольта. Если мы с помощью переключателя *В* разорвем цепь, магнитное поле сразу исчезнет, и одновременно лампочка вспыхнет ослепительно белым светом и потухнет. Это произойдет потому, что на зажимах лампочки накаливания появится скачок

напряжения. Происхождение его было вызвано явлением самоиндукции в этой цепи. Значительная величина э. д. с. самоиндукции в этом случае обусловлена весьма быстрым изменением магнитного поля в катушке при резком выключении рубильника *В*.

Как же будет проявляться самоиндукция в электрической цепи? Для ответа на этот вопрос рассмотрим следующий опыт. На рис. 74 изображена катушка с очень большим числом витков из толстой проволоки. Для увеличения магнитного потока в нее введен замкнутый железный сердечник. С помощью выключателя *1* мы можем к катушке подключить источник тока *Б*. В эту же цепь включен амперметр *А*, который имеет вращающуюся катушку со стрелкой, обладающей малой инерцией. Как только замкнем цепь выключателем *1*, стрелка амперметра начнет сразу двигаться, но очень медленно. Нарастание тока магнитного поля в цепи будет протекать в течение нескольких секунд. Стрелка остановится тогда, когда ток достигнет наибольшего значения. После этого замыкаем цепь выключателем *2* и одновременно с помощью выключателя *1* отсоединяем источник питания. Мы снова увидим, что стрелка прибора опять очень медленно будет двигаться, но уже на убывание, и только спустя несколько десятков секунд придет в нулевое положение.

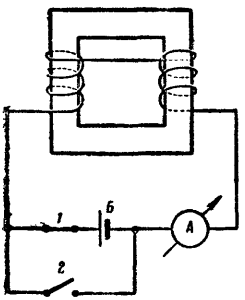


Рис. 74. Схема опыта влияния самоиндукции на нарастание и убывание тока

Произведенный опыт позволяет установить те явления, которые протекают в цепи с самоиндукцией. В цепи, не имеющей самоиндукции, мы привыкли видеть, что нарастание и убывание тока при замыкании и размыкании цепи происходят мгновенно. В произведенном же опыте при наличии самоиндукции, заключенной в катушке, в момент замыкания цепи нарастание тока происходит медленно. Происходит это потому, что магнитное поле в момент замыкания цепи индуктирует в этой цепи э. д. с. самоиндукции, которая создает ток (называемый экстратоком замыкания), направленный навстречу основному току, создаваемому источником питания. Другими словами, самоиндукция тормозит нарастание тока, мешает его появлению. В момент размыкания цепи, когда ток должен итти на уменьшение, э. д. с. самоиндукции создает свой ток (называемый экстратоком размыкания), который идет в том же направлении, что основной уменьшающийся ток. Получается, что э. д. с. самоиндукции опять стремится мешать исчезновению тока, тормозит его убывание, таким образом, в цепи с самоиндукцией сила тока не может сразу достигнуть нормальной величины, обусловленной сопротивлением цепи и напряжением батареи. Электродвижущая сила самоиндукции будет уменьшать действующее в цепи напряжение. Время, необходимое для установления нормального тока, будет тем больше,

чем больше самоиндукция цепи. При выключении, наоборот, э. д. с. самоиндукции, складываясь с напряжением источника тока, так сильно повышает напряжение в месте разрыва цепи, например в рубильнике, что образуется искровой разряд—дуга, по которой ток некоторое время продолжает проходить, пока величина э. д. с. самоиндукции не упадет и расстояние между контактами не станет достаточно большим. Однако, спадение тока в цепи при выключении происходит значительно быстрее, чем нарастание его при включении. Изменение тока при включении и выключении показано на рис. 75.

Величина э. д. с. самоиндукции зависит от коэфициента самоиндукции катушки и быстроты изменения тока в ней. Коэфициент самоиндукции цепи (катушки, провода и т. д.) равен единице (1 генри), если в цепи при изменении тока в 1 ампер в секунду индуктируется э. д. с. в 1 вольт.

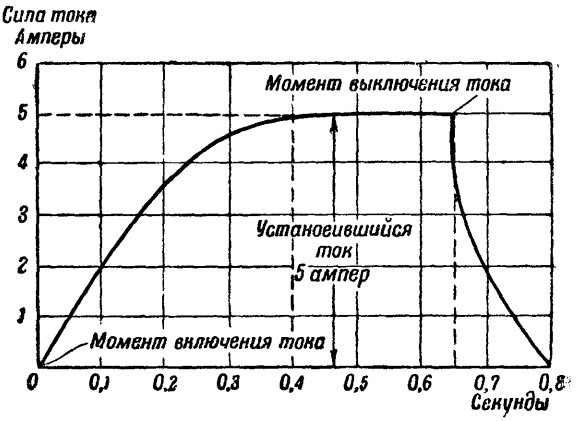


Рис. 75. При включении цепи с большой самоиндукцией ток достигает своей нормальной величины 5 ампер не сразу, а только через 0,4 секунды. При выключении спадение тока происходит значительно быстрее — через 0,15 секунды.

Явление самоиндукции сходно с явлением механической инерции. Инерция поезда не дает возможности ему мгновенно взять нужную скорость или моментально остановить его, когда он развил большую скорость. Механическая инерция зависит от массы тела. Легковой автомобиль выгодно отличается от грузового тем, что, обладая малой инерцией, он быстро набирает скорость и быстро останавливается с хода. Самоиндукция есть своего рода электрическая инерция.

Рассмотрим теперь, от чего же зависит эта электрическая инерция — самоиндукция.

Оказывается, что самоиндукция будет зависеть от числа силовых линий магнитного поля, меняющихся за 1 секунду. При этом чем больше силовых линий меняется за 1 секунду, тем больше будет э. д. с. самоиндукции. Желая получить большую самоиндукцию, мы должны иметь сильное магнитное поле. Достичь этого мы сможем, свернув прямолинейный провод в виде спирали. На рис. 76 показаны такая катушка и расположение силовых линий магнитного поля. Там видно, как силовые линии одного витка, складываясь с силовыми линиями других витков, увеличивают общий магнитный поток. Отсюда ясно, что самоиндукция прямолинейного провода будет значительно меньше, чем самоиндукция катушки, свернутой из того же самого провода. Для того, чтобы сравнивать различные

катушки и судить о величине самоиндукции их, нужно знать о единицах измерения самоиндукции. Для количественной оценки самоиндукции принят следующий коэфициент самоиндукции. Если при равномерном изменении тока на 1 ампер в 1 секунду будет наводиться в катушке э. д. с. самоиндукции в 1 вольт, то такая катушка будет обладать коэфициентом самоиндукции в 1 генри. Следовательно, если скажут, что катушка обладает коэфициентом самоиндукции в 3 генри, то это значит, что в ней при изменении силы тока на 1 ампер в 1 секунду появляется э. д. с. самоиндукции, равная 3 вольтам.

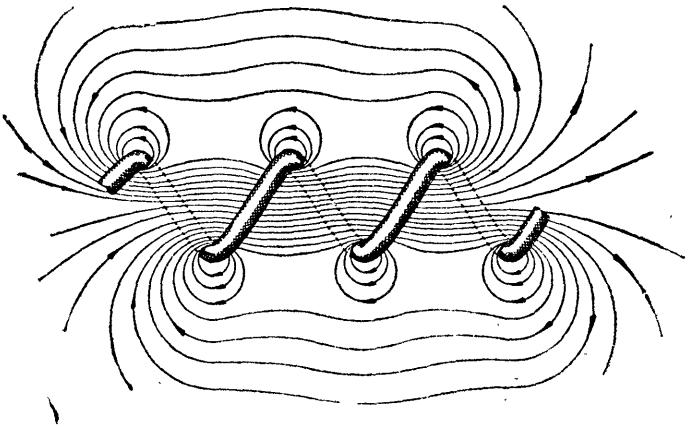


Рис. 76. Расположение магнитных силовых линий вокруг катушки

Единица измерения коэфициента самоиндукции, генри,—величина очень большая и на практике применяется очень редко. Самоиндукцией в несколько генри обладают обмотки, имеющие несколько тысяч витков с железным сердечником. Катушки самоиндукции, с которыми нам приходится встречаться в радиотехнике, имеют самоиндукцию в десятки и сотни раз меньшую, чем генри. Поэтому на практике обычно пользуются другими, более мелкими единицами, как миллигенри — в тысячу раз меньшим, микрогенри — в миллион раз меньшим, чем генри. Очень распространенной единицей измерения коэфициента самоиндукции является 1 *см*. В 1 генри содержится 1 000 000 000 *см*. Один микрогенри содержит 1 000 *см*.

36. ПРЕОБРАЗОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

Одним из самых важных приложений явления электромагнитной индукции в технике является преобразование механической энергии в электрическую. При движении проводника в магнитном поле затрачивается механическая энергия и получается электрический ток—электрическая энергия. Удобнее всего осуществить движение проводника в магнитном поле по кругу.

Построим машину, как указано на рис. 77. Между полюсами постоянного магнита вращаются вокруг оси два проводника (*1* и *2*), задние концы которых соединены вместе накоротко, а передние подводятся каждый к своему кольцу, укрепленному

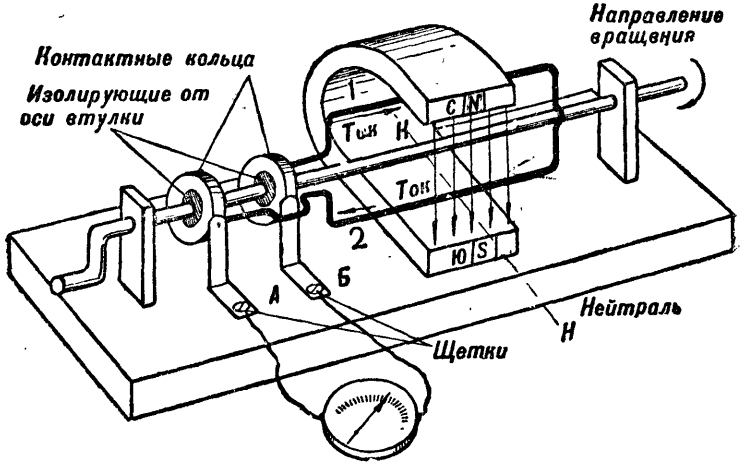


Рис. 77. Модель простейшей динамомашины

на оси при помощи изолирующей втулки. К кольцам постоянно прижимаются две металлические щетки *А* и *Б*, соединенные с указателем тока. Если мы начнем вращать ось нашей машины, то проводники будут двигаться в магнитном поле по окружности. Индуктирующийся при этом в проводниках ток будет с колец переходить на щетки и замыкаться через гальванометр. Если, как указано на рисунке, вращение будет происходить по часовой стрелке, то, как легко определить по правилу правой руки, ток в первом проводнике будет итти от нас, а во втором проводнике—на нас, т. е. токи будут складываться, и гальванометр укажет напряжение в два раза большее, чем для одного проводника.

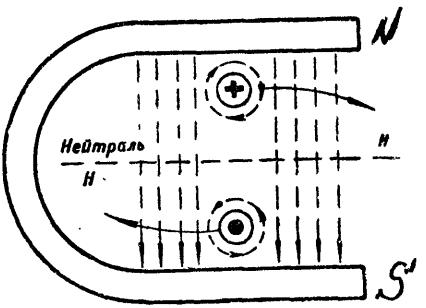


Рис. 78. Поперечный разрез простейшей динамомашины. Воздействие поля магнитов с магнитным полем тока, текущего по проводникам

Чтобы удобнее разобраться в движении токов, будем обозначать ток, движущийся от нас крестом, а движущийся на нас—точкой.

Рассматривая теперь поперечный разрез нашей машины (рис. 78), мы заметим, что первый проводник, двигаясь около северного полюса, будет иметь направление тока от нас, второй, наоборот,—на нас, причем наибольшей величины сила тока будет

достигать во время нахождения проводника под самым полюсом, так как в этом положении движение проводника будет перпендикулярно к магнитному полю, и на каждый пройденный сантиметр длины своего пути он пересечет наибольшее число магнитных силовых линий; чем дальше проводник будет уходить от полюса и чем ближе подходить к нулевой линии *Н—Н* нейтрали, тем меньшее число силовых линий он пересечет на каждый сантиметр пройденного пути, и, наконец, у самой нулевой линии проводник будет двигаться вдоль магнитного поля, не пересекая силовых линий. Таким образом индуктированная в проводнике э. д. с., а, стало быть, и ток, будут меняться по величине во время движения проводника, а именно: под полюсом в верхнем положении э. д. с. будет наибольшей, затем

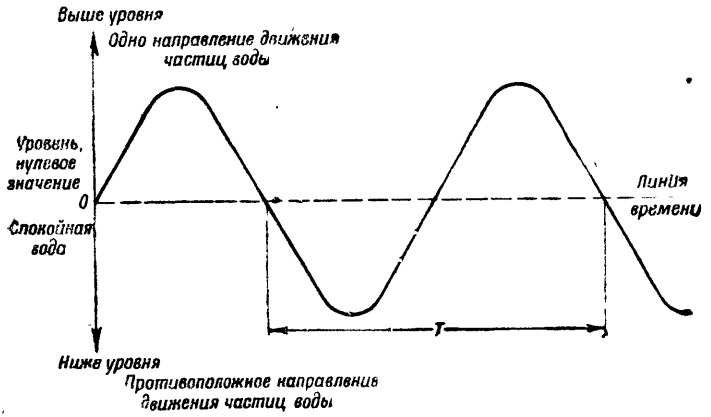


Рис. 79. Поперечный разрез водяной волны. По такому же закону изменяются сила тока и напряжение в машине переменного тока

начнет падать и у нулевой линии станет равной нулю. Далее первый проводник начнет приближаться к южному полюсу, ток в нем переменит свое направление и начнет возрастать, достигнув наибольшего значения у самого полюса, после чего начнется убывание тока и, наконец, произойдет перемена направления тока.

Все сказанное о первом проводнике полностью относится и ко второму проводнику, только направление тока во втором проводнике будет каждый раз обратно направлению тока первого проводника, и, следовательно, токи в первом и втором проводниках всегда будут складываться. Таким образом, вращая ручку машины с равномерной скоростью, мы в проводниках, а следовательно, и в гальванометре, будем получать ток, все время меняющийся по величине и за один оборот меняющий один раз свое направление. Такое изменение тока несколько напоминает волну, которую можно наблюдать на поверхности больших водных пространств. В данной точке вода то поднимается выше уровня, то спадает, опускаясь ниже уровня спокойной воды.

Поперечный разрез водяной волны, изображенный на рис. 79, в точности воспроизводит закон изменения тока в нашей машине. Спокойный уровень воды соответствует отсутствию тока, верхний гребень—одному направлению тока в проводнике, нижний—противоположному. Существует величина „синус", которая меняется именно по описанному закону волны, т. е., начиная увеличиваться от нуля, эта величина постепенно достигает своего наибольшего значения, затем начинает уменьшаться до нуля, после чего снова начинает увеличиваться, но в направлении, уже противоположном первому, и, достигнув в этом направлении такого же значения, как и в первом, начинает постепенно уменьшаться до нуля. Далее через промежуток времени T все повторяется снова и т. д. Кривая (график ее изменения) называется синусоидой, а токи, меняющиеся по такому закону, называются синусоидальными.

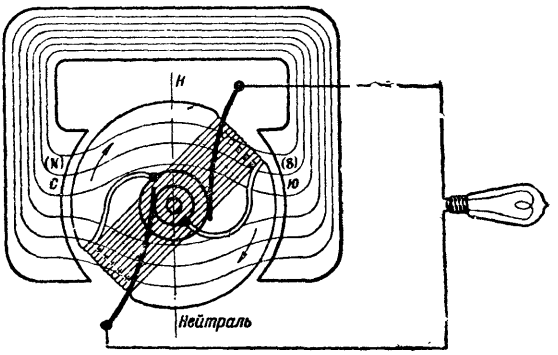


Рис. 80. Схематическое изображение небольшого генератора переменного тока с постоянными магнитами; применяется как телефонный индуктор для питания небольших ламп и пр.

Итак, наша машина дает переменный по величине и направлению синусоидальный ток. Чтобы получить большую величину э. д. с., нужно взять не два проводника, а несколько, соединив их последовательно и выводя два последних конца к кольцам. Кроме того, чтобы уменьшить сопротивление магнитному потоку, можно сделать железный барабан и разместить на нем проводники; тогда плотность магнитных силовых линий значительно возрастет, так как путь их в воздухе станет короче. Таким образом строятся различные индукционные машины переменного тока небольшой мощности (телефонные индукторы), легкие машинки для малых лампочек накаливания на 4—5 вольт и пр. (рис. 80). Мощные генераторы-машины переменного тока устроены сложнее.

37. ГЕНЕРАТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА (динамомашины)

Однако, для многих целей необходимо иметь именно постоянный ток, т. е. такой, который постоянно течет в одном и том же направлении.

Чтобы получить такой ток от нашей машины, достаточно переключать провода, идущие от щеток к гальванометру, каждый раз, когда ток во вращающемся проводнике будет менять свое направление; тогда, несмотря на то что к кольцам будет

подходить переменный ток, в гальванометре ток будет течь все время в одном направлении. Ток при этом будет нарастать, затем падать, опять нарастать и т. д. Однако, изменяясь по силе, он будет в гальванометре течь все время, пока мы переключаем провода у щеток, в одном и том же направлении. Переключение проводов к гальванометру легко сделать автоматическим. Для этого заменим два токоподводящих кольца нашей машины одним, разрезанным на две части, изолированные друг от друга (рис. 81 и 82), к которым присоединены концы проводников, вращающихся в магнитном поле. Такое приспособление называется коллектором.

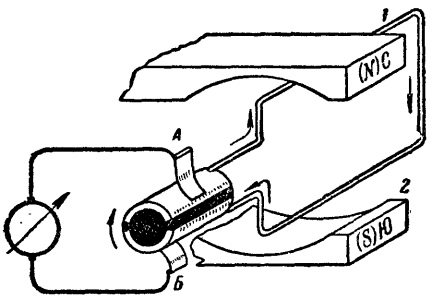


Рис. 81. Выпрямление тока коллектором в динамомашине с одним витком

Коллектор существенно отличает динамомашины постоянного тока от динамомашин переменного тока, которые имеют только контактные кольца.

Выпрямление тока будет происходить следующим образом. При положении проводника, указанном на рис. 83, согласно

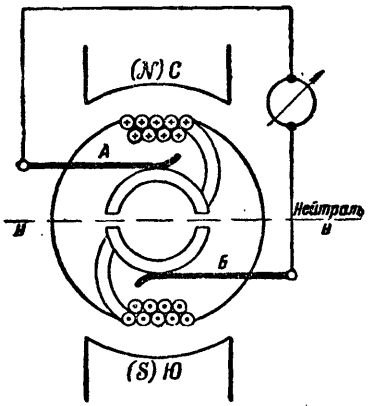


Рис. 82. Выпрямление тока коллектором в малой модели динамомашины с несколькими витками, уложенными в пазах Т-образного якоря

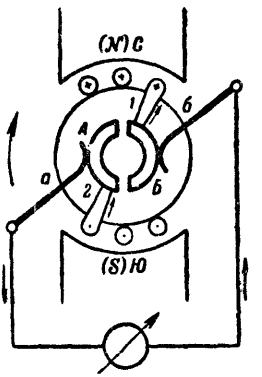


Рис. 83. Процесс выпрямления тока коллектором

правилу правой руки при движении проводника по стрелке в 1-м проводнике индуктируется ток, направленный от нас (отмеченный знаком +), а в проводнике 2-м — на нас (отмечено точкой). Ток 2-го проводника переходит на щетку *а*, поступает во внешнюю цепь в направлении, указанном стрелкой, и возвращается в машину через щетку *б* в 1-й проводник. При повороте проводников, а вместе с ними и полуколец *Б* и *А*,

далее по окружности вправо (рис. 84) щетки замкнут полукольца *А* и *Б* накоротко; однако в этом положении, как известно, ток в проводниках индуктироваться не будет. Поворот проводника далее вправо (рис. 85), согласно правилу правой руки, вызовет обратное направление тока в проводниках 1 и 2-м (1-й проводник от северного полюса перешел к южному, а 2-й — от южного к северному). Однако, несмотря на изменение направления течения тока в проводниках, направление тока во внешней цепи остается тем же. Действительно, теперь на щетку *а* переходит ток 1-го проводника и через внешнюю цепь возвращается через щетку *б* во 2-й проводник, т. е. в том же направлении, как и в первом случае. Поворачивая проводники далее, в положение рис. 86, мы опять будем иметь, как и во втором случае,

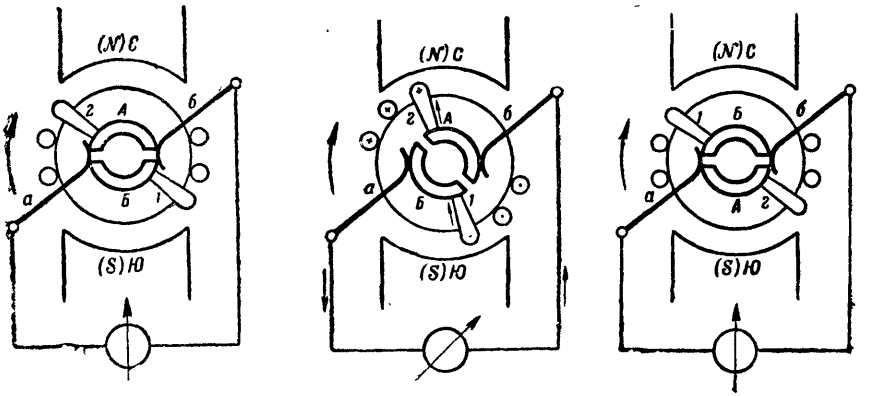


Рис. 84, 85 и 86. Процесс выпрямления тока коллектором

короткое замыкание между кольцами при отсутствии индукции в проводниках. При дальнейшем повороте мы вернемся к первому положению, причем опять окажется, что 2-й проводник соединен со щеткой *а*, а 1-й — со щеткой *б*. Таким образом ток внешней цепи окажется выпрямленным. Сила его, однако, будет меняться: за 1 оборот она 2 раза будет достигать наибольшей величины и 2 раза равняться нулю. Такой ток, постоянный только по направлению, но не по величине, носит название *пульсирующего тока*[1].

Для получения большей силы тока проводники укладывают в специальных вырезах (пазах) железного барабана. Барабан набирается из отдельных пластин толщиной около 0,5 *мм*, изолированных друг от друга бумагой. Это делается для того, чтобы в барабане, вращающемся в магнитном поле, не могли индуктироваться большие токи, называемые токами Фуко, которые бесполезно нагревали бы барабаны и на создание которых напрасно расходовалась бы мощность двигателя машины.

[1] Описание и рисунки заимствованы из курса электротехники проф. В. А. Александрова.

Такой барабан носит название якоря. Для получения более равномерного магнитного поля и лучшего его использования на магниты надеваются специальные наконечники из железа, башмаки, обнимающие якорь так, что между якорем и магнитами получается небольшой воздушный зазор. В местах перехода проводника между полюсами э. д. с. почти отсутствует. Это обстоятельство важно потому, что в этом положении щетки замыкают накоротко пластинки коллектора. Чтобы получить теперь постоянный ток не только по направлению, но и по величине, поместим на якоре еще два проводника так, чтобы в тот момент, когда первая пара проходит через нулевую линию, вторая находилась бы под полюсами и поддерживала ток во внешней цепи. Очевидно, что в этом случае коллектор придется разрезать на четыре части и соединить с проводниками, как указано на рис. 87.

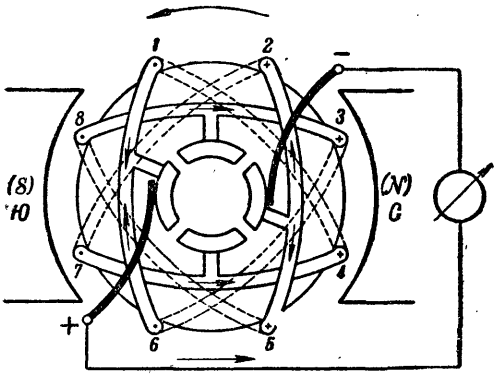


Рис. 87. Схема обмотки барабанного якоря для четырехпластинчатого коллектора

Чем на большее число частей мы разрежем коллектор и чем равномернее на поверхности якоря расположены проводники, соединенные с ними, тем слабее будут пульсации тока во внешней цепи и тем ближе по постоянству своей величины ток будет подходить к постоянному току, даваемому аккумуляторами или элементами.

До сих пор мы пользовались для получения магнитного поля постоянными магнитами. Однако такие магниты не могут создать достаточно сильного поля и употребляются только для очень маленьких машин. Для получения мощного магнитного поля пользуются электромагнитами. Обмотки электромагнита обычно питаются током, вырабатываемым самой машиной.

38. УСТРОЙСТВО ДИНАМОМАШИНЫ

Выше были указаны принципы работы динамомашины. Отметим теперь ее основные части на примере динамомашины РМ-5.

Станина машины (рис. 88). Станиной машины называется ее общий остов, к которому крепятся магниты. Станина машины изготовляется из мягкой литой стали с большой магнитной проницаемостью и значительным остаточным магнетизмом.

Полюсы или магниты машины (рис. 88) иногда отливаются вместе со станиной машины, чаще же привертываются винтами.

В последнем случае во избежание потерь на токи Фуко[1] концы полюсов, называемые полюсными башмаками, или все

[1] Токами Фуко называют вредные вихревые токи, индуктируемые магнитным полем в толстых проводниках.

полюсы сплошь делаются из листового железа, расслоенного бумажной изоляцией. Полюсные башмаки имеют вогнутую по окружности якоря форму.

Катушки магнитов (рис. 88). Обмотки магнитов, необходимые, как указано выше, для создания сильного магнитного

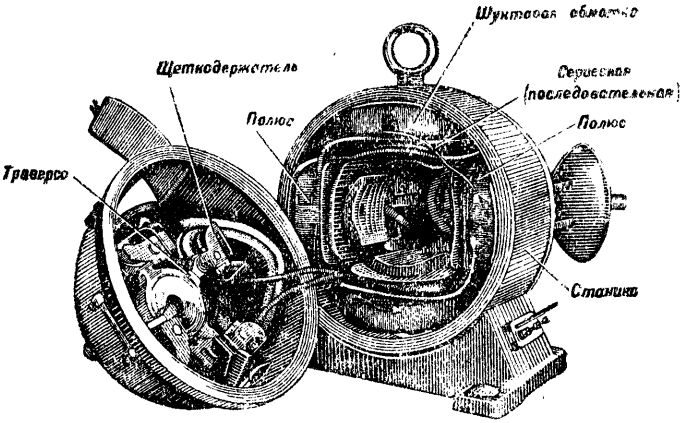


Рис. 88. Динамомашина РМ-5 в разобранном виде с вынутым якорем

поля, изготовляются из изолированной медной проволоки в форме катушек, надеваемых в готовом виде на магниты. Катушки должны быть хорошо изолированы от железа магнитов во избежание пробоя изоляции э. д. с. самоиндукции в момент их выключения.

Сердечник якоря (рис. 89) динамомашины представляет собой железный остов цилиндрической формы (барабанный якорь), на котором в специальных впадинах (пазах) уложены проводники.

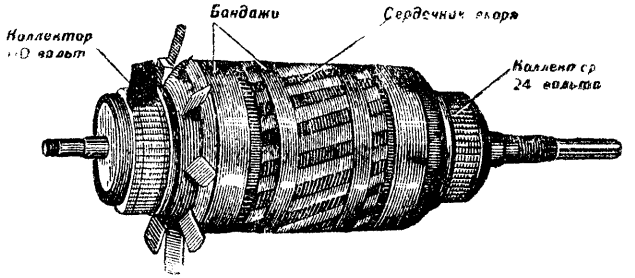


Рис. 89. Якорь динамомашины типа РМ-5

Для уменьшения индукционных токов Фуко сердечник якоря делается, как указано выше, из отдельных железных листов толщиной 0,35 — 0,5 *мм*, изолированных друг от друга лаком или бумагой. Железо должно быть по возможности мягкое, чтобы потери на перемагничивание были меньше.

Обмотка якоря состоит из изолированного провода, уложенного в пазах сердечника якоря. Обмотка должна быть хорошо изолирована от железа якоря и прочно укреплена в пазах стальными бандажами (рис. 89).

Обмотка осуществляется так, чтобы э. д. с., индуктируемые в отдельных частях обмотки, не противодействовали друг другу. Для этого следует, чтобы проводник, уложенный перед северным полюсом, имел непосредственное продолжение свое перед южным полюсом, — и наоборот.

Вместо одного проводника в пазу можно взять несколько проводников, соединенных последовательно. Такая группа проводников называется секцией. Каждая секция присоединяется к своей пластине коллектора.

Коллектор (рис. 89) динамомашины, как указано выше, служит для выпрямления тока и набирается из большого количества отдельных пластин, изолированных друг от друга. Пластины изготовляются из холоднотянутой меди большой твердости.

Изоляцией между пластинами служит слюда или миканит. Твердость изоляции и пластин коллектора должна быть, примерно, одинакова, иначе коллектор будет срабатываться неравномерно, и кусочки слюды будут выступать.

Щетки служат для отведения тока с коллектора во внешнюю цепь. Применяются щетки металлические (из листочков латуни), главным образом для низковольтовых машин с большой силой тока, и угольные.

Угольные щетки изготовляются из особого прессованного угля. Верхний конец их для лучшего контакта со щеткодержателями покрывается медью, и в него вделывается гибкий проводник, нижний конец щетки точно притирается к поверхности коллектора. Притирка щеток производится следующим образом. Под щетку на коллектор кладется полоска стеклянной шкурки рабочей поверхностью к щетке. Нажав слегка на щетку, поворачивают коллектор вместе со шкуркой взад и вперед до тех пор, пока поверхность щетки не станет вогнутой соответственно поверхности коллектора. Первая приточка производится грубыми номерами шкурок, последующая пригонка — более мелкими. Окончательная пришлифовка щетки производится притиркой ее к чистой поверхности коллектора на холостом ходу машины. Щетки укрепляются в особых щеткодержателях, имеющих специальную пружину, обеспечивающую постоянный и надежный нажим щетки на коллектор. Щеткодержатели крепятся или непосредственно к станине динамомашины при помощи изолированных втулок, или к специальной траверсе, могущей поворачиваться вокруг оси коллектора и допускающей поэтому возможность установки щеток в различных положениях (важно для устранения искрения коллектора).

Подшипники динамомашины. Выше мы выяснили, что индуктированная в проводнике э. д. с. тем больше, чем больше скорость движения проводника в магнитном поле. Эта скорость

зависит от числа оборотов якоря динамомашины. Поэтому якори динамомашины обычно должны вращаться с наибольшей допустимой из механических соображений скоростью. Поэтому на конструкцию и уход за подшипниками динамомашины следует обращать большое внимание.

Подшипники бывают кольцевые, снабженные бронзовыми или залитыми баббитом вкладышами, или шариковые. Шариковые подшипники состоят из двух стальных обойм, между которыми во время хода машины катятся стальные шарики. Эти подшипники имеют значительно более легкий ход и требуют меньше смазки.

39. ТИПЫ ГЕНЕРАТОРОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Динамомашины в основном различаются по способам получения магнитного поля.

Получение магнитного поля от постоянных магнитов применяется в машинах весьма небольшой мощности, а именно — в индукторах телефонных аппаратов и пр. Для получения более мощного магнитного поля, как указывалось, магниты снабжаются обмоткой, питаемой или посторонним источником, например аккумуляторами (машины с посторонним возбуждением), или током, вырабатываемым самой машиной — динамо с самовозбуждением. В последнем случае следует различать два способа включения обмоток электромагнитов: параллельное, или шунтовое, и последовательное, или сериесное.

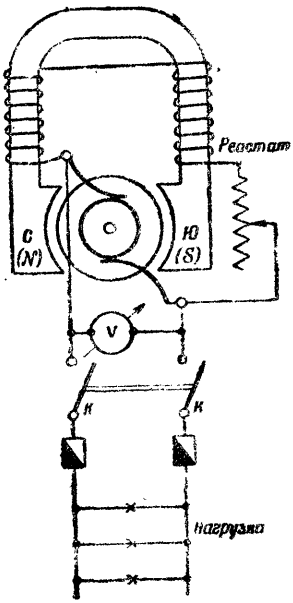


Рис. 90. Шунтовая динамомашина. Реостат, включенный в цепь обмотки электромагнитов, служит для регулировки напряжения; с увеличением нагрузки напряжение на зажимах падает незначительно

Шунтмашины (рис. 90). Остаточный магнетизм магнитов станины создает поле, достаточное для получения некоторого напряжения на щетках динамомашины. К щеткам через шунтовый регулировочный реостат приключены обмотки магнитов, и в этой обмотке начинает протекать ток. Если направление тока таково, что подмагничивает магниты машины (в противном случае следует переключать концы обмотки), то поле усиливается, и напряжение на щетках возрастает; вместе с ним возрастает и ток в магнитах и т. д. Это повышение напряжения достигает некоторого определенного значения, зависящего от данных машины и величины включенного сопротивления реостата, и остается почти неизменным во время работы машины. Меняя величину сопротивления реостатом, можно менять, регулировать напряжение машин. После достижения нормального напряжения

динамомашина может быть включена рубильником K на нагрузку. При изменении нагрузки напряжение такой машины будет меняться незначительно, а именно—падать с увеличением и возрастать с уменьшением нагрузки. Эти колебания напряжения легко исправляются регулировкой реостатом.

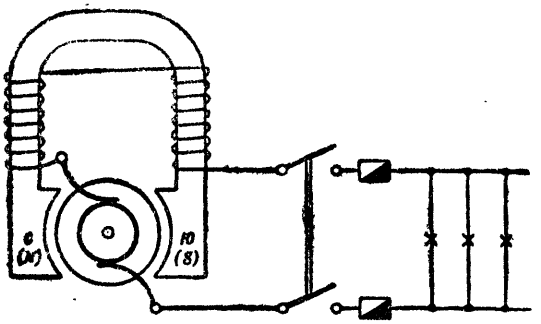


Рис. 91. Динамомашина сериес. Возбуждение электромагнитов последовательное; с увеличением нагрузки напряжение на зажимах машины возрастает

Сериесмашины, или машины с последовательным возбуждением (рис. 91). При последовательном включении возбуждения динамомашины весь вырабатываемый ток проходит по обмоткам электромагнитов. Поэтому напряжение на зажимах машины будет в сильной степени зависеть от нагрузки внешней цепи. С увеличением нагрузки и, следовательно, с увеличением тока в обмотке электромагнитов возрастает магнитное поле, и в силу этого напряжение на зажимах динамо будет повышаться. Наоборот, уменьшение нагрузки, вызывая спадение тока в электромагнитах, приведет к падению напряжения на зажимах, и при выключении внешней цепи напряжение на зажимах генератора станет весьма незначительным, обусловленным лишь остаточным магнетизмом в его полюсах. Работа такой машины на обычную, например осветительную, нагрузку будет, конечно, весьма неудовлетворительна. Так, например, при малом числе включенных ламп они будут гореть в полнакала, при большом — напряжение может возрасти до пределов, опасных для целости волосков ламп.

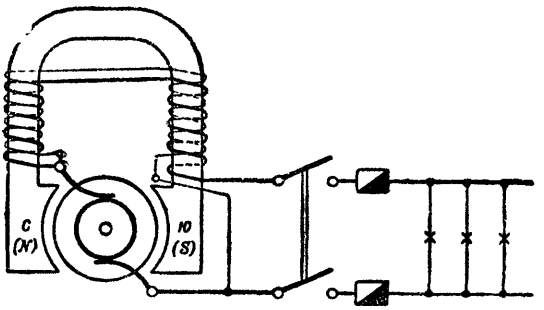


Рис. 92. Компаундированная динамомашина. Благодаря одновременному применению последовательной и параллельной обмоток электромагнитов напряжение такой машины почти не зависит от нагрузки

Очевидно, что при коротком замыкании во внешней цепи сериесмашины ток достигает весьма большой величины, и машина разрушается.

Мы видим, что свойства шунтмашины и сериесмашины взаимно противоположны. В то время как у шунтмашины увеличение

нагрузки влечет некоторое, правда, незначительное, уменьшение напряжения на зажимах, сериесмашина, наоборот, с увеличением нагрузки повышает напряжение на зажимах. Поэтому, применив сериесное и шунтовое включение обмоток магнитов машины одновременно (рис. 92), можно добиться почти полного постоянства напряжения на зажимах машины, не зависящего от нагрузки. Такие динамо называются компаундгенераторами.

Динамомашины специального типа (2-коллекторные). Часто бывает необходимо иметь два напряжения постоянного тока.

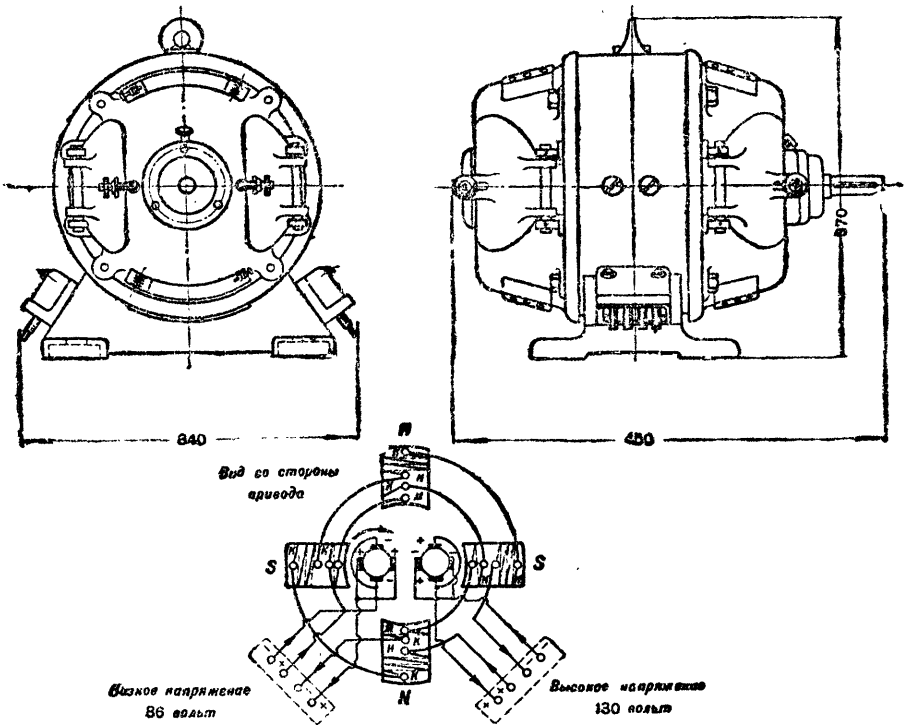


Рис. 93. Динамомашина типа РМ-5

Например, для зарядки аккумуляторов накала радиоустановок необходимо иметь около 30 вольт (в зависимости от напряжения батарей накала) и для зарядки аккумуляторов анода — 100 вольт. При этом в первом случае нужен сравнительно большой ток, а во втором — небольшой. Чтобы одновременно производить зарядку и тех и других аккумуляторов без большой потери энергии в реостатах, необходимо иметь два напряжения. Для этого применяются специальные динамомашины с двумя коллекторами и двумя обмотками на якоре, например динамомашина типа РМ-5 (данные и описание—см. ниже).

В пазах якоря уложены две друг от друга изолированные обмотки (высоковольтная обычно укладывается поверх

низковольтной); обе обмотки соединены с двумя коллекторами.

На рис. 93 приведены схема и чертеж такой машины типа РМ-5. На рис. 88 и 89 показана эта машина в разобранном виде с вынутым якорем. Машина имеет 4 полюса, и проводники якоря за каждый оборот два раза проходят под северным полюсом и два раза — под южным полюсом, поэтому ток с коллектора снимается двумя парами щеток, соединенными в параллель. Выводы зажимов сделаны с двух сторон машины: с правой стороны — высокое (130 вольт), с левой — низкое напряжение (36 вольт). Крайние зажимы присоединены к щеткам, средние — к обмоткам электромагнитов. Шунтовая обмотка магнитов машины питается со стороны 130 вольт. Кроме шунтовой обмотки имеется сериесная, которая может питаться током со стороны 36 вольт. Таким образом при низком напряжении машина может быть использована или как шунтовая, или при включении сериесной обмотки как компаунд.

В некоторых случаях, когда число оборотов двигателя машины резко меняется в широких пределах, сериесная обмотка включается так, чтобы поле, создаваемое ею, было противоположно полю шунтовой обмотки.

Особое внимание следует обращать на коллекторы якоря. Они должны быть совершенно чистыми, и щетки должны быть хорошо пришлифованы, чтобы не было искрения. Траверсы щеток должны быть установлены по нулевой линии. Последнее достигается подбором такого положения траверсы, при котором искрение на коллекторе у щеток отсутствует при наибольшем показании вольтметра и при нормальной нагрузке.

40. МОТОРЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Из § 32 нам известно, что индуктированные токи имеют такое направление, что противодействуют движению, которое их про-

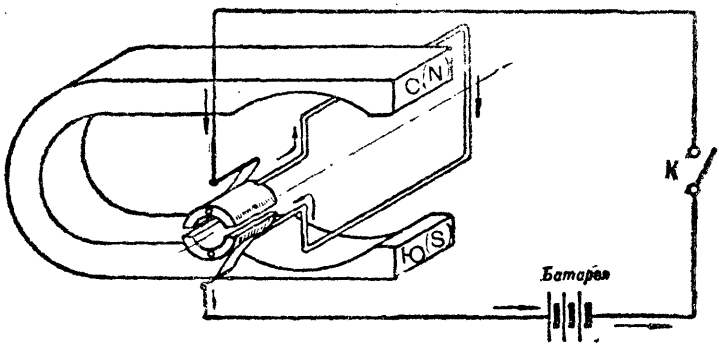


Рис. 94. Включение динамомашины в качестве электродвигателя

изводит. Происходит это потому, что проводник с током окружен магнитным полем, которое, взаимодействуя с полем, в котором проводник движется, препятствует этому движению. Если

мы перестанем прилагать к проводнику силу, то он назад не будет двигаться, так как в нем прекратится индукция тока, но если мы будем поддерживать в нем ток от постороннего источника, например от батареи, то магнитное поле проводника, взаимодействуя с полем магнитов, приведет его в движение в направлении, обратном тому, в котором мы двигали проводник. Таким образом динамомашина может стать электродвигателем: если вместо того, чтобы ее вращать и получать от нее ток, подвести к ней ток от постороннего источника, то якорь ее придет сам во вращение. Если, например, возьмем машину, подобную той, которой пользовались раньше, и включим ее, как указано на рис. 94, то она придет во вращение. На рис. 95 показано взаимодействие магнитных силовых линий (силовые магнитные линии одинакового направления отталкиваются, а разного — притягиваются). Если взять не один виток (пара проводов), а несколько, то сила вращения, конечно, возрастает.

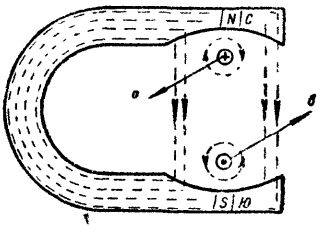


Рис. 95. Взаимодействие силовых линий магнитного поля с магнитными силовыми линиями проводников электромотора. Силовые линии одного направления отталкиваются, разного — притягиваются. На проводники действует сила по направлению стрелок *а* и *б*

Итак, устройство электродвигателей такое же, как и динамомашин. Назначение коллектора в данном случае сводится не к выпрямлению тока, как было у динамомашин, а к распределению его в обмотках якоря таким образом, чтобы получаемые в проводниках усилия были все время одного направления, несмотря на переход проводников от одного полюса к другому. Для этого необходимо, чтобы постоянный ток, подводимый к щеткам, в проводниках менял свое направление при переходе проводника из-под северного полюса к южному, — и наоборот. Направление вращения электродвигателя не изменится, если подводимый к зажимам электродвигателя ток переменит свое направление, потому что в этом случае, хотя ток в якоре и переменит свое направление, но также изменится и полярность магнитов, а следовательно, направление вращающего усилия не изменится, что можно проследить на рис. 95, изменив направление магнитных полей обмотки якоря и полюсов на обратное.

Отсюда вытекает, что для перемены направления вращения электродвигателя необходимо изменить направление тока или только в якоре, или только в магнитах путем соответствующего переключения обмоток.

Так как проводники якоря электродвигателя движутся в магнитном поле, то в них должна индуктироваться э. д. с., направленная согласно закону Ленца против э. д. с. источника (батареи), который питает электродвигатель. Эта э. д. с. поэтому и называется обратной или противоэлектродвижущей силой.

Как и в динамомашинах, обмотки электромагнитов мотора могут быть включены или параллельно якорю (шунтовой элек-

тродвигатель), или последовательно (сериесный электродвигатель).

Шунтовой мотор (рис. 96). Обмотки электромагнитов шунтового электродвигателя включаются параллельно его якорю через регулировочное сопротивление в шунтовом реостате. Так как перед пуском якорь двигателя неподвижен и, следовательно, в обмотках его нет противоэлектродвижущей силы, а сопротивление обмоток якоря, вообще говоря, очень мало, то в первый момент ток через якорь может достигнуть опасной величины, и, чтобы его ограничить, приходится включать пусковой реостат. С увеличением числа оборотов двигателя будет возрастать и противоэлектродвижущая сила, направленная против напряжения батареи, что приводит к уменьшению тока в цепи и позволяет постепенно выключить пусковой реостат по достижении двигателем нормального числа оборотов.

Так как противоэлектродвижущая сила индуктируется совершенно так же, как и э. д. с. динамомашин, и равна:

$$\frac{\text{магнитной индукции} \times \text{длину проводника} \times \text{скорость движении проводника}}{100\,000\,000},$$

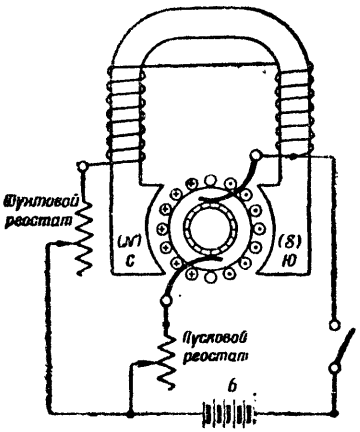


Рис. 96. Схема включения шунтового электродвигателя. Обмотки электромагнитов включены параллельно якорю через шунтовой реостат, регулирующий число оборотов двигателя. С увеличением сопротивления шунтового реостата число оборотов двигателя возрастает. При уменьшении сопротивления реостата число оборотов падает

то, меняя ток в обмотках электромагнитов при помощи сопротивления шунтового реостата, мы можем тем самым менять величину противоэлектродвижущей силы при неизменном числе оборотов.

Увеличивая сопротивление шунтового реостата, т. е. уменьшая магнитную индукцию, мы уменьшаем противоэлектродвижущую силу и, следовательно, увеличиваем ток в якоре, что приводит к увеличению числа оборотов двигателя. Обратно, уменьшение сопротивления шунтового реостата приводит к увеличению магнитного поля электродвигателя и к уменьшению числа оборотов. Таким образом реостат, включенный в обмотку электромагнитов мотора, позволяет удобно и экономично (небольшой ток в обмотке возбуждения) регулировать число его оборотов.

Шунтовые электродвигатели отличаются большим постоянством числа оборотов, мало меняющимся с нагрузкой, так как с увеличением нагрузки уменьшение числа оборотов, ослабляя противоэлектродвижущую силу, приводит к сильному возрастанию тока и увеличению вращающей силы, которая почти восстанавливает прежнее число оборотов.

Следует заметить, что выключать двигатели необходимо так, чтобы в момент выключения шунтовая обмотка оставалась включенной параллельно якорю, так как в этом случае э. д. с. самоиндукции обмотки электромагнитов не сможет достигнуть опасной для их изоляции величины. Таким образом шунтовой электродвигатель обладает следующими основными особенностями:

1. Число оборотов шунтового двигателя весьма постоянно и мало зависит от нагрузки.

2. Регулировка числа оборотов шунтового двигателя допустима в широких пределах, проста и экономична.

3. В момент пуска вращающее усилие электродвигателя невелико. Если обмотки электромагнитов включены непосредственно к щеткам якоря, т. е. после пускового реостата, то начальное вращающее усилие будет так мало, что двигатель может не пойти.

Сериесмотор (рис. 97). Обмотка электромагнитов сериесмоторов включается так же, как и сериесдинамо, последовательно с якорем. Таким образом весь ток якоря проходит по обмотке электромагнитов. В момент включения, когда противоэлектродвижущая сила в якоре отсутствует и ток достигает большой величины, сильное магнитное поле мотора, взаимодействуя с током якоря, развивает большую вращающую якорь силу. С увеличением числа оборотов, благодаря противоэлектродвижущей силе, уменьшается ток в якоре и электромагнитах и уменьшается вращающее мотор усилие. Сериесмотор, включенный без нагрузки, развивает очень большое число оборотов, что может привести к разрушению якоря мотора (разносу).

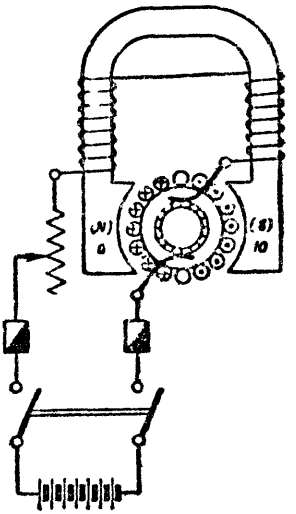


Рис. 97. Схема включения обмоток электромагнитов сериесного двигателя последовательно с якорем

Итак, сериесмотор отличается следующими свойствами:

а) большим вращающим усилием в момент пуска;

б) большой зависимостью числа оборотов от нагрузки;

в) невозможностью включать его на холостой ход.

Несмотря на последние отрицательные свойства, благодаря большому начальному моменту вращения сериесмотор нашел себе применение во всякого рода электровозах: трамвай, электропоезда и пр. Объединяя в одном моторе две обмотки (шунтовую и сериесную), мы получаем компаундмотор.

Если направления магнитных полей шунтовой и сериесной обмоток одинаковы, то такой мотор будет в момент пуска развивать большой вращающий момент, а на холостом ходу при наличии большого магнитного поля шунтовой обмотки разносить не будет. Число его оборотов будет меняться от нагрузки значительно меньше, чем у сериесмотора.

Компаундмоторы с противоположными магнитными полями сериесной и шунтовой обмоток могут быть построены с чрезвычайно постоянным числом оборотов в широких пределах, не зависящим от нагрузки, так как увеличение тока при возрастании нагрузки будет размагничивать магнитное поле.

Умформеры. Иногда электромоторы применяются в соединении с динамомашиной. Такой агрегат[1] служит для преобразования одного напряжения постоянного тока в другое. Например, мотор в 120 вольт вращает динамо в 12 вольт. Обычно мотор с динамо соединяются в этом случае муфтой. Однако нет необходимости иметь отдельно мотор и динамо, можно их объединить вместе в одном кожухе с общими электромагнитами и якорем. Только обмотку якоря надо разделить на две части: одну, принадлежащую динамомашине, с одним коллектором, и другую, относящуюся к мотору, — с другим коллектором. Такие машины носят название у м ф о р м е р о в и служат для преобразования напряжения постоянного тока. Особенно широкое применение нашли умформеры в передвижных радиостанциях. На рис. 98 показан тип такого умформера РМ-2. Умформер этот служит для преобразования напряжения 12 вольт в напряжение 750 вольт и, потребляя ток 12,5 ампера, дает на стороне высокого напряжения ток в 100 миллиампер при 4 500 об/мин. Напряжение от батареи аккумуляторов подводится к этому умформеру при помощи особой колодки со штепсельными вилками, на которой одновременно имеются штепсели и для отведения высокого напряжения. На задней стороне умформера для этой цели укреплена колодка с гнездами, снабженная соответствующими надписями.

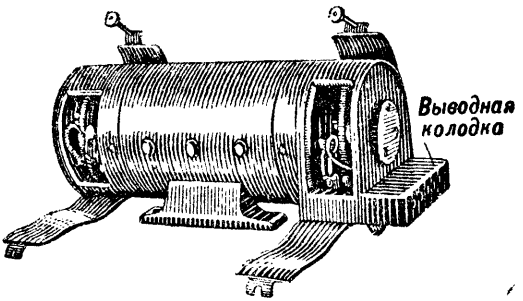


Рис. 98. Умформер типа РМ-2. Потребляет 12 вольт, 12,5 ампера, дает 750 вольт, 100 миллиампер при 4 500 оборотах в минуту. Основные размеры: длина 315 *мм*, ширина 110 *мм*, высота 113 *мм*

На умформерах, специально предназначенных для радиостанций, кроме коллектора низкого напряжения (коллектор мотора) и коллектора высокого напряжения (коллектор динамо), имеется еще коллектор (прерыватель, или тиккер), расположенный рядом с коллектором высокого напряжения.

Подшипники умформера РМ-2 шариковые. Так как умформер делает большое число оборотов, то уход за подшипниками (смазка и промывка для удаления грязи) должен быть, так же как и за щетками, весьма тщательный.

Удобный доступ к щеткам коллекторов обеспечен в теле станины умформера специальными окнами, закрываемыми желез-

[1] Агрегатом называется механическое соединение двух каких-либо систем тел.

ными дверцами, покрытыми изнутри кожей. Хорошая работа умформера возможна только при вполне удовлетворительном состоянии коллекторов и щеток; для этого необходимо возможно чаще осматривать коллекторы и снимать с них угольную пыль мягкой тряпкой и тонкой стеклянной шкуркой. Щетки должны быть хорошо пришлифованы к поверхности коллектора и прижиматься к нему достаточно сильной пружиной. Надо следить за тем, чтобы щетки легко ходили в щеткодержателях, не заедали, но и не колебались во время работы. На рис. 99 показан второй, более мощный умформер типа РМ-1: низкое напряжение 24 вольта, нормальный ток 22 ампера; высокое напряжение 1 500 вольт, нормальный ток 200 миллиампер. Число оборотов 4 500.

По устройству РМ-1 отличается от РМ-2 немногим: выводы напряжения у него сделаны наверху станины: клеммы с изолированными головками. Клеммы прикрыты сверху железными полосками, предохраняющими их от механических повреждений.

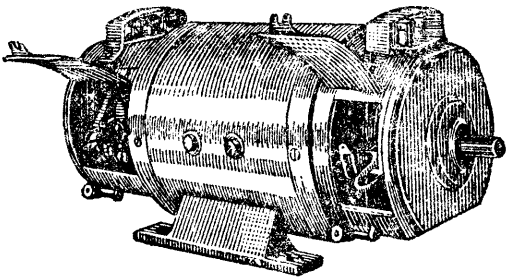


Рис. 99. Умформер типа РМ-1. Потребляет 24 вольта, 22 ампера, дает 1 500 вольт, 200 миллиампер при 4 500 оборотах в минуту. Основные размеры: длина 355 *мм*, ширина 175 *мм*, высота 181 *мм*

Со стороны низкого напряжения имеются 3 клеммы: 2 крайние — якоря и средняя — обмотки возбуждения электромагнитов, другой конец которой присоединен к щетке внутри умформера.

На стороне высокого напряжения имеются 4 клеммы: две + 1 500 вольт и — 1 500 вольт и две для тиккера, имеющего назначение давать тональное питание.

Доступ к щеткам устроен так же, как и в вышеописанном умформере РМ-2. При установке щеток высокого напряжения необходимо внимательно следить, чтобы проводники, идущие к щеткам, и регулировочные пружинки были достаточно удалены от корпуса умформера и от крышек, ибо часто случается, что пружинки щеткодержателя касаются внутренней поверхности крышек, на которой помещаются заклепки, крепящие кожу, и это приводит к короткому замыканию.

На рис. 100 показана примерная схема включения умформера. Для уменьшения пускового тока, достигающего 80 ампер, иногда включают пусковое сопротивление.

Обмотку возбуждения в этом случае следует включать до сопротивления, для того чтобы в момент включения иметь достаточное магнитное поле и более быстрый и экономичный пуск.

Замечания относительно ухода за умформером РМ-2 целиком относятся к умформеру типа РМ-1.

Необходимо только добавить, что, имея относительно большую мощность, умформер РМ-1 нуждается в хорошем охлажде-

нии и должен быть установлен в помещении, имеющем достаточную вентиляцию.

Умформеры РМ-1 и РМ-2 имеют выступающие отростки вала якоря, на которых могут быть укреплены муфты или шкивы для соединения умформера с двигателем. В этом случае умформер превращается в 2-коллекторную динамомашину, дающую 2 напряжения.

Ручные и ножные приводы. Среди различных двигателей, применяющихся для вращения динамомашин переносных радиостанций, особый интерес для машин малой мощности имеет использование человеческой силы. Ряд устройств более или менее разрешает эту задачу. Динамомашина, как это было выяснено выше, должна делать несколько тысяч оборотов в минуту. Чем больше оборотов делает динамомашина, тем большее количество электроэнергии она может дать при одном и том же весе и размерах. В силу этих соображений динамомашины легкого типа имеют число оборотов около 5000 в минуту. Человек руками или ногами может вращать соответствующие рукоятки или педали со скоростью только нескольких десятков оборотов в минуту. Таким образом скорость вращения нужно увеличить почти в 50—70 раз, что связано с необходимостью применять сложную систему нескольких зубчатых передач, бесполезно поглощающих значительное количество энергии.

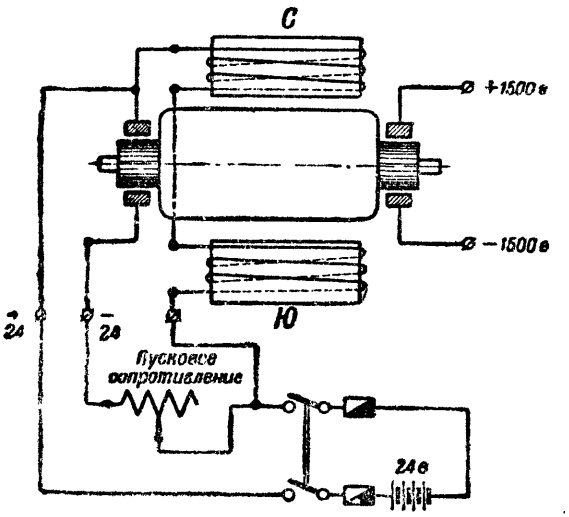


Рис. 100. Схема включения умформера; для увеличения начального момента вращения и, следовательно, скорости пуска конец шунтовой обмотки часто включают до пускового сопротивления

Для уменьшения потерь необходимы тщательное изготовление зубчатых колес и точная установка сцепления, а также обильная смазка невязкими маслами. Поэтому эти приводы нуждаются в хорошем уходе, заключающемся в частой промывке и очистке от грязи зубчатых сцеплений и в обильной смазке. Попытки заменить зубчатую передачу ременной в настоящее время оставлены вследствие недостаточно удовлетворительного результата их эксплоатации.

На рис. 101 видна легкая разборная скамейка с кожаным мягким сиденьем, перед которым установлен прочный дубовый ящик, служащий футляром для небольшой динамомашины и зубчатой передачи к ней. В случае нужды вся установка быстро

разбирается и специальными ремнями укрепляется на спине. На рис. 102 показана та же динамо с зубчатым приводом и со снятым деревянным чехлом. Динамомашина с постоянными магнитами при 5 200 об/мин развивает мощность 50 ватт и дает 500 вольт, 100 миллиампер. Передача к динамо состоит из 6 зубчатых колес, которые дают общее передаточное число, равное 49.

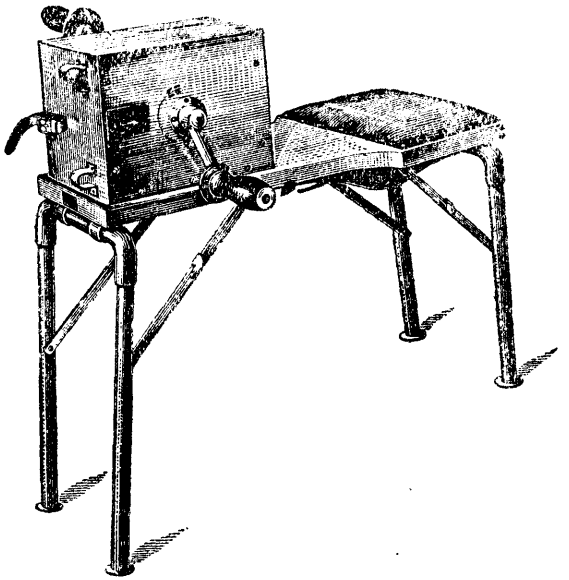


Рис. 101. Динамомашина с ручным приводом в готовом для работы виде

Более удачной следует признать конструкцию ножного привода, помещенную на рис. 103 и 104 и напоминающую велосипед.

Благодаря использованию силы ног, удобному и привычному для велосипедиста положению, динамо этой установки может развивать большую мощность (67 ватт). На рис. 105 показаны динамомашина и зубчатая передача к ней. Как видно из рисунка, постоянные магниты динамомашины усилены обмоткой. Якорь динамомашины снабжен солидным маховым колесом, обеспечивающим достаточно равномерное вращение. Динамомашина дает 2 напряжения: 330 вольт при токе 140 миллиампер и 7 вольт при токе 3 ампера и, следовательно,

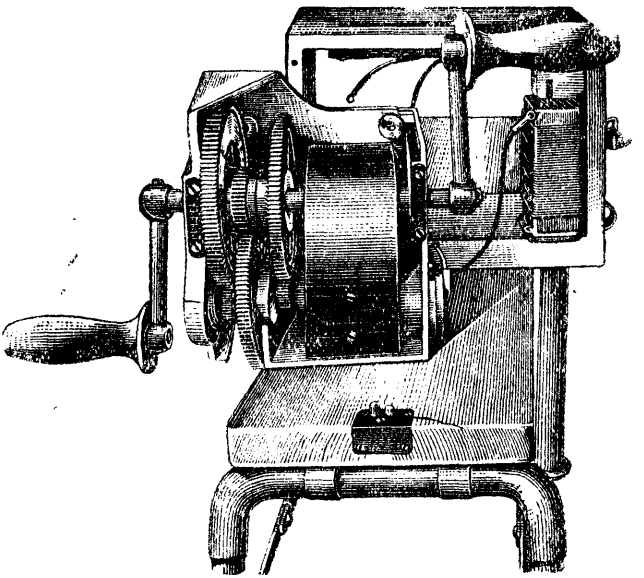


Рис. 102. Динамомашина с ручным приводом, вынутая из деревянного чехла; видна динамомашина с постоянными магнитами и зубчатая передача с передаточным числом 49

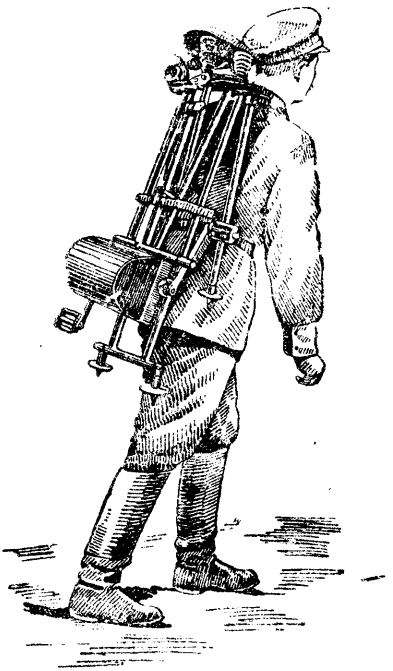


Рис. 103. Динамомашина с ножным приводом в свернутом виде в походе

Рис. 104. Динамомашина с ножным приводом в развернутом виде в работе

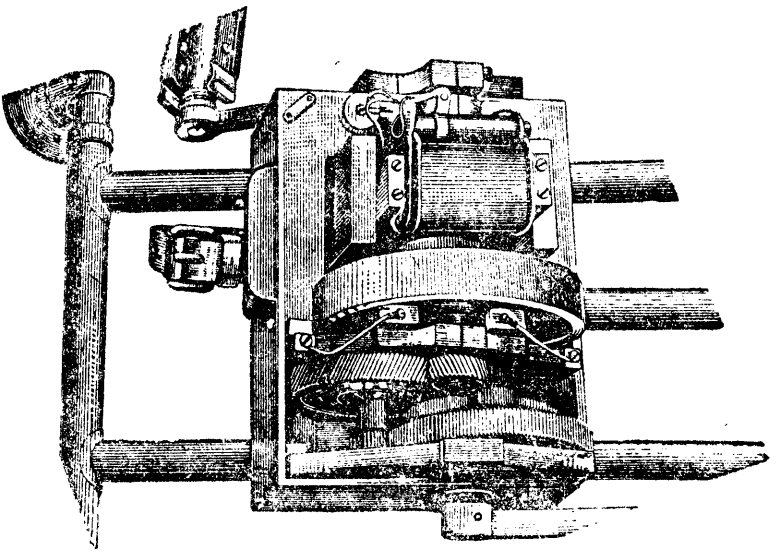


Рис. 105. Динамомашина с ножным приводом со снятым чехлом; видны обмотка электромагнитов машины, маховик и зубчатая передача

имеет два коллектора. Число оборотов якоря — 4 500, передача имеет 6 зубчатых колес с общим передаточным числом, равным 70.

К недостаткам машины следует отнести плохую герметичность крышки, слабо предохраняющей передачу от пыли.

Следует отметить, что конструкция ножных и ручных приводов разработана еще недостаточно, и в будущем следует ожидать более совершенных конструкций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем заключается сущность явления электромагнитной индукции?
2. За счет чего получается электрическая энергия в машинах, действие которых основано на явлении электромагнитной индукции?
3. От чего зависит величина индуктированной э. д. с.?
4. Какие примеры применения электромагнитной индукции вы можете привести?
5. Чем объясняется возникновение э. д. с. самоиндукции?
6. Что такое переменный ток и как он получается?
7. Какие основные части имеет динамомашина?
8. Как устроена и какие особенности в работе имеет динамомашина шунт?
9. Как устроена и какие особенности в работе имеет динамомашина сериес?
10. Какая динамомашина называется компаундгенератором и какими свойствами она обладает?
11. Как устроены динамомашины, дающие одновременно два напряжения? Какие типы таких машин вы знаете?
12. Каким образом происходит преобразование электрической энергии в механическую?
13. Какой электродвигатель называется шунтовым и какими особенностями в работе он обладает?
14. Как проводится регулировка числа оборотов шунтового электромотора? Что нужно сделать, чтобы увеличить число оборотов шунтового двигателя?
15. Можно ли включать предохранитель в цепь обмотки магнитов шунтового электродвигателя?
16. Какой двигатель называется сериесным и чем он отличается от шунтового в работе?
17. Какие типы умформеров вы знаете и как они устроены?
18. Какой основной недостаток имеют ручные и ножные приводы к динамомашине и каким важным достоинством они обладают?

ГЛАВА V

ПОНЯТИЕ О КОЛЕБАНИЯХ И ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТОКЕ

41. МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Явление механических колебаний можно наблюдать на весьма многих простых примерах. Если взять туго натянутую металлическую струну, закрепленную на концах (рис. 106), оттянуть ее из начального положения в сторону, то струна будет совершать попеременные движения в обе стороны от своего начального положения, или, как говорят, струна будет колебаться. По прошествии определенного времени колебания постепенно прекратятся, и струна остановится в начальном положении.

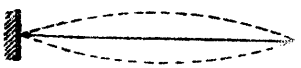


Рис. 106. Колебание струны

Ножки камертона, если ударом вывести их из состояния покоя и затем предоставить самим себе, также будут колебаться в обе стороны от своего положения покоя. Как в первом, так и во втором случаях будет слышен звук, причем характер этого звука, его тон, может быть различным. Чем быстрее будет колебаться тело, тем выше будет тон (высота) звука, издаваемый им при этом; чем медленнее колебания, тем ниже тон звука.

Явление звука есть результат механического движения частиц воздуха, вызванного колебанием или движением какого-либо тела. Если тело колеблется, то соприкасающийся с ним воздух приводится в колебательное движение. Движение воздуха, распространяясь во все стороны, достигает уха наблюдателя. Действуя на слуховой аппарат человека и далее на его нервную систему, это колебательное движение частиц воздуха вызывает в сознании человека то, что мы называем звуком.

В повседневной жизни мы слышим различные по своему характеру звуки (шум, треск, звук голоса, звук музыки, звук выстрела и т. д.). Так как явление звука есть результат механических колебаний тела, то многообразие характера звука говорит о том, что эти механические колебания бывают различны как по своей силе, так и по скорости.

Человеческое ухо способно ощущать звуковые колебания не ниже 16 колебаний в секунду и не выше 8000—15000. Верхний предел весьма различен у разных людей.

Изучение механических колебаний начнем с маятника.

Маятником называют систему, состоящую из какого-либо груза (рис. 107), подвешенного на одном конце нити (стержня), другой конец которой закрепляется в одной точке.

Пусть маятник в состоянии покоя находится в точке *О*. Отведем его из этого положения в сторону и отпустим; маятник будет совершать качания. Разберем характер этих качаний. Начнем наше наблюдение с момента, когда качающийся маятник проходит точку *О*. В силу инерции маятник, пройдя среднее положение, будет двигаться к точке *А*, постепенно замедляя свое движение. Дойдя до точки *А*, маятник на мгновение остановится и затем начнет двигаться в обратном направлении, постепенно ускоряя свое движение до точки *О*, после чего начнет постепенно замедлять свое движение. Дойдя до точки *Б*, на мгновение остановится и, изменив направление своего движения на обратное, через некоторое время снова попадет *в точку О. Таким образом маятник сделает одно колебание.* Далее процесс движения маятника повторится.

Из рассмотрения ряда приведенных примеров (струна, камертон, маятник) видно, что колебание есть такое явление, при котором тело попеременно меняет свое положение в пространстве относительно среднего положения, причем изменение это совершается с определенной последовательностью.

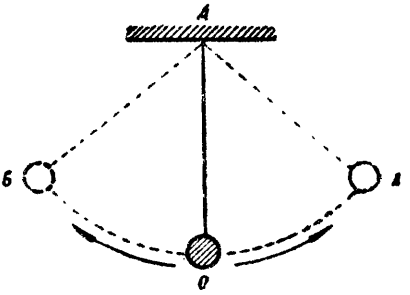


Рис. 107. Колебание маятника

При колебаниях маятник в различные моменты времени будет отклоняться на различные расстояния от среднего положения *О* (рис. 107). Наибольшее отклонение маятника будет в точках *А* и *Б*. Эта величина соответствует расстоянию *ОА* или *ОБ* и называется амплитудой колебания маятника.

Вообще, амплитудой колебания принято называть наибольшее значение, которого достигнет при своих изменениях в колебательном процессе какая-либо величина. Например, амплитуда колебания маятника есть величина наибольшего удаления груза от среднего положения покоя; амплитуда переменного тока — наибольшее значение, которого достигает переменный ток, и т. д.

Если считать, что маятник при своем движении не испытывает сопротивления трения о воздух, сопротивления трения в точке подвеса и т. д., то у такого маятника амплитуда колебания, как мы видим, останется одинаковой во все время колебательного движения; такой колебательный процесс носит название незатухающего колебания. Графическим изображением незатухающего колебания будет синусоида (рис. 79).

Следовательно, незатухающими колебаниями мы называем такие колебания, у которых величина амплитуды остается за все время колебаний неизменной. Незатухающие колебания у обыч-

ного маятника можно осуществить, если расходуемую им энергию на преодоление силы трения пополнять простым подталкиванием маятника каждый раз в тот момент, когда он, достигнув наибольшего отклонения, начнет менять направление.

Примером незатухающих колебаний может служить движение маятника обычных стенных часов, где пополнение энергии маятника осуществляется за счет силы тяжести опускающейся гири.

Если обычный маятник вывести из состояния покоя, приведя его в движение, и предоставить самому себе, то мы можем заметить, что величина размаха маятника будет постепенно уменьшаться, затухать, до тех пор, пока колебания маятника вовсе не прекратятся. Такие колебательные движения называют затухающими колебаниями. Графическое изображение затухающего колебания представлено на рис. 108.

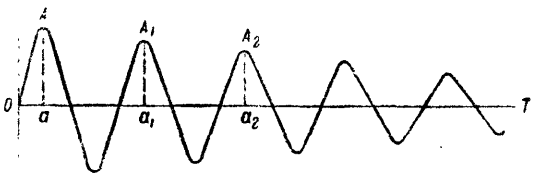


Рис. 108. Графическое изображение затухающего колебания. У этой кривой каждая последующая амплитуда по своей величине меньше предыдущей. Амплитуда A_1a_1 меньше Aa, амплитуда A_2a_2 меньше A_1a_1 и т. д.

Примером затухающего колебания может служить движение маятника стенных часов, если гирю таких часов поддерживать, не давая ей возможности опускаться.

Итак, затухающими колебаниями принято называть такие колебания, амплитуда которых не остается постоянной по величине, а уменьшается, стремясь достигнуть нулевого значения.

42. ПЕРИОД И ЧАСТОТА

Маятник, качаясь, сделает одно полное колебание, когда, выйдя из точки A (рис. 107), достигнет крайней левой точки $Б$ и оттуда вновь вернется в точку A. Для завершения одного полного колебания маятника надо затратить определенное время, которое называют герцем[1], или периодом колебания.

Итак, периодом колебания называется время, в течение которого происходит одно полное колебание. Период колебания измеряется единицей времени — секундой или ее долями и обозначается буквой T.

Продолжительность одного периода какого-либо колебания (камертона, маятника, колокола и т. д.) зависит от вполне определенных величин, присущих колеблющемуся телу, и может изменяться только с изменением этих величин. Например, величина периода маятника зависит от длины нити (стержня), на которой он подвешен. Чем длиннее нить подвеса, тем дольше

[1] Герц — это название периода принято в честь Г. Р. Герца, ученого, впервые получившего и исследовавшего излучение электромагнитных колебаний.

период колебания маятника и тем меньше полных периодов колебания он успеет сделать в одну секунду.

Период колебания не зависит от амплитуды. Другими словами, если один и тот же маятник будет совершать колебание один раз с большой амплитудой, а другой с малой, то время, потребное для совершения одного полного колебания, в обоих случаях будет одинаково. Объясняется это тем, что при большом отклонении маятника запас энергии в нем увеличивается, и за счет этого скорость движения возрастает, а следовательно, он сможет пройти большее расстояние за такое же время, которое он затратил бы на прохождение пути одного колебания при малых отклонениях. Число периодов или число полных колебаний, которое успеет сделать маятник в одну секунду, называется частотой колебания и обозначается буквой f.

Допустим, например, что между двумя последовательными приходами маятника в точку A (рис. 107) проходит одна десятая секунды; следовательно, периодом этого колебания будет одна десятая доля секунды. Таким образом в этом случае в секунду мы будем иметь десять полных колебаний, т. е. частота этого колебания будет равна 10 периодам в секунду.

Нетрудно заметить, что частота есть величина, которая связана с периодом обратной зависимостью, т. е. чем меньше частота колебания, тем больше период этого колебания, и наоборот, чем больше частота колебания, тем меньшей продолжительности будет период.

Зная одну из этих величин, можно легко определить другую. Для нашего случая, зная, что частота равна 10, легко найти длительность периода, разделив единицу на 10, т. е.:

$$\text{период} = \frac{1}{\text{частота}} = \frac{1}{10} \text{ секунды, или } T = \frac{1}{f} \text{ секунд.}$$

Так как в радиотехнике обычно применяют электрические колебания большой (высокой) частоты, то для удобства такие частоты стали в последнее время выражать в тысячах периодов — килогерцах (кило — это тысяча, следовательно, один килогерц есть тысяча периодов, двести килогерцев есть двести тысяч периодов и т. д.).

43. СОБСТВЕННЫЕ И ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

Мы уже видели, что, если маятник вывести из состояния равновесия, толкнув его и затем предоставив самому себе, то он некоторое время будет колебаться с определенной частотой, зависящей от его геометрических размеров. Для приведения камертона или колокола в звучащее состояние достаточно сообщить им один резкий короткий удар, после этого колебания камертона или колокола будут некоторое время продолжаться самостоятельно. Необходимо заметить, что высота звука (тона) при этом останется все время неизменной, т. е. частота колебаний, а следовательно, и период будут постоянны. Колебания,

которые тело может совершать самостоятельно, после того как оно будет выведено из состояния покоя от действия какой-либо силы, называются собственными колебаниями тела, или свободными колебаниями.

Частота собственных колебаний тела зависит от геометрических размеров его и свойств материала (дерево, сталь, медь и т. д.). Собственные колебания физического тела могут быть только затухающими, как это было показано на примере с маятником, камертоном и струной. Если тело находится в колебательном состоянии и в это время воздействовать на него силой и этим поддерживать его собственные колебания, заставляя (вынуждая) тело не прекращать свои колебания, то мы будем иметь случай вынужденного или навязанного колебания тела. Вынужденное колебание тела мы будем иметь также и в том случае, если заставим тело колебаться с частотой, отличной от его собственной частоты, путем воздействия на него переменной силой.

В дальнейшем мы подробно ознакомимся с методами получения электрических колебаний. Одним из видов вынужденных электрических колебаний является переменный ток, получаемый от генераторов переменного тока (см. главу IV).

44. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Переменный ток нашел себе широкое применение в промышленности благодаря ряду преимуществ по сравнению с постоянным током.

Все сказанное о периоде и частоте механических колебаний целиком относится и к переменному току. Под периодом пере-

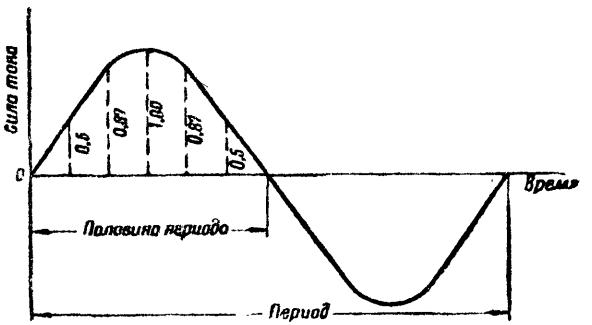


Рис. 109. Графическое изображение изменения силы переменного тока

менного тока мы подразумеваем промежуток времени, в течение которого переменный ток успеет совершить полное колебание и достигнуть прежней величины. Рассматривая волнообразный (синусоидальный) характер изменения тока (рис. 109), видим, что за время одного периода сила тока изменяет свое направление два раза. Половина периода, в продолжение которой

переменный ток сохраняет свое направление, носит название перемены. Зная период T переменного тока, легко найти и его частоту f из известного нам соотношения:

$$f=\frac{1}{T},$$

т. е. частота равна единице, деленной на период.

Промышленный переменный ток, т. е. тот ток, который вырабатывается для освещения и приведения в движение моторов и пр., у нас в СССР имеет частоту 50 периодов в секунду ($f=50$) и, следовательно, длительность одного периода $T=\frac{1}{f}=\frac{1}{50}=0{,}02$ секунды.

Продолжительность периода настолько мала, что в случае освещения переменным током нить осветительной лампы не успевает остывать настолько, чтобы мы могли обнаружить изменение или ослабление света (мигание), хотя ток имеет 50 периодов или 100 перемен в своем изменении за 1 секунду.

Переменные токи могут иметь и более высокую частоту, чем 50, например 500, 1 000 и более периодов. Токи до 15 000 периодов в секунду принято называть токами низкой частоты, выше 15 000 периодов — токами высокой частоты.

Как было уже упомянуто, 50-периодный переменный ток получил весьма широкое распространение. Причина заключается в простоте устройства тех машин, с помощью которых производят этот ток, в несложности их обслуживания и легкости передачи электрической энергии на большие расстояния. Такая передача 50-периодного тока осуществляется по проводам. Вся система проводов, служащих для передачи энергии от машин к местам потребления и для распределения (канализации) этой энергии между отдельными потребителями, носит название электрической сети. В зависимости от того, для чего предназначается энергия, передаваемая сетью, — для приведения в движение моторов или для освещения, — сеть может быть названа или силовой, или осветительной. Часто бывает, что сеть доставляет энергию и для тех и для других целей.

При передаче электрической энергии от источника к потребителю большое значение имеет сила тока по проводам, так как от нее зависят поперечное сечение, вес и стоимость проводов. Легко установить, что при одной и той же мощности чем выше будет напряжение сети, тем меньше будет сила тока, идущего по проводам, и, следовательно, меньше может быть взято поперечное сечение проводов и меньше будет их стоимость. Поэтому при передаче электрической энергии из одного места в другое (например от электрической станции на завод) выгодно пользоваться высоким напряжением. Несложные расчеты показывают, что, повышая напряжение в 10 раз, сечение проводов можно взять в 100 раз меньшее. Однако очень высокое напряжение

в месте воспроизведения электрической энергии, т. е. в машинах, и в месте ее потребления, т. е. в моторах, в лампочках, представляет неудобство: во-первых, из-за опасности для жизни людей, и во-вторых, из-за дороговизны и трудности устройства машин и приборов на высокое напряжение. Поэтому машины и лампочки делаются обычно на небольшое сравнительно напряжение, а для передачи производят повышение напряжения с помощью трансформатора.

45. ТРАНСФОРМАТОРЫ

Переменный ток позволяет преобразовывать токи большой силы и сравнительно невысокого напряжения в токи малой силы, но весьма высокого напряжения. В одинаковой мере возможно и обратное преобразование переменного тока высокого напряжения и малой силы в ток низкого напряжения, но значительной силы. Подобные преобразования осуществляются при

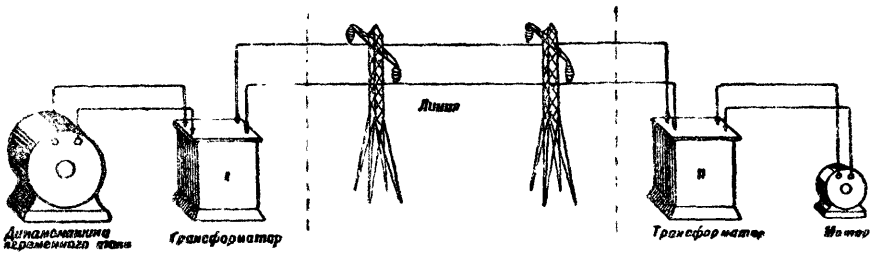


Рис 110. Передача электрической энергии по проводам

помощи специальных приборов, называемых трансформаторами.

Если трансформатор преобразует низкое напряжение в высокое, его называют повышающим, если же он преобразует высокое в низкое напряжение, его называют понижающим.

Простейший случай передачи энергии переменного тока изображен на рис. 110. Динамомашина переменного тока работает на повышающий трансформатор (*I*), установленный на станции или вне ее. Зажимы обмотки высокого напряжения включены в провода сети. На месте потребления в сеть включен трансформатор (*II*), понижающий, и от зажимов низкого напряжения этого трансформатора берется энергия на освещение или моторы.

Простейший трансформатор состоит из железного сердечника, на котором помещаются две обмотки — первичная и вторичная (рис. 111). Концы первичной присоединяются к генератору или вообще к цепи переменного тока, а зажимы вторичной обмотки присоединяются к потребителю. Переменный ток, проходя по первичной обмотке, образует магнитное поле, силовые линии которого будут захватывать витки вторичной обмотки. При этом магнитный поток, проходящий по железному сердечнику, не остается постоянным, а за время каждого периода изме-

няется как по величине, так и по направлению. Этот переменный магнитный поток, пересекая виток вторичной обмотки, индуктирует в нем переменную э. д. с. Электродвижущие силы отдельных витков будут складываться друг с другом, так как витки соединены последовательно, и у зажимов обмотки получается э. д. с., равная сумме отдельных э. д. с., образующихся в каждом из витков. Очевидно, что чем больше будет число витков во вторичной обмотке, тем выше будет напряжение, получаемое у ее зажимов, и именно во столько раз, во сколько раз число витков вторичной обмотки больше числа витков первичной [1].

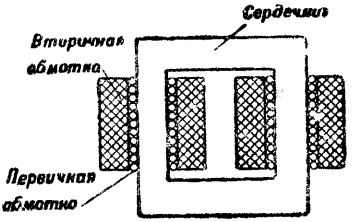


Рис. 111. Продольный разрез трансформатора стержневого типа с цилиндрическими катушками

Если замкнуть вторичную обмотку на сопротивление, то через него будет итти ток.

Число, выражающее отношение между напряжением первичной и вторичной цепи трансформатора, или, что то же, отношение между числами витков первичной и вторичной обмоток, называется коэфициентом трансформации, т. е:

$$\text{коэфициент трансформации} = \frac{\text{число витков } I \text{ обмотки}}{\text{число витков } II \text{ обмотки}}$$

или

$$\text{коэфициент трансформации} = \frac{\text{э. д. с. } I \text{ обмотки}}{\text{э. д. с. } II \text{ обмотки}}.$$

Примеры. 1. Проходит линия высокого напряжения 3 000 вольт, доставляющая электрическую энергию со станции в рабочий городок для освещения. Домовое освещение рассчитано на 120 вольт. Какой трансформатор надо установить?

В данном случае мы имеем первичное напряжение, равное 3 000 вольт; вторичное — 120 вольт. Очевидно, надо установить понижающий трансформатор, коэфициент трансформации которого будет равен:

$$\text{коэфициент трансформации} = \frac{\text{э. д. с. } I \text{ обмотки}}{\text{э. д. с. } II \text{ обмотки}} = \frac{3\,000}{120} = 25.$$

2. Число витков первичной обмотки трансформатора равно 100, вторичной — 1 000. Определить напряжение у зажимов вторичной обмотки, если напряжение, подводимое к трансформатору, — 125 вольт. Так как число витков вторичной обмотки больше числа витков первичной в 10 раз, следовательно, и вторичное напряжение будет больше напряжения, подводимого к первичной обмотке, во столько же раз, т. е. в 10 раз. Полу-

[1] Строго говоря, это справедливо для случая разомкнутой цепи вторичной обмотки; во время работы трансформатора соотношения между напряжениями несколько иные, чем установлено выше, но все же близкие к ним.

чаем напряжение у зажимов вторичной обмотки $= 125 \times 10 =$ $= 1\,250$ вольт, т. е. трансформатор повышающий.

В простейшем случае трансформатор представляет устройство, состоящее из катушки с намотанными на ней первичной и вторичной обмотками и вставленным внутрь железным сердечником. Катушки располагают так, чтобы магнитный поток, создаваемый первичной обмоткой, полностью пересекал все витки вторичной обмотки, т. е. и та и другая обмотки должны располагаться возможно теснее друг к другу. Их расположение может быть такое, как изображено на рис. 111, т. е. обе обмотки укладываются на каждый стержень; при этом обмотки низкого напряжения располагаются ближе к сердечнику, а снаружи — обмотки высокого напряжения.

Расположение обмоток может быть и таким, как изображено на рис. 112, т. е. катушки плоской формы высокого и низкого напряжения чередуются между собой.

Расположение обмотки высокого напряжения снаружи (рис. 111) делается в целях облегчения доступа к ней для исправления, так

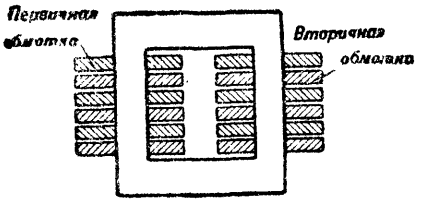


Рис. 112. Продольный разрез трансформатора стержневого типа с дисковыми катушками

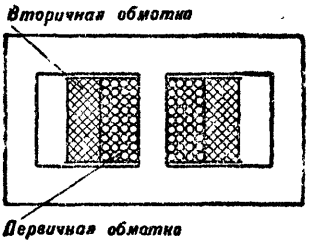


Рис. 113. Продольный разрез трансформатора броневого типа

как обмотки высокого напряжения чаще всего подвергаются повреждениям (пробою изоляции). Чередование же обмоток во втором случае делается с целью получения большей надежности в отношении изоляции и лучшей вентиляции. Обе указанные разновидности устройства обмоток характеризуют один тип трансформатора — стержневой. Иногда обмотки располагают одна снаружи другой, а железу сердечника придают форму, как это изображено на рис. 113. Такой тип трансформатора называется броневым.

Сердечник делается обычно не сплошным, а собирается из листового железа толщиной 0,3—0,35 *мм* с бумажными прокладками, причем часто железо бывает особого сорта (с примесью кремния). Делается это с целью ослабить вредные токи Фуко, которые возникают в железе. Сердечник обычно собирается из листов железа, соответственно вырезанных впритык или внахлестку (рис. 114 и 115). Это делается для облегчения надевания катушек, которые обыкновенно изготовляются отдельно. Собранные листы сжимаются или непосредственно болтами или накладками, через которые проходят болты снаружи (рис. 116).

Трансформаторы большой мощности употребляются для силовой нагрузки. Трансформаторы очень малой мощности употре-

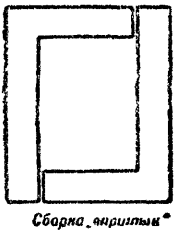


Рис. 114. Сборка железа для сердечника трансформатора впритык

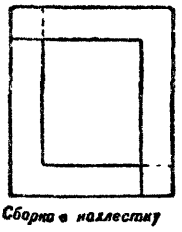


Рис. 115. Сборка железа для сердечника трансформатора внахлестку

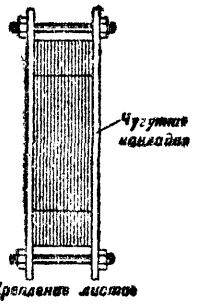


Рис. 116. Скрепление листов железа в трансформаторе

бляются для токов звуковой (низкой) частоты, в усилительных цепях радиоприемников и в цепях звуковой частоты радиопередатчиков. Обычно в усилительных трансформаторах низкой

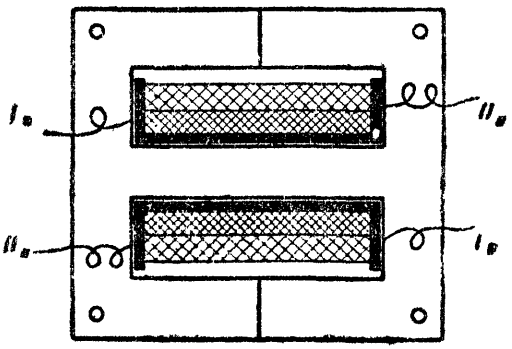


Рис. 117. Продольный разрез трансформатора низкой частоты

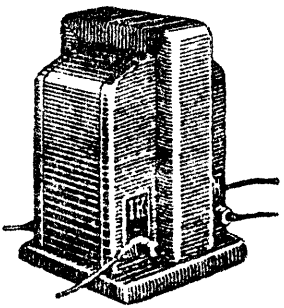


Рис. 118. Внешний вид трансформатора низкой частоты

частоты коэфициент трансформации колеблется от 1:2 до 1:5. Разрез и внешний вид трансформатора низкой частоты даны на рис. 117 и 118. С большими коэфициентами трансформации современные усилительные трансформаторы обычно не строят из-за могущих иметь место искажений. Количество витков в таких трансформаторах доходит до 20 000. Провод обычно берется очень тонкий: диаметр порядка десятых долей миллиметра.

46. ТОКИ ЗВУКОВОЙ ЧАСТОТЫ

Стуки, шумы, речь и музыка — все это проявления звуковых колебаний. В настоящее время звуковые колебании весьма легко

превращают в электрические колебания с помощью особых устройств; так же легко электрические колебания превращают обратно в звуковые. Колебания, из которых состоит речь, музыка или любой другой звук, — сложные колебания, но их можно представить состоящими из ряда простых колебаний; каждое такое простое колебание можно изобразить знакомой нам плавной волнообразной кривой, синусоидой (рис. 109). Напомним, что звуковые колебания, которые человеческое ухо может слышать, имеют частоту от 16 до 15 000 периодов в секунду. Колебания тока или напряжения, получившиеся в результате превращения звуковых колебаний в электрические, имеют ту же частоту, что и звуковые колебания. Поэтому такие токи и называются токами низкой, или звуковой, частоты.

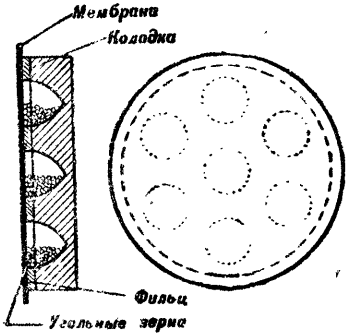


Рис. 119. Простейший контактный угольный микрофон

Задачу превращения звуковых колебаний в электрические, т. е. в колебания тока или напряжения, выполняет микрофон. Устройство наиболее употребительных микрофонов основано на их свойстве изменять свое сопротивление под влиянием звуковых волн. Для уяснения работы микрофона рассмотрим действие простейшего контактного микрофона (рис. 119), состоящего из мембраны и колодки, между которыми насыпаны угольные

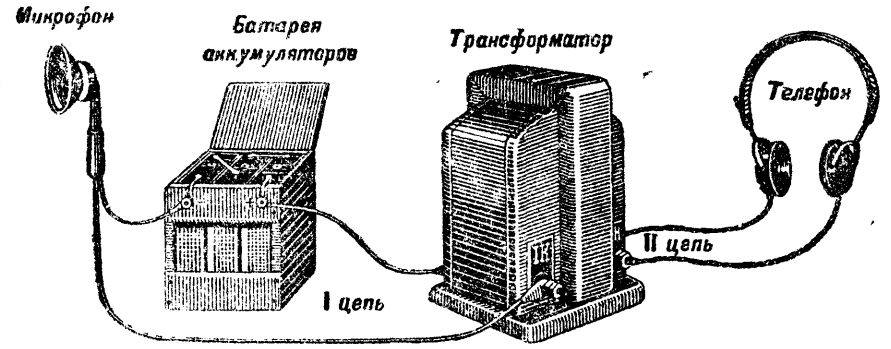


Рис. 120. Схема передачи звука от микрофона к телефону

зерна. При соединении мембраны и колодки с питающей батареей и первичной обмоткой трансформатора (рис. 120) в *I* цепи будет проходить некоторый постоянный ток. Тот или иной звук, произносимый перед микрофоном, создает звуковую волну, которая будет действовать на мембрану микрофона, приводя ее в колебательное состояние. Колебания мембраны вызовут большее или меньшее уплотнение угольных зерен, отчего изменится сопротивление контакта между мембраной и колодкой, т. е. изменится сопротивление микрофона. Изменение же сопро-

тивления микрофонной цепи, получившееся под действием звука, вызовет изменение величины проходящего по ней тока. С той же периодичностью, которую имело звуковое колебание, будет изменяться сопротивление микрофона, и, следовательно, в результате действия звуковой волны в микрофонной цепи будет протекать некоторый пульсирующий ток. Меняющийся ток микрофонной цепи создает во второй обмотке некоторую переменную э. д. с., и если зажимы вторичной обмотки замкнуть в некоторое сопротивление, например телефон, то в *II* цепи потечет переменный ток той же звуковой частоты и в телефоне будет слышен звук.

В устройстве современного микрофона основную рабочую часть представляет капсюль микрофонный, представляющий собой круглую коробку, которую можно целиком вынимать из арматуры микрофона. Устройство и разрез одного из таких капсюлей показаны на рис. 121. Угольный брусок *Б* имеет с одной стороны концентрически расположенные желобки и обернут кругом войлоком *В*. В образованную между бруском и мембраной *М* полость больше чем на половину насыпан угольный мелкозернистый порошок. Войлочное кольцо удерживает угольный порошок от выпадения из предназначенного для него пространства. Металлическая оправа *О*, плотно скрепляющая все части капсюля в одно целое, сзади (на рис. 121 слева) имеет отверстие, в котором через изоляцию пропущен металлический сердечник *С*. Путь тока в капсюле идет от *С* к бруску *Б* через угольный порошок и мембрану *М* к оправе *О*. Среднее сопротивление таких капсюлей в спокойном состоянии — около 30 омов.

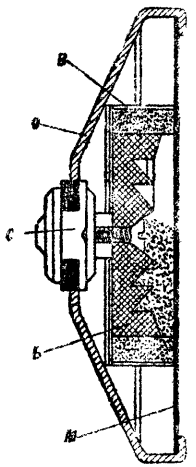


Рис. 121. Поперечный разрез микрофонного капсюля

Капсюль вставляется в металлическую оправу, в которой подводка тока производится к двум пружинным контактам, дающим соединение с металлической оправой капсюля и с металлическим сердечником *С*. На коробку навинчивается раструб (амбушур), назначение которого — направлять звуковую волну на микрофонную мембрану и защищать ее от посторонних шумов. В условиях, когда телефонный разговор приходится вести при непрекращающихся очень сильных звуковых помехах, например в танках, при стрельбе автоматов, пулеметов, артиллерийской канонаде, устройство обыкновенного микрофона не избавляет от подобных шумов. В этих случаях применяют защиту мембраны с помощью резиновой губки или особые конструкции микрофонов, которые называются антишумовыми (их описание — см. главу XVI).

Мы видели, что изменения тока в микрофонной цепи вызываются колебаниями мембраны микрофона, приходящей в колебательное движение под действием звуковых волн. Было бы нецелесообразно включать микрофон непосредственно в какую-либо длинную линию, по которой собираются передавать речь,

так как в сравнении с большими величинами сопротивления линии изменения сопротивления микрофона были бы ничтожными; так же ничтожными были бы обусловленные этими изменениями переменные токи. Обыкновенно в микрофонную цепь включаются только батарея, микрофон и первичная обмотка особого микрофонного трансформатора. При этом изменения силы тока становятся довольно значительными. Эти изменения силы тока в первичной обмотке трансформатора, обусловленные микрофоном, вызывают изменения магнитного потока в сердечнике, что создает переменную э. д. с. во вторичной обмотке, как в обычном рассмотренном нами трансформаторе. Вторичная обмотка при этом уже может включаться в линию; при включении телефона в конце линии можно слушать речь в том виде, как она передана перед микрофоном.

47. ТЕЛЕФОН

Устройство простейшего телефона состоит из электромагнита и мембраны (рис. 122). Сердечники электромагнитов намагничены, и вследствие этого даже тогда, когда к телефону не подводится электрический ток, сердечник притягивает мембрану (рис. 122 положение *I*). При протекании по обмоткам сердечников тока такого направления, при котором магниты подмагничиваются, мембрана притягивается к сердечнику сильнее и

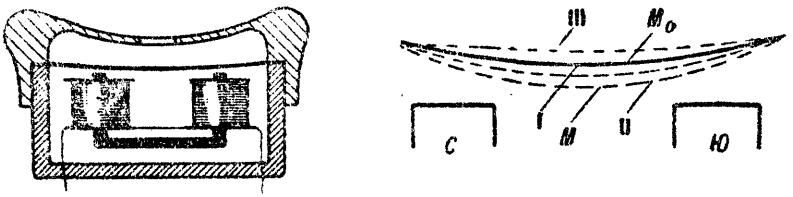


Рис. 122. Устройство и работа телефона

приближается к положению *II*. Когда же ток, протекающий через обмотки, имеет обратное направление, он несколько размагничивает магниты, и поэтому мембрана отходит от своего среднего положения в другую сторону и становится в положение *III*; при этом частота и амплитуда отклонения телефонной мембраны будут соответствовать звуковой частоте передающего устройства, т. е. микрофона, и речь будет чистой. Если бы сердечники не были подмагничены, колебания мембраны происходили бы в одну сторону от исходного положения *I* и прием происходил бы с искажением; следовательно, наличие постоянного магнита в телефоне обеспечивает прием от искажений.

Итак, назначение приемного телефона заключается в приеме электрических колебаний звуковой частоты и превращения их в колебания звуковые.

Присоединение телефона в линию через трансформатор часто применяется потому, что этим способом исключается возмож-

ность протекания по обмоткам постоянного тока и, следовательно, устраняется непроизводительная трата энергии на нагревание обмоток.

Надо отметить, что в проводной связи телефон может быть использован не только как приемник электрических колебаний звуковой частоты и преобразователь их в звуковые колебания, но и как передатчик звуковых колебаний, т. е. как

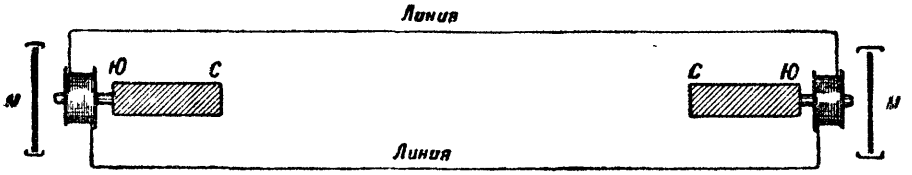


Рис. 123. Простейшая телефонная связь

микрофон. Если начать говорить перед мембраной, то колебания воздуха вызовут соответствующие колебания мембраны. Изменения положения мембраны относительно постоянного магнита будут изменять величину магнитного поля. Всякое же изменение магнитного поля, как мы знаем, вызывает в обмотке появление э. д. с. При присоединении этого телефона-передатчика в линию, на конце которой включен телефон-приемник, по линии будут протекать попеременные токи звуковой частоты.

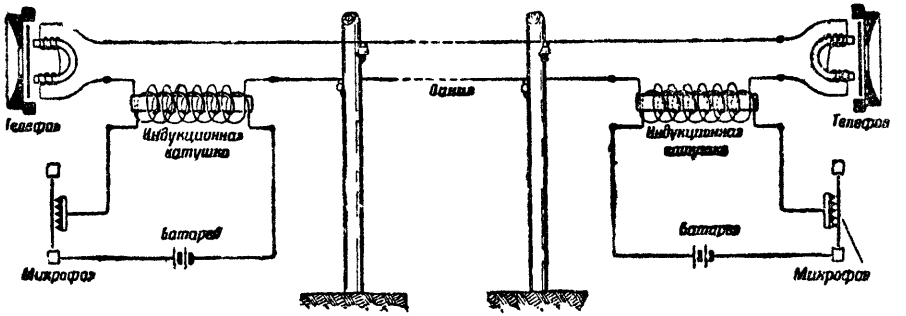


Рис. 124. Телефонная проволочная связь с микрофонами

Магнитное поле создается, как мы видели, постоянным магнитом. Если бы мы убрали магнит, исчезло бы и магнитное поле. Без магнитного поля мембрана телефона может колебаться как угодно, но ее колебания будут бесполезны, так как без магнитного поля не будет и телефонного тока в обмотках.

Таким образом вполне очевидна необходимость постоянного магнита для телефона и в том случае, когда он служит передатчиком.

Схема простейшей телефонной передачи с помощью двух телефонов и линии приводится на рис. 123. Ввиду малой величины телефонных токов в этом случае связь возможна по подобной схеме только на небольшое расстояние (несколько

километров). Поэтому в основу всех практически применяемых схем телефонной передачи по проводам кладут схему рис. 124.

Надо иметь в виду, что практически применяемые телефонные схемы сильно отличаются и от приведенной выше. Дело в том, что каждый телефонный аппарат имеет вызывное приспособление, фоническое или индукторное, которое значительно усложняет схему.

48. БЕСПРОВОЛОЧНАЯ ПЕРЕДАЧА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Во всех случаях, рассмотренных нами ранее, мы вели речь об электрической энергии в виде переменного тока промышленной или звуковой частоты, передаваемой по проводам. Но электрическую энергию можно передавать на расстояние и без проводов.

Для осуществления передачи без проводов необходимо, чтобы в месте передачи имелся источник электрических колебаний быстропеременного тока, или, как говорят, генератор электрических колебаний высокой частоты. Воспроизводить, или генерировать, колебания высокой частоты можно с помощью электрической искры, дуги или машины высокой частоты. Однако преимущественное использование для этой цели в современной радиотехнике получила электронная (катодная) лампа.

В новейших радиостанциях энергия высокой частоты вырабатывается исключительно ламповыми генераторами. Необходимо, чтобы эта энергия была передана в особое устройство, состоящее из одного провода или системы проводов, подвешенных в воздухе. Такое устройство называется антенной. Таким образом, чтобы осуществить беспроволочную передачу электрической энергии на расстояние, необходимо, во-первых, чтобы электрические колебания были высокой частоты, и, во-вторых, чтобы эти колебания высокой частоты были переданы в антенну.

При наличии этих условий имеет место излучение (выбрасывание) электрической энергии, т. е. в пространстве мы можем обнаружить эту энергию в виде электромагнитных волн, распространяющихся во все стороны с громадной скоростью, равной скорости света.

О волновом движении мы имеем представление на других примерах из явлений природы. На воде, например, бросив в ее гладкую поверхность камень, мы можем наблюдать, как от места падения камня распространяются во все стороны водяные круги. Внимательное изучение этого явления дает возможность установить, что частицы воды поступательно не перемещаются, а находятся в колебательном движении около некоторого положения равновесия, распространяются же, расходясь во все стороны от места падения камня, волновые колебания воды — волны. При радиопередаче в каждой точке пространства кругом антенны имеются колебательные изменения электрического состояния, т. е. электромагнитные волны, которые

распространяются во все стороны от антенны и могут быть обнаружены в радиоприемном устройстве. Волны несут в себе запас электромагнитной энергии, которая по мере удаления от антенны уменьшается; кроме того, энергия электромагнитных волн по пути их распространения поглощается местными предметами: постройками, деревьями, а также землей, вследствие чего она еще более уменьшается. Поэтому к месту радиоприема приходит весьма малая доля энергии от того количества, которое затрачено в месте передачи. Все же этой энергии оказывается достаточно, чтобы, усилив (увеличив) ее в радиоприемнике за счет местных источников электроэнергии, произвести нужное нам действие. Передача электрической энергии без проводов применяется для целей связи, т. е. для передачи телеграфных сигналов, речи, музыки и изображения.

Для извлечения электромагнитной энергии из пространства и превращения ее в звуковые сигналы применяются радиоприемные устройства, которые состоят из антенны, усиливаю-

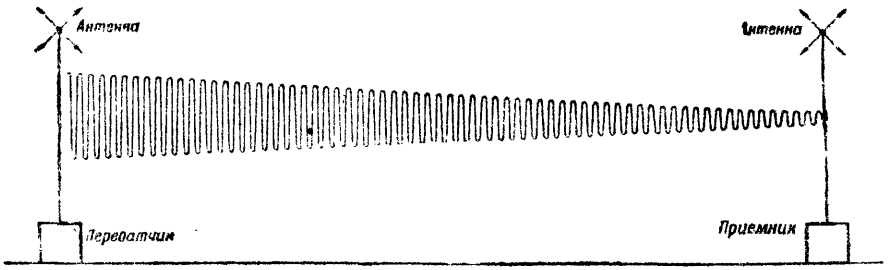


Рис. 125. Картина беспроволочной связи

щего устройства (усилителя) и детектора с телефоном, в котором электрические колебания превращаются в звуковые. Для передачи телеграфных сигналов электрические колебания в передающем устройстве прерываются таким образом, чтобы, чередуя посылки энергии той или иной продолжительности, можно было передавать знаки по азбуке Морзе. Для радиотелефонной передачи необходимо дополнительное модуляционное устройство, в котором на колебания высокой частоты накладываются колебания низкой (звуковой) частоты. Таким образом в общих чертах схема радиосвязи согласно изложенному выше может быть представлена соответственно рис. 125. Затруднения, которые обычно встречаются при радиопередаче, заключаются:

а) в неодинаковости и непостоянстве связи из-за переменных особенностей в характере распространения электромагнитных волн во время суток и года;

б) в наличии атмосферных помех радиоприему и трудности избавления от них;

в) в чрезвычайно большом рассеивании энергии по пути от передатчика к приемнику;

г) в значительной сложности передающих и приемных устройств

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что называется колебанием?
2. Что такое амплитуда колебания?
3. Какие виды колебаний существуют?
4. Что называют периодом и частотой колебания и какая зависимость между ними?
5. Какие колебания называют собственными и какие вынужденными?
6. Какой частоты ток применяется в осветительных сетях?
7. Под каким напряжением выгодно передавать электроэнергию на большие расстояния и почему?
8. Как осуществляется преобразование низкого напряжения в высокое при изменении тока большой силы в ток малой силы и обратно?
9. Как устроен и как действует простейший трансформатор?
10. Какая величина характеризует способность трансформатора повышать или понижать напряжение?
11. Как выполняются трансформаторы для трансформирования токов звуковой частоты?
12. Какие токи мы называем токами звуковой частоты и почему?
13. Какой прибор выполняет задачу преобразования звуковых колебаний в электрические и как?
14. Какой прибор служит для обратного превращения электрических колебаний в звуковые?
15. Может ли телефон служить для преобразования звуковых колебаний в электрические и, если может, то как это происходит?
16. Как соединяются в простейшем телефонном аппарате отдельные его части, выполняющие то или другое назначение?
17. Возможна ли передача электрической энергии без проводов и какие условия для этого необходимы?
18. В чем выражаются затруднения, которые встречаются при передаче энергии без проводов на современном уровне развития этого вида техники?

ГЛАВА VI

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

49. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ

Мы уже знаем, что примером простейшего случая электрического колебания может служить переменный ток, применяемый для промышленных целей. Его частота очень небольшая — 50 периодов в секунду.

Для получения электрических колебаний высокой частоты используют обычно электрическую цепь, которая состоит из последовательно соединенных емкости и самоиндукции. Такая цепь носит название *колебательного контура*.

Рассмотрим физическую картину образования электрических колебаний в цепи, состоящей из последовательно соединенных емкости и самоиндукции.

Предположим, что конденсатор в таком контуре заряжен от батареи аккумуляторов до определенного напряжения, причем верхняя его обкладка заряжена положительно, нижняя — отрицательно (рис. 126). При повороте переключателя влево об-

кладки конденсатора электрически соединяются с катушкой самоиндукции, и конденсатор будет разряжаться; в цепи контура появится ток в направлении, указанном стрелкой. Проходя по катушке самоиндукции, ток создает вокруг нее магнитное поле (глава II). Ток достигает максимального значения не сразу, а будет возрастать посте-

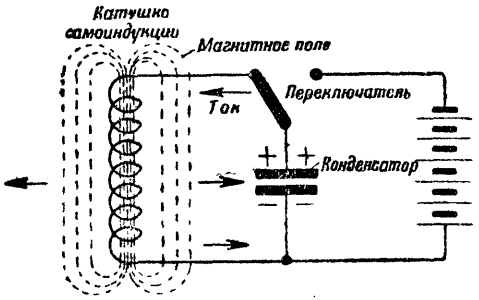


Рис. 126. Разрядный ток возрастает. Магнитное поле вокруг катушки самоиндукции увеличивается. Заряд конденсатора убывает

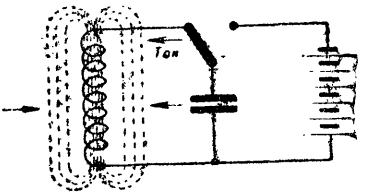


Рис. 127. Конденсатор разрядился, однако ток, достигнув наибольшей величины, продолжает протекать в контуре за счет магнитного поля катушки самоиндукции; начинается перезарядка конденсатора

пенно вследствие наличия в цепи самоиндукции, которая обладает, как было указано в главе IV, свойством препятствовать возникновению тока. Для преодоления сопротивления э. д. с. самоиндукции потребуется определенный промежуток времени, который будет зависеть от величины самоиндукции. Кроме того, продолжительность разряда конденсатора, а следовательно, и нарастания

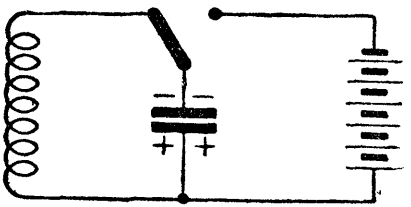


Рис. 128. Ток в контуре прекратился, магнитное поле вокруг катушки исчезло. Обкладки конденсатора перезарядились до наибольшего напряжения

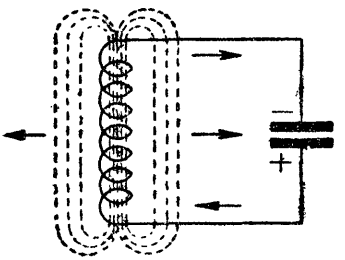


Рис. 129. Начался снова процесс разряда конденсатора, в контуре появился ток обратного направления. Ток возрастает, образуя вокруг катушки самоиндукции магнитное поле

тока, будет также зависеть от величины емкости конденсатора и сопротивления цепи. Вообще говоря, ток достигнет своего максимального значения в тот момент, когда конденсатор разрядится (рис. 127) и напряжение на его обкладках будет равно нулю. Хотя конденсатор и разрядится, однако, ток в цепи контура не прекратится, а будет продолжаться за счет энергии магнитного поля вокруг катушки самоиндукции. Величина тока будет убывать, причем в это время будет происходить перезаряд обкладок

конденсатора, как изображено на рис. 128. Напряжение на конденсаторе будет постепенно возрастать, стремясь достигнуть прежнего значения. Когда ток в цепи контура прекратится (рис. 127), потенциал обкладок конденсатора достигнет наибольшей величины. В этот момент начнется снова разряд конденсатора, но ток пойдет в обратном направлении, как указано стрелкой на рис. 129. В дальнейшем процесс будет происходить с той же последовательностью, как и в начале.

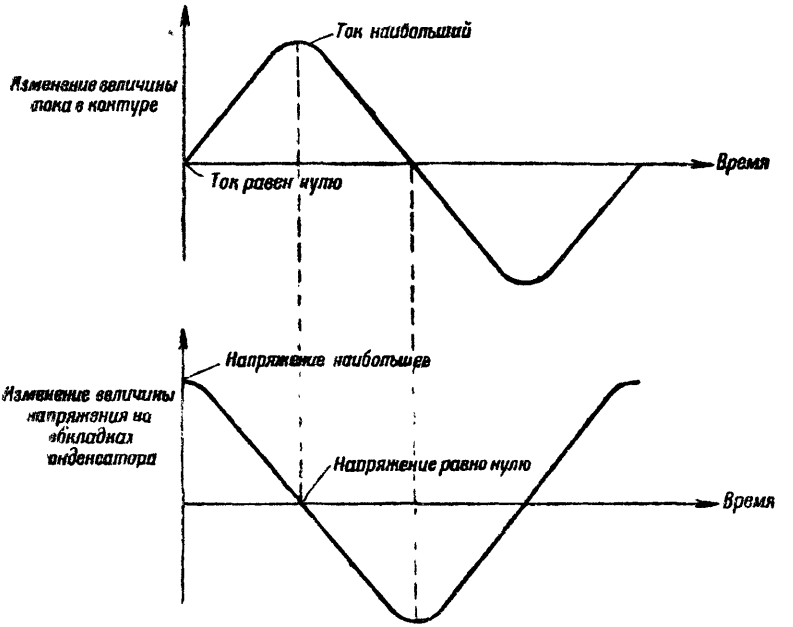


Рис. 130. Графическое изображение изменения напряжения и тока в колебательном контуре

Колебательный процесс в контуре изображен графически на рис. 130.

Из графика мы видим, что в тот момент, когда ток, увеличиваясь, достигает максимального значения, напряжение конденсатора убывает и достигает значения, равного нулю.

Кривая силы тока изображена на рис. 130 и ничем не отличается от кривой, изображенной на рис. 109. В этом случае так же, как и при движении маятника, мы имеем колебательный процесс, причем период этого электрического колебания будет зависеть от величины емкости и самоиндукции контура. Рассмотренная нами электрическая цепь, как мы видели, может давать электрические колебания, поэтому она и называется электрическим колебательным контуром, а процесс, происходящий в контуре, — электромагнитным колебанием.

Взаимодействие емкости и самоиндукции в контуре можно уяснить из сходства со следующим механическим явлением.

Пусть железный стержень (рис. 131) укреплен таким образом, что он может вращаться вокруг своей оси. На конце стержня закрепим один конец пружины, другой же конец ее укрепим на неподвижной подставке. Если мы будем повертывать стержень, то этим самым закрутим пружину. Завернув пружину до предела, укрепим стержень неподвижно. Полученная таким образом механическая система будет представлять собой подобие заряженного конденсатора; если мы отпустим стержень, он будет поворачиваться обратно, это будет соответствовать разряду конденсатора; при этом стержень перейдет через начальное положение покоя, затем, постепенно замедляя вращение, остановится, повернется в противоположном направлении и т. д., выполнив таким образом некоторое количество колебаний, прежде чем остановиться. Однако, если энергия пружины невелика и особенно если сопротивление трения стержня

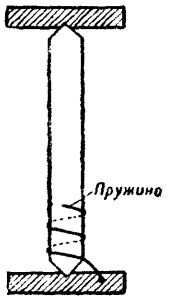


Рис. 131. Механическое подобие цепи, имеющей емкость

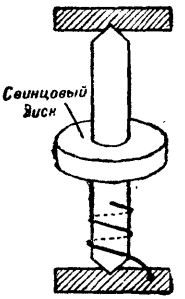


Рис. 132. Механическое подобие цепи, имеющей емкость и самоиндукцию

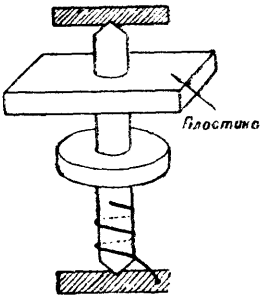


Рис. 133. Подобие цепи, имеющей омическое сопротивление, емкость и самоиндукцию

велико, может случиться, что стержень не перейдет своего начального положения, а следовательно, не получится колебаний.

Снабдим стержень дополнительным сплошным свинцовым диском, укрепленным на нем (рис. 132). Этот диск вызовет нежелательное сопротивление воздуха, но зато вся система будет обладать значительной инерцией, т. е. это значит, что необходимо затратить относительно бо́льшую силу, чем в первом случае, для того чтобы привести стержень в движение или остановить его, когда он вращается. Механическую инерцию можно сравнить с самоиндукцией или электрической инерцией цепи, действие которой заключается в мгновенном сопротивлении возникновению или прекращению тока.

В случае, когда стержень с пружиной дополнительно снабжен тяжелым диском, колебания будут более продолжительны. Действительно, стержень, возвращаясь в обратную сторону под действием пружины, достигнет своего начального положения с большой скоростью; вследствие инерции диска стержень переходит через начальное положение, раскручивает пружину,

после чего она снова закручивается, и потребуется много времени, пока стержень придет в состояние покоя. Таким образом присутствие диска способствует колебаниям стержня в ту и другую стороны от положения покоя. Точно так же и самоиндукция, введенная в цепь, позволяет получить колебательный разряд конденсатора. Конденсатор, как было указано выше, после разряда вновь заряжается, потом снова разряжается и т. д.

Если стержень снабдить четырехугольной пластиной (рис. 133), что вызовет сопротивление его движению со стороны воздуха, то колебания стержня быстро прекратятся, и, если сопротивление будет слишком велико, стержень сразу возвратится в свое начальное положение и колебаний не будет. Точно так же, если сопротивление электрического контура велико, колебания могут вовсе не возникнуть.

Чем больше емкость конденсатора контура, тем больше потребуется времени для его зарядки, так как процесс нарастания и убывания тока будет длительным, т. е. период колебания будет большим. Точно так же, чем больше самоиндукция в контуре, тем больше будет мгновенное сопротивление возникновению и убыванию тока, а следовательно, больше будет затрачено на это времени, т. е. период колебания увеличится. Таким образом, чем больше будет самоиндукция или емкость колебательного контура, тем больше будет величина периода колебания этого контура.

Электрическая энергия, имеющаяся в конденсаторе контура, на колебательный процесс расходуется не полностью. Так как электрическая цепь колебательного контура обладает сопротивлением, то ток, проходя через это сопротивление, будет расходовать часть электрической энергии, которая будет переходить в тепло. Другая, очень небольшая, часть энергии отрывается в пространство, или, как говорят, излучается, в виде электромагнитных волн. При соответствующем устройстве контура излучение может быть увеличено до значительной величины. В результате указанного расхода энергии амплитуда тока (рис. 108) второго полуколебания будет меньше амплитуды тока первого полуколебания, т. е. последующие колебания будут уменьшаться, или, как говорят, затухать. Затухание колебаний будет продолжаться до тех пор, пока энергия конденсатора полностью не израсходуется на указанные потери. В этом случае мы имеем затухающие электрические колебания.

Для того чтобы электрические колебания были незатухающими, т. е. чтобы амплитуда колебания с каждым периодом не уменьшалась, а сохраняла свою величину, необходимо в определенные моменты времени „подкачивать" в контур энергию в количестве, равном тому, которое к этому моменту превращается в тепло или излучается.

50. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ВОЛНЫ

Мы уже отмечали, что при соответствующем устройстве колебательного контура электромагнитная энергия при посред-

стве антенны (глава V) может излучаться в пространство и распространяться в нем в виде электромагнитных волн, подобно тому, как камень, брошенный в воду, вызовет ее движение в виде волн на ее поверхности. Падение камня на спокойную поверхность воды приводит в движение ее частицы, вызывая тем самым возмущение в массе воды и возникновение волн (рис. 134) той или иной длины.

Длиной волны называют наикратчайшее расстояние между двумя ближайшими гребнями. Каждая волна перемещается с определенной скоростью, которая называется скоростью распространения волны. Если, например, заставить моторную лодку, находящуюся на вершине гребня, двигаться с такой скоростью, которая позволила бы ей оставаться все время на вершине

Рис. 134. Волны, вызванные падением в воду камня

этой волны, то скорость движения лодки и была бы скоростью распространения волны.

Электромагнитные волны (радиоволны) распространяются в окружающей среде со скоростью света, которая равна 300 000 *км/сек*.

Мы уже знаем, что периодом, или герцем, колебания называется время, в течение которого совершается одно полное колебание. Так как циклы колебаний быстро следуют один за другим, то на один цикл придется время, равное доле секунды. Например, при частоте колебаний в 10 000 периодов в секунду на один период придется 0,0001 доля секунды. За время одного периода электромагнитная волна, распространяясь в пространстве со скоростью света, займет определенное расстояние, равное длине волны. Следовательно, длина электромагнитной волны есть то расстояние, на которое она распространяется за время одного периода.

Очевидно, для того чтобы определить длину волны, зная период колебания, необходимо скорость света (300 000 *км*) умножить на величину периода колебания, при котором получается эта волна.

В нашем случае при периоде, равном 0,0001 секунды, длина волны будет равна:

$$300\,000 \text{ км} \times 0{,}0001 = 30 \text{ км},$$

или, переводя на метры:

$$1\,000\ м \times 30 = 30\,000\ м,$$

так как обычно длину волны выражают в метрах.

В последнее время в целях удобства электромагнитные волны определяют величиной частоты их колебаний и выражают в килогерцах. В нашем примере частота равна 10 000 периодам в секунду, следовательно, волна будет 10 килогерцев. Так как частота есть величина, обратная периоду, то, зная частоту, можно определить длину волны, разделив скорость света на эту частоту. Для нашего примера:

$$300\,000\ км : 10\,000 = 30\ км,\ \text{или}\ 30\,000\ м.$$

Таким образом длина волны λ (греческая буква ламбда) в метрах может быть выражена через скорость света $c = 3 \cdot 10^8 м/сек$ и период T в секундах:

$$\lambda = c\ T = 300\,000\,000\ T = 3 \cdot 10^8 \cdot$$

или

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{f}.$$

51. ЗАВИСИМОСТЬ ДЛИНЫ ВОЛНЫ ОТ ЕМКОСТИ И САМОИНДУКЦИИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА

Мы уже раньше отмечали, что период, а следовательно, и частота колебаний зависят от величины емкости и самоиндукции контура. Так как длина волны в свою очередь зависит от величины периода колебания, то можно сделать вывод, что длина волны также зависит от величины емкости и самоиндукции контура. Чем больше емкость и самоиндукция контура, тем волна длиннее, ибо период колебания в этом случае становится больше. При меньших величинах емкости и самоиндукции контура волна будет меньше. Эта зависимость изменения длины волны от величины емкости и самоиндукции позволяет производить настройку одного контура на разные волны простым изменением величины емкости переменного конденсатора или переменной самоиндукции — вариометра.

Необходимо заметить, что зависимость длины волны от величины емкости и самоиндукции не простая, т. е. увеличение или уменьшение в несколько раз емкости или самоиндукции увеличит или уменьшит волну не во столько же раз.

Так, например, если емкость или самоиндукцию мы увеличим в 4 раза, то волна увеличится только в 2 раза, при увеличении емкости или самоиндукции в 9 раз волна увеличится в 3 раза. Зная величину емкости и самоиндукции, можно волну контура определить по формуле Томсона:

$$\lambda = \frac{2\pi}{100} \sqrt{LC},$$

где λ — длина волны в *м*;
L — самоиндукция в *см*;
C — общая емкость контура в *см*;
$\pi = 3{,}14$.

$$\frac{2\pi}{100} = \frac{3{,}14 \times 2}{100} = \frac{6{,}28}{100} \approx 0{,}063.$$

$$\lambda\ м \approx 0{,}063 \sqrt{LC}.$$

При изучении различных свойств электромагнитных волн обнаружено, что некоторые волны заметно отличаются по своим свойствам от волн другой длины; на основе этих свойств электромагнитные волны, употребляемые в радиотехнике, подразделяются на следующие категории волн.

Распределение волн

Название волн	Длина волны в метрах	Частота в герцах
Длинные волны	3 000 и длиннее	10^5 и ниже
Средние волны	200—3 000	$1{,}5 \cdot 10^6$—10^5
Промежуточные волны . .	50—200	$5 \cdot 10^6$—$1{,}5 \cdot 10^6$
Короткие волны	10—50	$3 \cdot 10^7$—$5 \cdot 10^6$
Ультракороткие волны . .	1—10	$3 \cdot 10^8$—$3 \cdot 10^7$

Длинные, средние и промежуточные волны распространяются наиболее равномерно в окружающем пространстве. Они наименее подвержены резким изменениям в отношении силы приема со временем суток. Исключение составляет время восхода и захода солнца, когда сила сигналов кратковременно ослабевает.

Свойством длинных, средних и промежуточных волн является сравнительная легкость их получения при большой мощности.

Особенностью коротких волн является их свойство перекрывать большие расстояния при малых мощностях колебаний. На коротких волнах в отношении их распространения в большой степени сказывается время суток. Это различие между днем и ночью столь велико, что если днем на какой-либо волне нельзя перекрыть несколько сот километров расстояния, то на этой же волне при той же мощности ночью перекрываются расстояния в несколько тысяч километров. Короткие волны имеют так называемые зоны молчания, которые сводятся к тому, что на близком расстоянии к передатчику (несколько сот, а иногда и десятков километров) практически бывает невозможно обнаружить сигналы, в то время как эти же сигналы хорошо принимаются в местах, расположенных за тысячи километров.

Короткие волны в настоящее время широко используются для связи, тогда как ультракороткие волны только в последнее время начинают использовать как средство связи. Основным свойством ультракоротких волн следует считать распространение их по законам света. Обычно ультракороткая волна хорошо

принимается при небольших мощностях и в условиях прямой видимости. За линией прямой видимости (за горизонтом) слышимость пропадает совершенно. Только в некоторых случаях бывает возможен прием ультракоротких волн за линией прямой видимости.

Большие трудности в техническом отношении представляет собой получение ультракоротких волн большой мощности, но уже в данное время техника в этом отношении сделала большой шаг вперед.

Последнее время начинают находить применение волны короче 1 *м*, их называют дециметровыми волнами.

Получение электромагнитных волн той или иной длины связано с применением колебательных контуров как в передающих, так и в приемных устройствах радиостанций. Отсюда вытекает вся важность изучения явлений, происходящих в колебательном контуре, и освоение составных частей, входящих в этот контур.

Основных частей, входящих в колебательный контур и влияющих на его данные, три: емкость, самоиндукция и сопротивление контура.

52. КОНДЕНСАТОР

На рис. 135 изображены две металлические пластины *А* и *В*, разделенные между собой изолирующей средой — воздухом. К этим пластинам помощью двух соединительных проводников подключен источник постоянного тока с некоторым напряжением — батарея *Б*. Если от пластин отключим источник питания, напряжение между пластинами не исчезнет, а сохранится и после отсоединения от них проводников. В этом можно убедиться, если подключить к пластинам специальный вольтметр. Пластины *А* и *В* оказались заряженными некоторым электрическим зарядом, полученным от источника тока. Этот заряд на пластинах остается и после отключения источника тока.

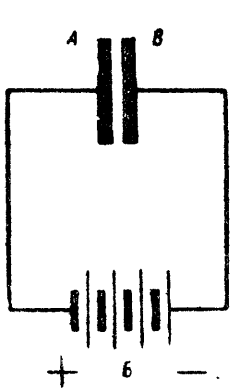


Рис. 135. *АВ*—конденсатор с подключенным к нему источником тока *Б*

Если эти две заряженные пластины замкнуть на какое-либо сопротивление, по цепи пройдет мгновенный ток, и напряжение между пластинами исчезнет.

Как мы уже знаем, такой прибор, в простейшем виде состоящий из двух металлических пластин (проводников), разделенных изолирующим слоем, и имеющий назначение вмещать, накапливать в себе электрические заряды, называется конденсатором.

Рассмотрим более подробно, что происходит в конденсаторе при подключении к нему источника тока и при замыкании его на какую-либо внешнюю цепь (сопротивление). До заряда между пластинами конденсатора никакого напряжения нет, и количество электронов как на одной, так и на другой пластинах одинаково. Как только подключим к конденсатору источник

тока, одна из пластин окажется подсоединенной к положительному полюсу батареи *Б*, другая — к отрицательному. Как следствие этого в конденсаторе произойдет некоторое перераспределение электронов. От пластины *А*, заряженной положительно, часть электронов уйдет через батарею на пластину *В*, и на пластине *В* произойдет увеличение электронов. Одна пластина окажется заряженной положительным электричеством, другая — отрицательным. Между пластинами возникнет электрическое поле. Линии электрического поля будут кончаться на поверхности пластин конденсатора. Между пластинами будет существовать той же величины напряжение, которое имеется на батарее *Б*.

Рассмотрим теперь, какие явления произойдут в заряженном конденсаторе, если к его пластинам подключим какой-либо проводник. Заряженные пластины окажутся между собой соединенными, и электроны, находящиеся в избытке на отрицательной пластине, устремятся по проводнику к положительной пластине. Произойдет перераспределение электронов, но уже в обратном порядке, т. е. та часть, которая ушла из положительной пластины на отрицательную при зарядке конденсатора источником тока, обратно возвращается на положительную пластину при соединении заряженных пластин конденсатора проводником. Как следствие обратного перераспределения электронов, мы имеем мгновенный ток по проводнику, исчезновение между пластинами электрического поля и падение напряжения до нуля. Конденсатор, говорят, разрядился.

Нам уже известно, что в каждом проводнике содержатся электроны, не связанные с ядрами атомов и могущие свободно передвигаться между атомами. Эти электроны обычно называются свободными электронами. Диэлектрик, как изолятор, свободных электронов почти не имеет. В нем электроны прикреплены неподвижно к ядрам своих атомов. При воздействии заряженных пластин конденсатора электроны диэлектрика, разделяющего пластины конденсатора, не могут оторваться от своих атомов, но, испытывая притяжение положительной пластины и отталкивание отрицательной, они *смещаются* относительно положения равновесия больше или меньше в зависимости от величины приложенного к пластинам напряжения.

При разряде конденсатора электроны возвращаются в положение равновесия, и смещение исчезает. Может быть и такой случай, что величина напряжения, приложенного к обкладкам конденсатора, окажется настолько большой, что силы, удерживающие электроны в пределах атома, окажутся недостаточными, и электроны устремятся к пластине, заряженной положительно. В этом случае произойдет *пробой* конденсатора. Диэлектрик теряет свои свойства как изолятор, и конденсатор окажется разряженным.

Нужно иметь в виду, что в природе не существует совершенного диэлектрика, в котором все электроны связаны с ядрами атомов. Хотя и очень медленно, но электроны могут перемещаться в изоляторах; иными словами, через диэлектрик будет

проходить очень слабый ток. Плохой диэлектрик вследствие присутствия в нем значительного количества свободных электронов можно рассматривать как плохой проводник. Вследствие этого стирается резкая граница между диэлектриком и проводником.

Применение плохих диэлектриков в конденсаторе обычно связано с большими потерями в нем энергии. Одновременно с этим ухудшается и качество колебательного контура, в который и входит такой конденсатор. Эти диэлектрические потери в конденсаторе являются наиболее опасными потерями в замкнутом колебательном контуре. Наиболее совершенным диэлектриком является воздух. Из твердых диэлектриков лучшими считаются специальные сорта слюды, кварца и стекла: у них наименьшее количество энергии заряженного конденсатора обращается на потери.

Следы грязи и влаги на диэлектрике сильно портят его качество и значительно повышают диэлектрические потери. Поэтому необходимо следить за чистотой конденсатора, чаще прочищать его и удалять следы всякой грязи.

53. ЕМКОСТЬ

Проделаем опыт с тем же конденсатором, что изображен на рис. 135, но источник тока на этот раз возьмем с напряжением вдвое большим, чем раньше. При подключении этого источника тока к конденсатору пластины *A* и *B* окажутся заряженными количеством электричества (зарядом) также вдвое большим. Это значит, что увеличению подводимого к конденсатору напряжения в два раза соответствует увеличение одновременно в два раза и количества электричества, скопляющегося на его пластинах. Увеличивая в три раза напряжение на зажимах конденсатора, мы получим соответственно и увеличение заряда на конденсаторе в три раза.

Следовательно, для данного конденсатора отношение количества электричества к напряжению есть величина постоянная. Эта постоянная величина, характеризующая способность данного конденсатора вмещать электрические заряды, называется емкостью его. Если взять тот же, что и раньше, источник тока с тем же напряжением, но подключить к нему другой конденсатор, который будет отличаться от первого большей поверхностью пластин, то окажется, что его пластины будут заряжены бо́льшим количеством электричества, чем пластины *A* и *B*. Этот конденсатор при том же напряжении способен вмещать на своих пластинах большие электрические заряды. Отношение количества электричества к напряжению, при котором он заряжается, для этого второго конденсатора будет выражаться постоянной величиной большей, чем для первого конденсатора. Поскольку мы уже ввели понятие о емкости, можно сказать, что емкость второго конденсатора больше емкости первого конденсатора.

Сравнивая два описанных выше опыта, можно заключить, что различные по величине конденсаторы способны по-разному вмещать в себя электрические заряды, или, иными словами, они обладают различной емкостью.

Емкость принято обозначать двумя короткими чертами (рис. 136), и, как выведено нами ранее, она может быть выражена так:

Рис. 136. Схематическое изображение конденсатора постоянной емкости

$$\text{емкость} = \frac{\text{количество электричества}}{\text{напряжение}}.$$

Единица емкости — фарада.

Единица эта очень большая, и на практике обычно ею не пользуются. Пользуются же обычно или единицей в 1 000 000 раз меньшей, чем фарада, — микрофарада, или же в 1 000 000 раз меньшей, чем микрофарада, — микромикрофарада. Очень распространенной единицей является сантиметр, который равен 0,9 микромикрофарады. В одной микрофараде содержится 900 000 *см*.

54. КОНДЕНСАТОРЫ ПОСТОЯННОЙ И ПЕРЕМЕННОЙ ЕМКОСТИ

Одним из распространенных типов конденсатора является плоский конденсатор. Он состоит из двух параллельных пластин, разделенных диэлектриком. Схематическое изображение такого конденсатора приведено на рис. 136.

Емкость такого плоского конденсатора будет зависеть от величины поверхности пластин, расстояния между ними и диэлектрика, разделяющего эти пластины. При этом емкость конденсатора тем больше, чем больше поверхность пластин и чем меньше расстояние между ними.

Толщина пластин на емкость никакого влияния не оказывает.

Емкость будет зависеть от того, из какого материала сделан диэлектрик в конденсаторе. Если, например, вместо воздуха поместить между пластинами слюду, то емкость такого конденсатора возрастет. Разные диэлектрики по-разному влияют на величину емкости конденсатора. Величина, показывающая, во сколько раз увеличивается емкость конденсатора при замене воздуха другим диэлектриком, называется диэлектрической постоянной. Очевидно, что чем больше диэлектрическая постоянная, тем больше емкость конденсатора.

На стр. 140 приводится табл. VIII диэлектрических постоянных для общеизвестных изоляторов.

Из этой таблицы видно, что при замене в конденсаторе воздуха слюдой емкость конденсатора возрастает в 4,5—5,5 раза в зависимости от сорта слюды.

От материала диэлектрика зависит также и величина пробивного напряжения. Измеряется она обычно количеством киловольт (1 000 вольт) на 1 *мм* толщины диэлектрика. Пробивное напряжение для твердых диэлектриков выше, чем для воздуха.

ТАБЛИЦА VIII

Диэлектрические постоянные

Наименование изолятора	Диэлектрическая постоянная	Наименование изолятора	Диэлектрическая постоянная
Воздух	1	Гертинакс	3—4
Парафин	2,3	Фарфор	3,4—6
Бумага	1,8—2,8	Слюда	4,5—5,5
Шеллак	2,6	Фибра	5,1—5,9
Эбонит	2—3	Прессшпан . . .	5,4—6,4
Миколекс	6—7	Текстолит	5—6
Стеатит	6,5		

Емкость плоского конденсатора выражается следующей формулой:

$$\text{емкость} = \frac{\text{площадь пластин} \times \text{диэлектрическая постоянная}}{12{,}56 \times \text{расстояние между пластинами}}$$

или

$$C = \frac{S \cdot \varepsilon}{12{,}56 \cdot d}.$$

Здесь площадь пластин S выражена в квадратных сантиметрах, расстояние между пластинами d — в сантиметрах, при этом емкость будет в сантиметрах.

Конденсаторы, у которых величина пластин и расстояние между ними не изменяются, называются конденсаторами постоянной емкости, так как емкость их остается все время неизменной. Конденсаторы, состоящие из двух пластин, обычно обладают небольшой емкостью, и для получения конденсатора с большой емкостью пришлось бы брать пластины слишком большой величины. Вследствие этого конденсатор получился бы слишком громоздким. Поэтому для получения больших емкостей обычно применяют не одну пару пластин, а несколько пар, соединенных параллельно в группы, причем каждая группа пластин является как бы одной обкладкой конденсатора. Схематическое изображение такого конденсатора показано на рис. 137.

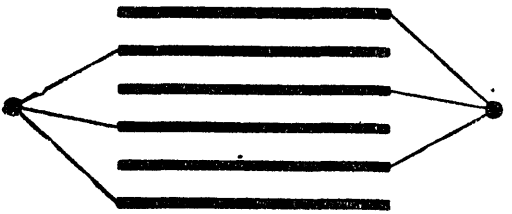


Рис. 137. Схематическое изображение конденсатора, составленного из нескольких пар пластин, соединенных параллельно

Иногда требуется получить большую емкость, располагая под руками несколькими конденсаторами малой емкости. Для этого соединяют конденсаторы параллельно. Схема соединения дана на рис. 138. При таком соединении их общая емкость будет равняться сумме всех входящих в соединение конденсаторов. Соединенные таким образом несколько конденсаторов мы можем

рассматривать как один конденсатор, у которого обкладки будут равны сумме поверхностей обкладок отдельных конденсаторов.

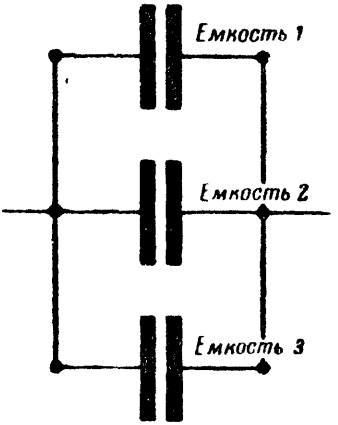


Рис. 138. Группа конденсаторов, соединенных параллельно

$$C = C_1 + C_2 + C_3,$$

где C — общая емкость;
C_1 — емкость первого конденсатора;
C_2 — емкость второго конденсатора;
C_3 — емкость третьего конденсатора.

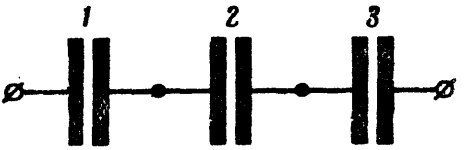


Рис. 139. Группа конденсаторов, соединенных последовательно

При параллельном соединении равных по емкости конденсаторов общая емкость их будет равна емкости одного конденсатора, помноженной на их число.

Иногда практикуется последовательное соединение конденсаторов (рис. 139). При таком соединении общая емкость всей группы конденсаторов не увеличивается, а становится меньше емкости самого меньшего из конденсаторов, входящих в эту группу.

Для двух соединенных последовательно конденсаторов общая емкость может быть определена так:

$$\text{общая емкость} = \frac{\text{емкость первая} \times \text{емкость вторая}}{\text{емкость первая} + \text{емкость вторая}}.$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2},$$

где C_1 и C_2 — емкости первого и второго конденсаторов.

Определим, например, общую емкость двух последовательно соединенных конденсаторов, емкость одного из которых равна 150 *см*, другого—100 *см*. Общая емкость их по приведенному соотношению равна произведению этих двух емкостей, разделенному на сумму их. Сделаем это:

$$\text{общая емкость} = \frac{150 \times 100}{150 + 100} = \frac{15\,000}{250} = 60 \text{ см}.$$

Общая емкость этих двух соединенных последовательно конденсаторов равна 60 *см*. Те же два конденсатора, но соединенные параллельно, дадут общую емкость, равную:

$$\text{общая емкость} = 150 + 100 = 250 \text{ см}.$$

Параллельное или последовательное соединение конденсаторов позволяет изменять емкость довольно грубо. Иногда же требуется плавное, непрерывное изменение емкости в определенных пределах. Как мы уже знаем, для изменения длины волны в колебательном контуре можно изменять емкость, входящую в этот контур. Дальше мы увидим, что во многих случаях требуется плавное изменение длины волны. Этого можно достичь плавным изменением емкости. Для этой цели применяются конденсаторы особой конструкции, которые называются конденсаторами переменной емкости. Наиболее распространенный тип конденсатора переменной емкости, допускающий плавное ее изменение, делается таким образом, что одна группа пластин остается неподвижной, а другая двигается (изменяя свое положение по отношению к неподвижным). Такой

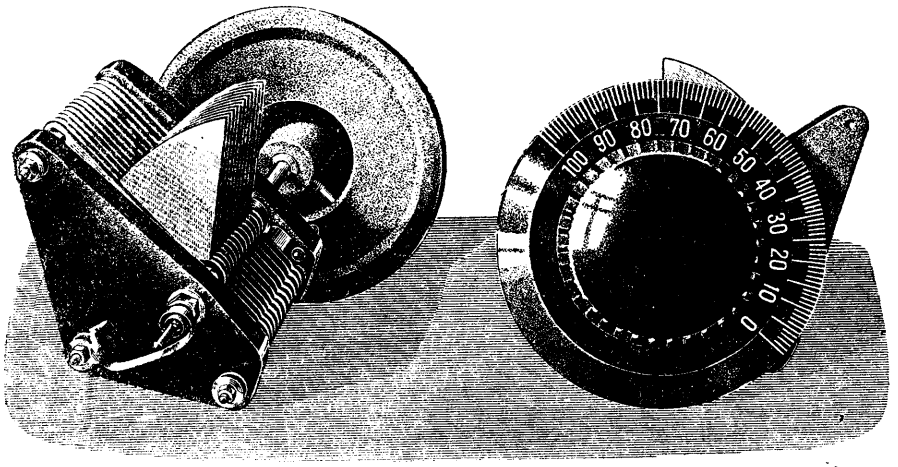


Рис. 140. Конденсатор переменной емкости

конденсатор приведен на рис. 140. Благодаря вращению группы подвижных пластин рабочая поверхность пластин изменяется, изменяя одновременно и емкость конденсатора. Реже встречаются конденсаторы переменной емкости, плавное изменение емкости которых достигается изменением расстояния между пластинами.

В качестве диэлектрика в конденсаторах переменной емкости обычно бывает воздух. Обусловлено это тем, что переменные конденсаторы применяются в колебательных контурах, где имеет место высокая частота. Применение твердых диэлектриков там нецелесообразно из-за тех больших потерь, которые они вносят в колебательный контур и тем самым ухудшают его качество. Эти потери связаны обычно с нагреванием диэлектрика, которое происходит вследствие того, что электроны в диэлектрике колеблются под действием переменного электрического поля и при трении об окружающие частицы создают теплоту.

Форма пластин конденсаторов переменной емкости бывает различна в зависимости от того, какой характер изменения емкости желают получить от конденсатора.

За последнее время на радиостанциях получил распространение электрический конденсатор, у которого в качестве диэлектрика содовый электролит. Электролитический конденсатор при небольших габаритах обладает большой емкостью.

Остается теперь рассмотреть, как будет вести себя конденсатор в электрической цепи. Таких случаев может быть два. Первый, когда конденсатор включен в цепь постоянного тока, и второй — в цепь переменного тока.

Для постоянного тока конденсатор представляет бесконечно большое сопротивление. Что происходит в этой цепи при замыкании конденсатора на источник постоянного тока, мы уже знаем из рассмотрения явлений, происходящих при заряде конденсатора. В этом случае мы имеем кратковременный ток, связанный с зарядом пластин конденсатора. После того как пластины зарядились, ток в цепи совершенно прекращается.

Более интересные явления получаются при включении конденсатора в цепь переменного тока. Так как напряжение в цепи будет все время изменяться, то соответственно и конденсатор все время будет заряжаться и разряжаться, причем заряд его будет происходить то в одном, то в другом направлении. Другими словами, в цепи переменного тока, имеющей конденсатор, будет все время циркулировать переменный ток.

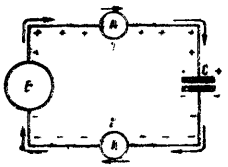


Рис. 141. Направление тока в цепи с конденсатором за первый полупериод

Действительно, если генератор переменного тока E включен на конденсатор C (рис. 141), то за первый полупериод одна обкладка конденсатора (допустим, верхняя) и присоединенный к ней провод будут заряжаться положительно, в то же время нижняя обкладка и провод будут заряжаться отрицательно. Это значит, что ток, протекая в направлении, указанном стрелками, постепенно достигнет наибольшего значения, затем начнет уменьшаться до нуля.

За второй полупериод произойдет перезарядка конденсатора: верхняя обкладка будет заряжаться отрицательно, а нижняя положительно, и ток, возрастая от нуля до наибольшего значения и затем уменьшаясь до нуля, потечет в направлении, обратном указанному стрелками на рис. 141.

Таким образом конденсатор будет непрерывно заряжаться то в том, то в другом направлении, и, значит, в цепи конденсатора будет существовать переменный ток, который может быть обнаружен амперметром.

Этот ток не будет проходить сквозь диэлектрик конденсатора, а перемещение электрических зарядов будет проходить в цепи до конденсатора и обратно.

Тепловые амперметры *1* и *2*, включенные в провода, идущие к конденсатору, покажут ток, тем больший, чем больше емкость

конденсатора и чем чаще происходит перезаряд конденсатора, т. е. чем выше частота переменного тока.

Разберем теперь, как будет влиять величина емкости конденсатора на силу тока в такой цепи. Мы уже знаем, что чем больше емкость конденсатора, тем большие электрические заряды принимает на себя конденсатор при определенном напряжении. Отсюда ясно, что зарядный ток конденсатора будет тем больше, чем больше емкость конденсатора. Следовательно, мы можем окончательно заключить, что сопротивление конденсатора в цепи переменного тока будет тем меньше, чем больше его емкость. Кроме того, сопротивление конденсатора будет зависеть еще и от частоты переменного тока. Чем больше частота в цепи, тем меньше сопротивление конденсатора. Итак, окончательно можно сказать, что сопротивление конденсатора тем меньше, чем больше его емкость и чем больше частота переменного тока.

Нужно, однако, иметь в виду, что сопротивление конденсатора переменному току, называемое емкостным сопротивлением, существенно отличается от сопротивления, рассмотренного в главе I, которое условимся называть омическим. Если при наличии омического сопротивления тратится некоторая энергия в виде нагревания проводов, то на емкостное сопротивление никакой энергии не тратится. Объясняется это тем, что ту энергию, которую конденсатор получает при заряде, он возвращает обратно при разряде. Такое сопротивление конденсатора переменному току называется безваттным (реактивным) сопротивлением; оно энергии не потребляет.

55. КАТУШКА САМОИНДУКЦИИ

Мы уже говорили, что если прямолинейный провод свернуть в виде спирали, то явления самоиндукции в нем усиливаются. Такая спираль в радиотехнике носит название катушек самоиндукции. Различные катушки обладают различным коэфициентом самоиндукции.

Коэфициент самоиндукции зависит только от геометрических размеров катушки и длины провода. На практике катушки самоиндукции встречаются самых различных форм и размеров, а также и способов намотки.

В колебательных контурах, т. е. там, где мы имеем дело с высокой частотой, применяются почти исключительно цилиндрические катушки и притом без железного сердечника, который дает большие потери энергии на него при высокой частоте. В условиях низкой частоты находят применение катушки с большим числом витков (несколько тысяч) и с железным сердечником. Железный сердечник может увеличивать самоиндукцию катушки в 100—200 раз.

Рассмотрим теперь, как ведет себя катушка самоиндукции в электрической цепи переменного тока. Когда по катушке протекает постоянный ток, то вокруг катушки имеется постоянное магнитное поле, и явления самоиндукции в ней наблюдаться

не будет. Влияние самоиндукции в цепи постоянного тока может иметь место только лишь при замыкании и размыкании цепи. Как это влияние будет происходить, мы уже рассматривали. В цепи постоянного тока катушка обладает лишь омическим сопротивлением. Другая картина получается, когда катушка включена в цепь переменного тока. Так как в этой цепи сила тока все время изменяется, то изменяется и магнитное поле вокруг катушки. Как следствие этого появится э. д. с. самоиндукции, и через катушку потечет более слабый ток, чем если бы она была включена в цепь постоянного тока. Таким образом для переменного тока катушка самоиндукции явится уже бо́льшим сопротивлением, чем омическое. Это дополнительное сопротивление, вносимое катушкой самоиндукции в цепи переменного тока, называется индуктивным сопротивлением.

Индуктивное сопротивление будет тем больше, чем больше частота переменного тока, проходящего через катушку, и чем больше коэфициент самоиндукции катушки. Иногда может оказаться, что индуктивное сопротивление будет значительно больше омического сопротивления. Индуктивное сопротивление выражается так же, как и омическое, в омах.

Теперь рассмотрим, каким требованиям должна удовлетворять катушка самоиндукции в условиях работы ее в колебательном контуре. В каждом колебательном контуре вредные потери энергии мы должны свести к возможно минимальной величине. Катушка самоиндукции, выполняя в контуре свое основное назначение, в то же время поглощает часть энергии, находящейся в этом контуре. Рассмотрим, какими потерями обладает катушка в цепи с высокой частотой. Каждый проводник обладает омическим сопротивлением для постоянного тока. Для его уменьшения обычно берут провод как можно толще. В то время как постоянный ток распределяется по всей толще проводника, переменный ток высокой частоты распределяется только по поверхности провода, и чем выше частота переменного тока, тем тоньше будет поверхностный слой проводника, по которому течет ток.

Это явление носит название скинэффекта (поверхностного эффекта). Вследствие уменьшения сечения проводника, по которому течет ток высокой частоты, сопротивление его сильно возрастает. Другой фактор, который влияет на сопротивление при высокой частоте, — это материал каркаса катушки. Чем выше частота (короче волна), тем сильнее будет это влияние, поэтому на коротких волнах часто делают катушки без каркаса из медной трубки или стремятся отдалить его от витков катушки. Наилучшие результаты дают каркасы, сделанные из специальной глины, микалекса[1], а также из 1-го сорта эбонита; наихудшие результаты дает текстолит.

Каждая катушка, обладая самоиндукцией, имеет еще собственную емкость, которая образуется между витками. Как видно из рис. 142, соседние витки можно рассматривать как

[1] Микалекс изготовляется из слюдяной крошки и цемента.

обкладки конденсаторов, диэлектриком которых служит изоляция провода или воздух. Собственная емкость катушки сильно увеличивает сопротивление катушки, поэтому витки ее кладут не рядом, а на некотором расстоянии друг от друга.

Наилучшей формой катушки будет однослойная цилиндрическая катушка. На коротких волнах, где нужна небольшая самоиндукция, такие катушки делать нетрудно. На длинных волнах, где нужна большая самоиндукция, однослойные катушки нужно делать или очень большие, или из очень тонкого провода. Большие катушки не применяются из-за своих габаритов, а катушки из очень тонкого провода имеют настолько большое сопротивление, что их преимущество, как однослойных катушек, теряется.

Поэтому на длинных волнах применяют многослойные катушки; наилучшие результаты дают катушки сотовые и многослойные секционные катушки (рис. 143). Многослойные секционные катушки проще в производстве, поэтому в последнее время они все более вытесняют сотовые катушки.

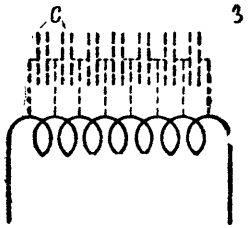


Рис. 142. Схема собственной емкости катушки

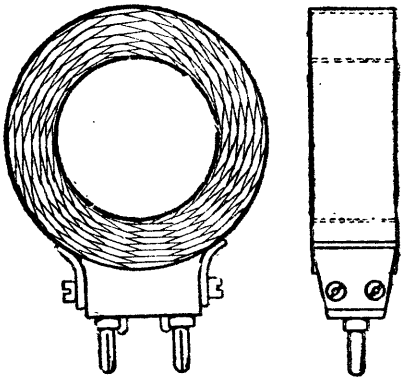


Рис. 143. Сотовая катушка

Таким образом мы установили, что катушка контура, помимо самоиндукции, обладает еще сопротивлением, причем это сопротивление для тока высокой частоты обычно значительно больше, чем сопротивление для постоянного тока, за счет собственной емкости и потерь в каркасе катушки.

В последние годы для катушек начали применять сердечник, состоящий из прессованного порошкообразного феррокарта (железо); такой сердечник сильно увеличивает самоиндукцию катушки и почти не увеличивает ее сопротивление.

Феррокарт применяется только на длинных и средних волнах, на коротких волнах он не дает заметного улучшения качества катушки.

Часто для уменьшения потерь в катушках последние выполняются из трубчатого провода, серебрятся или золотятся во избежание окисления трубки, которое сильно увеличивает сопротивление катушки. Для той же цели при намотках катушек применяют многожильные проводники, состоящие из тонких жилок, изолированных друг от друга. Последний способ непри-

меним, однако, при коротких волнах, так как в изоляции этих жилок начинают сильно проявляться так называемые диэлектрические потери.

Если самоиндукция является неотъемлемой частью колебательного контура и используется в нем для получения электрических колебаний различной частоты, то бывают случаи, когда явление самоиндукции приносит вред и его приходится устранять. Это нужно, например, в том случае, когда желают избавиться от индуктивного сопротивления катушки, оставив одно омическое.

В этих случаях применяют особый способ намотки провода, который называется бифилярной намоткой. Провод, из которого предполагают делать намотку, перегибают посредине вдвое (рис. 144); вследствие этого направление токов в каждой половине этой пары будет различно, т. е. токи будут направлены друг другу навстречу; так как направление магнитного поля вокруг проводника зависит от направления тока в проводнике, то два направленных друг другу навстречу магнитных потока уничтожают друг друга. Таким образом такой проводник, сложенный вдвое, не имеет магнитного поля, а потому не имеет и самоиндукции. Намотка такой катушки производится от сгиба проводника двумя концами одновременно.

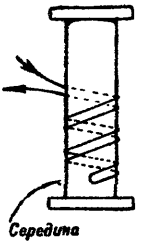


Рис. 144. Бифилярная намотка (безиндукционная)

Катушки самоиндукции, так же как и всякие проводники, можно соединять последовательно и параллельно. При последовательном соединении двух или более катушек (рис. 145) общий коэфициент самоиндукции их увеличивается и становится равным сумме коэфициентов самоиндукции соединяемых катушек:

$$L=L_1+L_2.$$

Увеличение коэфициента самоиндукции в этом случае происходит за счет того, что при последовательном соединении мы

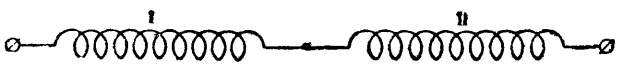


Рис. 145. Схема последовательного соединения катушек

увеличиваем общее число витков, за счет чего и увеличивается общая самоиндукция. При этом следует оговориться, что те выводы, какие мы будем делать как при последовательном, так и при параллельном соединении, остаются верными только при том условии, что катушки самоиндукции друг от друга удалены на такое расстояние, что их магнитные поля между собой не взаимодействуют.

При параллельном соединении нескольких катушек самоиндукции (рис. 146) общая самоиндукция уменьшается и становится меньше, чем самая малая из самоиндукций.

При параллельном соединении двух катушек общая самоиндукция будет равна произведению этих двух самоиндукций, разделенному на сумму их:

$$L = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2},$$

где L — общий коэфициент самоиндукции;
L_1 — коэфициент самоиндукции первой катушки;
L_2 — коэфициент самоиндукции второй катушки.

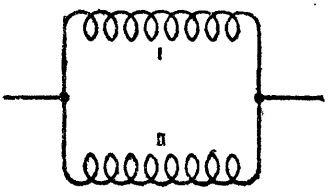


Рис. 146. Схема параллельного соединения катушек

Общая самоиндукция нескольких одинаковых катушек самоиндукции, соединенных параллельно, равна самоиндукции одной катушки, разделенной на число их.

Определим общую самоиндукцию двух катушек, из которых одна имеет самоиндукцию, равную 80 микрогенри, а другая — 20 микрогенри, и соединенных параллельно:

$$\text{самоиндукция} = \frac{80 \times 20}{80 + 20} = \frac{1\,600}{100} = 16 \text{ микрогенри}.$$

Общая самоиндукция равна 16 микрогенри, т. е. меньше самоиндукции меньшей катушки (20 микрогенри).

При последовательном соединении этих же катушек общая самоиндукция будет равна:

$$\text{самоиндукция} = 80 + 20 = 100 \text{ микрогенри}.$$

Последовательное и параллельное соединения катушек, позволяющие с помощью двух катушек довольно грубо изменять величину самоиндукции, применяются довольно часто в приемниках при переходе с приема длинных волн на короткие и обратно. Осуществляется это включением в колебательный контур двух катушек, причем при постановке переключателя на длинные волны обе катушки в контуре соединяются последовательно, общая самоиндукция увеличивается, и как следствие этого увеличивается длина волны контура. При постановке переключателя на прием коротких волн катушки переключаются параллельно, общая самоиндукция уменьшается, и соответственно уменьшается длина волны контура. Существует еще другой способ грубого изменения самоиндукции. Основан он на применении катушки самоиндукции, имеющей от некоторых мест отводы (рис. 147). Отводы заканчиваются контактами, по которым ходит ползунок. Получается катушка, разбитая отводами на ряд секций, соединенных как бы последовательно. Вращая ползунком по контактам и включая тем самым большее или меньшее количество секций, мы тем самым грубо увеличиваем

или уменьшаем самоиндукцию. Такая катушка, допускающая скачковое изменение самоиндукции, называется секционированной катушкой. Она имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что при включении неполностью (как показано на рис. 147) она имеет „мертвый" конец *Б*, влияющий вредно на колебательный контур. Вследствие этого такая катушка не может найти применения на коротковолновых установках. Применяется еще другой способ изменения самоиндукции, ничем собственно не отличающийся от только что описанного, но допускающий более плавное изменение самоиндукции (рис. 148). Эта плавность достигается тем, что ползунок скользит по виткам катушки и позволяет изменять самоиндукцию очень небольшими скачками.

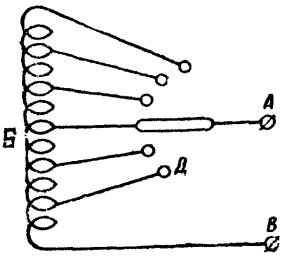


Рис. 147. Секционированная катушка самоиндукций: *А* и *В* — клеммы подключения катушки, *Д* — ползунок, *Б* — „мертвый" конец

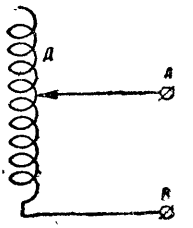


Рис. 148. Катушка для плавного изменения самоиндукций: *Д* — ползунок

56. ВЗАИМОИНДУКЦИЯ

Электродвижущая сила самоиндукции образуется, как известно, в катушке за счет изменения собственного магнитного потока. Если рядом с такой катушкой расположить другую катушку и так, что на нее будет действовать изменяющийся магнитный поток первой катушки, то во второй катушке будет наводиться э. д. с., носящая название э. д. с. взаимоиндукции. Про катушки же говорят, что они обладают взаимоиндукцией. Степень воздействия одной катушки на другую будет зависеть от скорости изменения магнитного потока и коэфициента взаимоиндукции. Взаимоиндукция измеряется теми же единицами, что и самоиндукция.

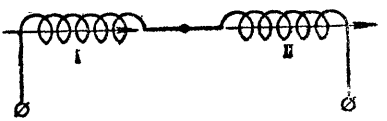


Рис. 149. Схема включения двух катушек последовательно, когда магнитные поля их складываются

Выше мы видели, что общая самоиндукция нескольких последовательно соединенных катушек будет равна сумме отдельных самоиндукций, если они расположены далеко друг от друга и магнитные поля их не взаимодействуют. Если катушки сблизить так, чтобы магнитные поля их взаимодействовали, между ними появится взаимоиндукция; при этом магнитные поля их могут складываться или вычитаться одно из другого. Когда катушки намотаны и соединены в одинаковом направлении (рис. 149), то магнитные поля складываются и общая самоиндукция их становится больше. Коэфициент общей самоиндукции в этом случае

будет равен сумме коэфициентов самоиндукции обеих катушек плюс удвоенный коэфициент взаимоиндукции.

При направлении магнитных полей навстречу друг другу, что будет, если мы повернем одну из катушек на 180° (рис. 150), магнитное поле уменьшается, и соответственно уменьшится общий коэфициент самоиндукции. Он будет равняться сумме коэфициентов самоиндукции этих двух катушек, уменьшенной на удвоенный коэфициент взаимоиндукции.

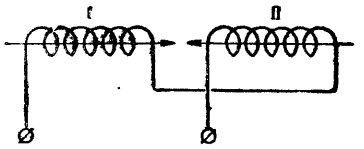


Рис. 150. Катушка II повернута на 180°. Поля направлены друг другу навстречу

Когда одна катушка будет повернута на 90° по отношению к другой, мы получаем такое положение, что магнитные поля их не влияют друг на друга. В таком случае общая самоиндукция окажется равной только сумме самоиндукций катушек.

Имея две катушки, соединенные последовательно, и поворачивая одну катушку относительно другой, мы можем изменять общую самоиндукцию цепи. На этом принципе основано изготовление прибора, позволяющего достаточно плавно изменять самоиндукцию. Называется он вариометром. Конструкции вариометров бывают самые различные. В простейшем виде ва-

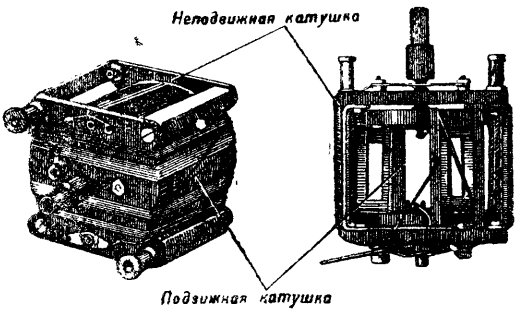


Рис. 151. Вариометр

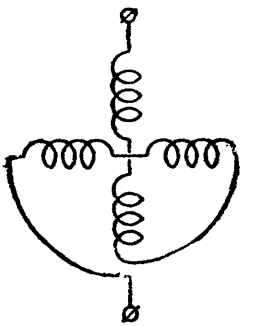


Рис. 152. Схематическое изображение вариометра

риометр представляет собой две цилиндрические катушки, из которых одна неподвижна, а другая вращается внутри первой (рис. 151). Изменяя положение подвижной катушки относительно неподвижной катушки, мы изменяем взаимодействие магнитных полей обеих катушек и тем самым изменяем общую самоиндукцию вариометра.

Наибольшей самоиндукцией вариометр будет обладать тогда, когда плоскости обеих катушек будут совпадать и направление магнитных потоков будет складываться. Наименьшую самоиндукцию вариометр будет иметь тогда, когда повернем катушку на полоборота (180°) от предыдущего положения. В этом случае магнитные поля будут направлены друг другу навстречу.

Средние значения самоиндукции вариометра будут между двумя описанными крайними положениями катушек вариометра. Схематическое изображение вариометра показано на рис. 152.

Вариометр находит широкое применение в колебательных контурах как в передатчиках, так и в приемниках для плавного изменения длины волны колебательного контура.

57. РЕЗОНАНС

Многим известно, что при прохождении воинской части по мосту итти в ногу запрещается, чтобы не повредить моста. Если мост получит толчок, он начнет раскачиваться, причем раскачивания эти могут быть незаметны для глаза. Частота этих раскачиваний остается всегда одной и той же, какова бы ни была природа первоначального толчка; иначе говоря, мост начнет колебаться собственной частотой.

Если теперь вместо единственного толчка мост будет испытывать ряд толчков через определенные промежутки времени таким образом, что число толчков в секунду будет равно числу собственных колебаний моста в секунду, то мост начнет раскачиваться (колебаться) сильнее, даже и тогда, когда толчки эти будут слабые. Такие толчки незначительной силы могут раскачать мост настолько сильно, что он рухнет. Здесь имеет место явление так называемого резонанса, который заключается в том, что частота вынужденных колебаний в точности соответствует частоте собственных колебаний колеблющегося тела. При прохождении воинской части по мосту не в ногу исключается возможность толчков с периодичностью, равной собственной частоте моста, т. е. исключается возможность явления механического резонанса. Пример механического резонанса можно наблюдать, рассматривая движение качелей, где качающийся равномерными толчками своего тела приводит в движение качели. Если период собственного колебания качелей такой же, как и периодичность толчков, то амплитуда колебания будет постепенно увеличиваться и сможет в результате достигнуть большого значения. При толчках, встречных направлению движения, качели очень легко остановить.

Так же как и при механических колебаниях, в случае электрических колебаний может иметь место явление резонанса. Суть электрического резонанса заключается в том, что если на электрическую цепь (контур), содержащую емкость и самоиндукцию и, следовательно, обладающую определенным периодом колебаний, действовать внешней э. д. с. с тем же периодом, то можно сравнительно небольшой э. д. с. возбудить в контуре электрические колебания.

Выше мы рассматривали, как в колебательном контуре возникают электрические колебания, когда мы даем ему некоторый электрический толчок, давая заряд конденсатору, входящему в этот контур. Возникающие благодаря этому колебания называются **свободными колебаниями**. Они происходят в контуре, предоставленном самому себе, т. е. энергия к кон-

туру не подводится и никакие причины извне на него не действуют. Частота колебания, получающаяся при этом в контуре, будет зависеть исключительно от емкости и самоиндукции колебательного контура. Спустя короткий промежуток времени, эти свободные колебания затухнут, затратив всю энергию на потери в контуре. Эти потери, в основном, распределяются на диэлектрические потери в конденсаторе, на потери нагревания проводов и ряд других.

Рассмотрим другой случай, когда в контуре будут не свободные колебания, а на контур будет оказывать воздействие внешний источник электрических колебаний с определенной частотой. На рис. 153 изображен замкнутый колебательный контур, состоящий из катушки *1* самоиндукции и конденсатора переменной емкости *C*. Контур индуктивно связан с катушкой *2* источника электрических колебаний, по которой, допустим, протекает переменный ток с частотой 500 килогерцев.

Катушка *2* будет индуктировать в колебательном контуре электрические колебания тоже с частотой 500 килогерцев. Появившиеся в колебательном контуре электрические колебания с частотой 500 килогерцев будут навязанными, или вынужденными, колебаниями, в отличие от ранее рассмотренных свободных колебаний, частота которых определялась только элементами самого контура. О величине амплитуды вынужденных колебаний в контуре мы можем судить по прибору *A*, включенному в этот контур.

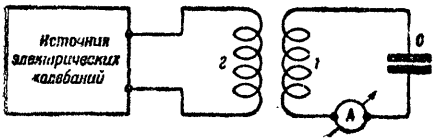


Рис. 153. Случай получения в контуре вынужденных колебаний: *A* — тепловой прибор

Рассмотрим, как будет изменяться величина амплитуды вынужденных колебаний в контуре при изменении собственной частоты контура. С помощью конденсатора переменной емкости *C* будем плавно изменять собственную частоту контура и одновременно с этим будем следить за показанием прибора. По мере того как собственная частота контура будет приближаться к частоте, равной 500 килогерцам, амплитуда колебаний в контуре будет возрастать. В тот момент, когда величина собственной частоты контура достигнет 500 килогерцев, т. е. совпадет с частотой источника электрических колебаний, прибор покажет наибольший ток. Говорят, что в этот момент наступил резонанс, т. е. колебательный контур оказался настроенным в резонанс с возбудителем — источником электрических колебаний.

Явление резонанса, очень широко используемое как в передающих, так и в приемных устройствах радиостанции, является основой всей радиотехники.

Рассмотрим более подробно все явления, происходящие при резонансе.

Амплитуда вынужденных колебаний в контуре в момент резонанса достигает наибольшего значения. Происходит это

потому, что при резонансе сопротивление контура для токов высокой частоты становится наименьшим и равным только омическому сопротивлению. Поэтому, для того чтобы получить в контуре в момент резонанса амплитуду вынужденных колебаний как можно больше, стремятся делать омическое сопротивление контура как можно меньшим.

Проделывая только что описанный опыт, мы имели возможность при нескольких положениях переменного конденсатора колебательного контура, соответствующих различным частотам его, заметить по прибору величины токов в контуре. Зависимость тока от частоты мы можем изобразить на бумаге. Для этого (рис. 154) по горизонтальной оси будем откладывать величины собственной частоты контура, а по вертикальной — величину тока контура при разных частотах. Соответственно различным положениям переменного конденсатора откладываем по горизонтальной оси известные нам для каждого положения конденсатора собственные частоты контура в виде точек. Около каждой точки поставим величины этих частот. Для каждой из этих частот контура против нанесенных точек откладываем на вертикальных линиях соответствующие им величины тока в контуре. Для частоты 470 килогерцев эта амплитуда будет соответствовать точке *1*, для частоты 490 килогерцев — *3* и т. д. Величина тока контура для каждой определенной частоты определяется по прибору. Получив ряд точек, соединяем их сплошной линией. Получится некоторая кривая, которая называется кривой резонанса.

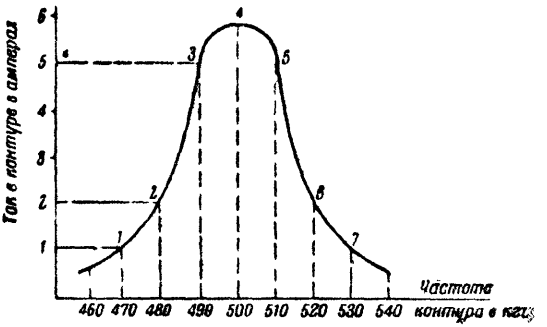


Рис. 154. Кривая резонанса для колебательного контура

В момент, когда собственная частота контура сильно разнится от резонансной частоты, что соответствует, например, частоте 470 килогерцев, амплитуда тока вынужденных колебаний мала (точка *1*). По мере приближения собственной частоты контура к резонансной частоте амплитуда тока вынужденных колебаний растет, и в момент резонанса она достигает максимального значения (точка *4*). Увеличивая далее частоту контура и удаляясь от резонансной частоты, амплитуда тока вынужденных колебаний будет уменьшаться, достигая точки *7*. Если тем же способом снять кривую резонанса для другого контура, имеющего сопротивление (затухание) меньшее, чем у контура, ранее описанного, мы получили бы кривую резонанса, которая по форме будет отличаться от полученной ранее.

На рис. 155 показаны две такие кривые. Кривая *I* для контура с большим сопротивлением (затуханием), кривая *II*—с меньшим. Сравнивая эти две кривые, мы видим, во-первых, что амплитуда

кривой *II* в момент резонанса будет больше. Объясняется это тем, что сопротивление этого контура меньше. Такой контур будет сильнее отзываться на воздействие внешней э. д. с. в момент резонанса, будет чувствительнее к воздействию ее. Во-вторых, кривая *II* о с т р е е кривой *I*. Благодаря большему затуханию первого контура кривая *I* имеет т у п о й горб, и амплитуда вынужденных колебаний в момент резонанса меньше, чем у кривой *II*.

Сравнение этих двух кривых резонанса для двух различных по затуханию контуров приводит к заключению, что кривая *II* контура с малым затуханием выгодно отличается от контура с большим затуханием.

Кроме уже рассмотренных преимуществ кривой *II* перед кривой *I*, кривая контура с меньшим затуханием показывает, что ослабляется воздействие на колебательный контур внешних э. д. с. иной частоты, или, другими словами, на контур слабее будут воздействовать всякие другие электрические колебания, кроме тех, на которые он сам настроен. Это наглядно видим на рис. 155. В тот момент, когда ток контура с малым затуханием падает до минимального значения (точка *2*, соответствующая частоте 480 килогерцев на кривой *II*), в контуре с большим затуханием (кривая *I*) он имеет еще достаточную величину. Вследствие этого, если имеется мешающее действие другого возбудителя, работающего с частотой 480 килогерцев, в контуре с малым затуханием эта помеха скажется слабее, чем в контуре с большим затуханием.

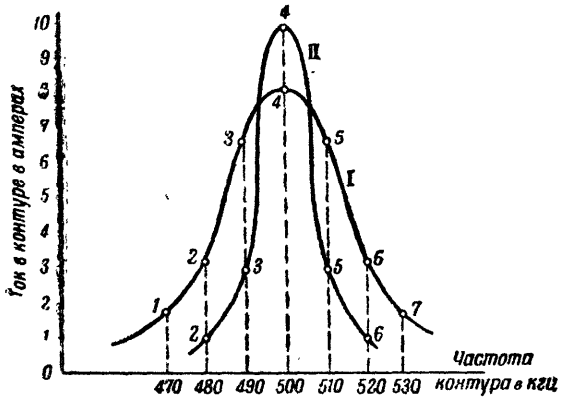


Рис. 155. Кривые резонанса для двух контуров с разным сопротивлением (затуханием), кривая *I* — контур с большим затуханием, кривая *II* — контур с меньшим затуханием

Таким образом все положительные качества на стороне контура, имеющего кривую *II*, т. е. контура с малым затуханием. Поэтому почти всегда стремятся создавать колебательные контуры с наименьшим сопротивлением.

Одним из важных факторов, влияющих на увеличение затухания колебательных контуров, как нам уже известно, является омическое сопротивление. Кроме омического сопротивления, на затухание контура влияют также емкость и самоиндукция, входящие в колебательный контур, причем емкость увеличивает затухание контура, а самоиндукция, наоборот, уменьшает затухание. Величина, учитывающая влияние сопротивления (омического), емкости и самоиндукции на затухание колебательного контура, называется д е к р е м е н т о м з а т у х а н и я контура.

Декремент затухания контура будет тем больше, чем больше омическое сопротивление и емкость и чем меньше самоиндукция. Поэтому в колебательном контуре берут такое соотношение между емкостью и самоиндукцией, чтобы катушка была с возможно большей самоиндукцией, а конденсатор — с возможно малой емкостью.

Из механических колебаний нам известно, что колеблющийся маятник может долго колебаться, если он не испытывает больших сопротивлений. Стоит только поместить колеблющийся маятник в воду, как его колебания немедленно прекратятся. Раскачать такой маятник в воде также не удастся, так как вода явится для него слишком большим сопротивлением.

Подобные явления происходят с электрическими колебаниями в колебательном контуре. Если мы включим в колебательный контур значительное омическое сопротивление, мы можем в нем электрических колебаний и не получить. Есть предел сопротивления, выше которого электрические колебания в контуре не возникают. Такая цепь становится а п е р и о д и ч е с к о й, т. е. неспособной к электрическим колебаниям. Конечно, такая цепь собственной частоты колебаний иметь не будет.

Помимо омического сопротивления и емкости, увеличивающих декремент затухания контура, на увеличение затухания контура влияет еще и ряд других причин:

а) присутствие вблизи катушки контура всевозможных металлических предметов;

б) применение каркаса катушки из плохого изолятора;

в) наличие плохих, непропаянных контактов.

Все эти причины сильно ухудшают качество колебательного контура.

58. СВЯЗЬ МЕЖДУ КОНТУРАМИ И РАЗЛИЧНЫЕ ВИДЫ СВЯЗИ

В радиотехнике нам приходится часто сталкиваться с необходимостью передачи энергии из одного колебательного контура в другой. Рассмотрим два таких колебательных контура, настроенных в резонанс (рис. 156). В одном из этих контуров *I* имеются электрические колебания. Если другой контур *II* удален достаточно далеко, то первый колебательный контур на него никакого влияния оказывать не будет. Взаимоиндукция в этом случае равна нулю. Если же эти два контура сблизить на такое расстояние, что между ними будет существовать взаимоиндукция, то в этом случае будет происходить передача энергии из первого колебательного контура во второй. Про такие контуры говорят, что они с в я з а н ы между собой.

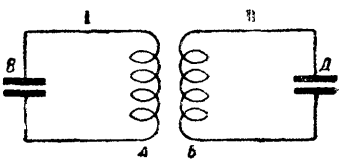


Рис. 156. Индуктивная связь двух контуров

Удаляя или приближая контур *II* по отношению к контуру *I*, мы будем изменять величину взаимоиндукции между этими

двумя контурами и тем самым будем изменять величину связи между ними. Из этого мы можем сделать заключение, что величина связи между двумя колебательными контурами будет характеризоваться взаимоиндукцией между ними.

Проследим теперь, каким образом величина связи между контурами будет способствовать передаче энергии из одного контура в другой. На первый взгляд может казаться, что наиболее интенсивная передача энергии из одного контура в другой будет происходить тогда, когда связь между контурами самая сильная. На самом же деле это не так. Как очень слабая связь, так и очень сильная не дают наивыгоднейших условий для передачи энергии из одного контура в другой.

Принято различать несколько степеней связи. В случае, если второй контур настолько удален от первого, что даже с помощью очень чувствительных приборов невозможно обнаружить наличие электрических колебаний во втором контуре, такую связь называют очень слабой. При слабой связи принято считать, что первый контур оказывает воздействие на второй, а воздействие второго на первый практически незаметно. При дальнейшем увеличении связи между контурами картина будет изменяться в том отношении, что налицо будет не только воздействие первого контура на второй, но и обратное явление, т. е. начнет увеличиваться влияние второго контура на первый. При сильной связи энергия, передаваемая из первого контура во второй, благодаря воздействию второго контура на первый будет обратно переходить в первый контур. Кроме этого, при сильной связи между контурами влияние вторичного контура сказывается в увеличении декремента затухания первого контура и изменяет собственную частоту его. Вследствие этого при сильной связи кривая резонанса будет иметь 2 горба (2 максимума). Это значит, что контуры в таком случае резонируют не на одну определенную волну, а на две, разнящиеся друг от друга.

Наивыгоднейшие условия передачи энергии из одного колебательного контура в другой будут при некоторой строго определенной связи. Такая связь называется оптимальной связью. Она будет различной для разных контуров и для различных частот. Связь между двумя колебательными контурами может осуществляться различными способами. Здесь мы опишем лишь наиболее употребительные.

Если один контур будет оказывать воздействие при помощи магнитного потока катушки самоиндукции на катушку другого контура, то такой вид связи называется индуктивным. На рис. 156 изображены два таких контура, связанных индуктивно. Очевидно, что в этом случае передача энергии из одного контура в другой будет происходить за счет взаимоиндукции между катушками. Чем больше взаимоиндукция между ними, тем больше связь между контурами.

Следующим употребительным видом связи контуров будет такой, у которого оба контура будут иметь общую катушку самоиндукции (рис. 157). Такая связь называется автотранс-

форматорной. Катушка *А* связывает между собой оба контура и является катушкой связи. Связь, осуществляемая посредством сопротивления, называется гальванической (рис. 158). В этом случае колебания первого контура пере-

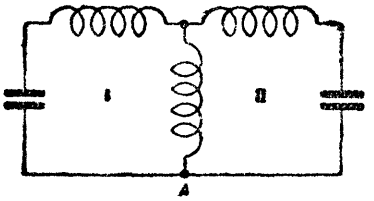


Рис. 157. Автотрансформаторная связь двух контуров: *А* — катушка связи

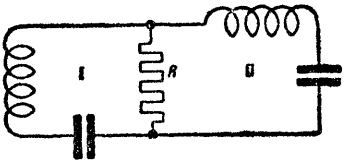


Рис. 158. Гальваническая связь двух контуров: *R* — сопротивление связи

даются во второй за счет изменения напряжения на сопротивлении. И, наконец, способ связи контуров посредством конденсатора называется емкостным (рис. 159).

Величина связи между контурами в этом случае будет определяться величиной емкости конденсатора *А*.

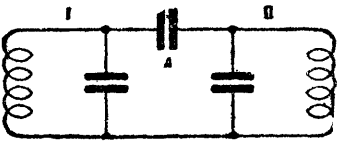


Рис. 159. Случай емкостной связи двух контуров: *А* — конденсатор связи

Связь будет тем меньше, чем меньше емкость конденсатора,—и наоборот. Конденсатор *А* регулирует доступ энергии из первого контура во второй и тем самым изменяет величину связи между ними. Уменьшая емкость, мы увеличиваем сопротивление конденсатора и тем самым уменьшаем величину тока, ответвляющегося во *II* контур; следовательно, энергия, переходящая из *I* контура во *II*, будет тем меньше, чем меньше емкость конденсатора *А*.

Существуют и другие виды связи, но все они сводятся к различному применению перечисленных способов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. В чем сущность явления механического резонанса?
2. Какие колебания называют затухающими?
3. Что называют электромагнитным колебанием?
4. Что называют длиной электромагнитной волны?
5. Какая зависимость длины волны от емкости и самоиндукции контура?
6. Что называют емкостью?
7. Что называют конденсатором?
8. Как выполняется катушка самоиндукции?
9. Какими единицами измеряют емкость и самоиндукцию?
10. Что такое взаимоиндукция?
11. Назовите условие, при котором колебательные контуры будут настроены в резонанс.
12. Какие виды связи между контурами имеют применение в войсковых радиостанциях?
13. Что называется вариометром и где он применяется?

14. Для чего нужен конденсатор переменной емкости?
15. Что такое декремент затухания контура?
16. Как влияет затухание контура на остроту настройки контура и кривую резонанса?

ГЛАВА VII

АНТЕННА

59. ОТКРЫТЫЙ КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР

До сих пор мы имели дело с замкнутым колебательным контуром (рис. 160), образованным из конденсатора *1* и катушки *2*. Вся емкость контура сосредоточена в конденсаторе, а вся самоиндукция—в катушке. Такой контур называется замкнутым контуром с сосредоточенными постоянными.

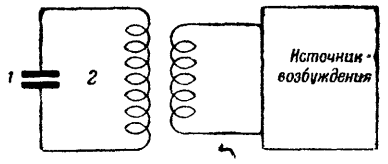


Рис. 160. Замкнутый контур

Посмотрим, что произойдет, если мы будем раздвигать обкладки конденсатора (рис. 161, *а*). По мере увеличения расстояния между обкладками емкость конденсатора, как известно, убывает. Для того чтобы при раздвигании пластин избежать уменьшения емкости, будем соответственно увеличивать площадь обкладок таким образом, чтобы емкость конденсатора осталась прежней. Способность контура колебаться зависит только от величины его емкости, самоиндукции и сопротивления. Следовательно, в данном контуре колебания будут продолжаться, если мы сохраним эти величины без изменения. Длина волны контура, т. е.

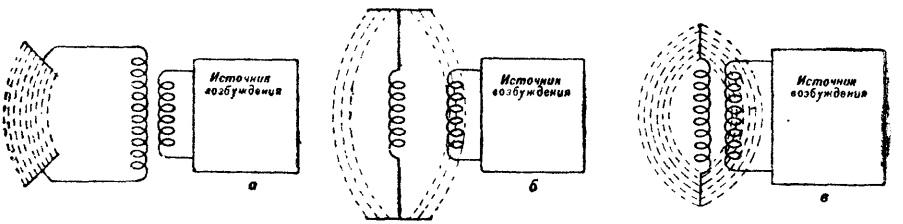


Рис. 161. Преобразование замкнутого контура в открытый колебательный контур

его частота, при этом также останется прежней, так как волна определяется величинами емкости и самоиндукции. Предельное положение пластин показано на рис. 161, *б*. В этом случае мы получили открытый колебательный контур.

Произведем дальнейшее преобразование контура. Заменим пластины конденсатора прямым проводом достаточной длины (рис. 161, *в*). Чем больше была емкость конденсатора, тем больше

должна быть длина провода, заменившего его. Эта замена также не уничтожит способности контура колебаться. Полученный колебательный контур называется симметричным вибратором, диполем или симметричной антенной.

Полученный открытый колебательный контур мы можем подвергнуть дальнейшим преобразованиям. Отрежем от него половину и присоединим оставшуюся часть к земле (рис. 162). Полученная система называется заземленной антенной и также сохраняет способность колебаться.

Вместо заземления в полевых радиостанциях применяют противовес. Противовес имеет вид сетки. Натягивается он на столбах высотой 2—2,5 *м* на мощных радиостанциях и на высоте 0,5—1 *м* на маломощных радиостанциях. Расстояние его от поверхности земли на всем его протяжении должно быть одинаково. Расстояние между проводами берется от 0,5 до 1,5—2 *м*. Противовес крепится на изоляторах хорошего качества. Продольные и поперечные его провода спаиваются. На полевых радиостанциях противовес имеет вид такой же, как и горизонтальная часть антенны. Он состоит из нескольких проводов, укрепленных на изоляторах к реям. Натягивается противовес между мачтами, на которых подвешена антенна. Часто применяется противовес, образованный из нескольких проводов, расходящихся от средней точки в виде лучей. Этот вид противовеса применяется при вертикальных антеннах. Необходимость применения противовеса обусловливается трудностью устройства заземления в полевых радиостанциях. Сочетание антенны с противовесом или заземлением называется радиосетью.

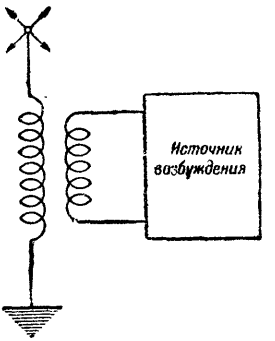


Рис. 162. Заземленная антенна

Если мы подведем к антенне электрическую энергию высокой частоты, то возникающие в ней колебания будут гораздо сложнее колебаний замкнутого контура. Сравним между собой замкнутый и открытый колебательные контуры. Как уже указывалось, в замкнутом контуре емкость сосредоточена в его конденсаторе, а самоиндукция — в катушке. Емкость и самоиндукция антенны не сосредоточены в какой-нибудь определенной точке ее, а распределены по всей ее длине. Каждый участок длины провода антенны обладает, следовательно, некоторой емкостью и самоиндукцией.

В какую бы точку замкнутого контура мы ни включили амперметр, показания его будут одинаковы. Напряжение на конденсаторе замкнутого контура в точности равно напряжению на концах его катушки.

Измеряя ток и напряжение вдоль антенны, мы обнаружим, что в разных точках ее она имеет различную величину. Если, например, антенна незаземленная (рис. 161, *в*) и настроена в резонанс с частотой возбудителя, то наибольшую величину ток

имеет в середине ее, а на концах он равен нулю. Напряжение же, наоборот, имеет наибольшую величину на концах антенны, а в середине ее оно равно нулю.

Вся энергия, сообщенная замкнутому колебательному контуру, при колебаниях переходит из энергии электрического поля в энергию магнитного и обратно, все время сосредоточиваясь в контуре. На значительном расстоянии от контура мы энергии не обнаружим. Открытый же колебательный контур (антенна) при возбуждении в ней колебаний высокой частоты обладает способностью выбрасывать, излучать в пространство электромагнитные волны, и мы можем обнаружить эти волны на очень больших расстояниях от излучающей антенны. На этом свойстве основана вся радиосвязь. Передатчик вырабатывает энергию высокой частоты, которая подводится к антенне. Антенна излучает (выбрасывает) эту энергию. Таким образом назначение антенны — излучать электромагнитную энергию в пространство.

Энергия излучается антенной не непрерывным потоком, а отдельными порциями, зернами, подобно вылету пуль из пулемета. Число зерен в секунду тем больше, чем выше частота тока, протекающего по антенне, т. е. чем короче излучаемая волна. Число таких отдельных порций энергии, вылетающих из антенны в 1 секунду, равно двойному числу периодов колебаний тока в секунду. Такие порции (зерна) энергии называются квантами.

60. ЕМКОСТЬ, САМОИНДУКЦИЯ И СОБСТВЕННАЯ ДЛИНА ВОЛНЫ АНТЕННЫ

Как уже указывалось, антенна обладает распределенными по ее длине емкостью и самоиндукцией.

Емкость и самоиндукция антенны, так же как и в замкнутом контуре, определяют частоту ее колебаний. Чем больше емкость и самоиндукция антенны, тем большую длину волны имеет антенна. Эта длина волны называется собственной длиной волны антенны.

Она определяется размерами антенны и расстоянием от земной поверхности. Если антенна состоит из одного провода, присоединенного одним концом к земле (рис. 162), то собственная длина волны ее будет равна учетверенной длине провода. Например, если длина провода 15 *м*, то собственная длина волны антенны будет равна 60 *м*.

Если мы к этой антенне подведем ток, частота которого 5000 килогерцев в секунду, что соответствует волне в 60 *м*, то обнаружим, что она окажется настроенной в резонанс. При резонансе энергия передатчика лучше передается антенне, ток и напряжение в ней имеют наибольшую величину, антенна дает наибольшее излучение.

Включив в антенну на разной высоте несколько приборов, измеряющих ток, мы увидим, что все они покажут различные величины и тем меньше, чем ближе к концу будет находиться прибор. На конце антенны ток будет равен нулю. Прибор для

измерения тока в антенне должен быть тепловым, так как ток в антенне переменный (меняющий свое направление).

На рис. 163 и 164 приведено распределение напряжения и тока вдоль заземленной антенны при настройке ее в резонанс подводимой энергией. Здесь линия *UM* изображает антенну. Нижний конец ее присоединен к земле. Если мы из каждой точки ее проведем прямые линии так, как показано на рис. 163, и на каждой прямой отложим отрезки, изображающие величину напряжения или тока в этой точке антенны, то, соединяя концы отрезков, получим кривые, изображающие распределение напряжения и тока.

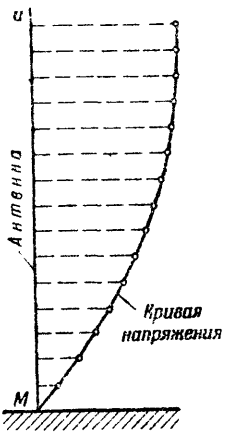


Рис. 163. Распределение напряжения вдоль антенны

На рис. 163 дано распределение напряжения, а на рис. 164 — распределение тока. Как видим, напряжение имеет наибольшую величину на конце антенны, не соединенном с землей. У земли напряжение равно нулю. Распределение тока вдоль антенны как раз обратное: на конце, присоединенном к земле, ток наибольший, а у свободного конца он равен нулю. Точки, в которых ток или напряжение имеют наибольшую величину, называются пучностями, а точки, в которых они равны нулю, называются узлами.

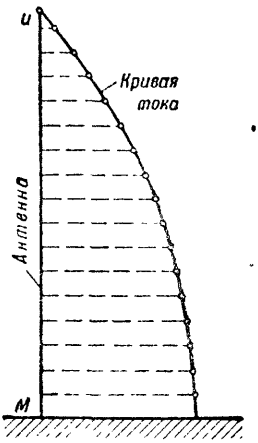


Рис. 164. Распределение тока вдоль антенны

61. УДЛИНЕНИЕ И УКОРОЧЕНИЕ СОБСТВЕННОЙ ДЛИНЫ ВОЛНЫ АНТЕННЫ

Предположим, что волна, на которой должна вестись работа, длиннее собственной волны антенны. Для того чтобы антенна излучала возможно большее количество энергии, она должна быть, как уже указывалось, настроена в резонанс с рабочей длиной волны.

Следовательно, приходится искусственно изменять ее собственную волну. Удлинение волны производится включением катушки самоиндукции. Волна антенны удлиняется благодаря тому, что при этом увеличивается ее коэфициент самоиндукции. При включении катушки он будет равен сумме коэфициента самоиндукции антенны и коэфициента самоиндукции катушки.

Катушка включается в пучность тока антенны, т. е. при заземленной антенне у нижнего конца ее. При этом распределение тока в антенне несколько изменится и будет иметь вид, изображенный на рис. 165. Пучность тока, как и при собственной длине волны, будет лежать у нижнего конца антенны. Ве-

личина тока вдоль катушки почти не изменяется. Чем больше коэфициент самоиндукции включаемой катушки, тем на более длинную волну антенна будет настроена. Удлинительные катушки обычно строятся в виде вариометров, для того чтобы иметь возможность точно настраивать антенну в резонанс для целого ряда волн. О резонансе судят по тепловому прибору, включаемому в антенну. В момент резонанса он покажет наибольшую величину тока.

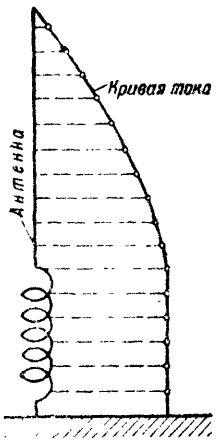


Рис. 165. Распределение тока вдоль антенны при включении удлинительной катушки

Если рабочая длина волны короче собственной длины волны антенны, то для настройки ее в резонанс включают в пучность тока переменный конденсатор. Чем меньше емкость конденсатора, тем большее она дает укорочение длины волны. Укорочение волны антенны происходит за счет уменьшения общей емкости антенны, которая составляется из включенной емкости и собственной емкости антенны.

В результате уменьшенная общая емкость антенны будет равна:

$$\text{общая емкость антенны} = \frac{\text{емкость антенны} \times \text{емкость конденсатора}}{\text{емкость антенны} + \text{емкость конденсатора}}.$$

62. СОПРОТИВЛЕНИЕ И ДЕЙСТВУЮЩАЯ ВЫСОТА АНТЕННЫ

Если мы к какой-либо электрической цепи подведем некоторое напряжение, то величина тока, возникающего в этой цепи, будет зависеть от сопротивления ее: чем больше будет сопротивление, тем меньше ток (при одном и том же напряжении). Мощность, поглощаемая этой цепью, равна:

$$\text{мощность} = (\text{ток})^2 \times \text{сопротивление},$$

или

$$P = I^2R.$$

Этот же закон справедлив, конечно, и для антенны. При сравнении работы нескольких антенн было обнаружено, что при одинаковом возбуждении ток в антенне тем меньше, чем больше ее излучение. Следовательно, излучение сказывается на токе антенны как некоторое включенное в нее сопротивление. Поэтому говорят, что антенна обладает *сопротивлением излучения* той или иной величины. Величина сопротивления зависит от формы антенны, ее размеров и рабочей длины волны.

Ток антенны зависит также от сопротивления ее проводов, от потерь в окружающих антенну проводниках и диэлектриках. Чем больше эти потери, тем меньше ток. Таким образом потери производят на ток антенны такое же действие, как включение в нее сопротивления. Следовательно, антенна обладает, кроме *сопротивления излучения*, еще и сопроти-

влением потерь. Энергия, затрачиваемая в сопротивлении потерь, является бесполезно утраченной, так как она не используется для радиосвязи.

Поэтому всегда стремятся к уменьшению сопротивления потерь. Полное сопротивление антенны равно сумме сопротивления излучения и сопротивления потерь.

При определении сопротивления антенны возникает затруднение, так как ток вдоль нее неодинаков. Условились определять сопротивление антенны по величине тока в пучности (который отмечается прибором), т. е.:

$$\text{полное сопротивление антенны} = \frac{\text{мощность в антенне}}{\text{ток в пучности} \times \text{ток в пучности}},$$

или

$$R_a = \frac{P_a}{I_a^2}.$$

Мощность, подводимая к антенне, затрачивается на излучение и на потери, следовательно:

мощность в антенне = мощность излучения + мощность потерь

или

$$P_a = P_\Sigma + P_п.$$

Дальность действия радиостанции при одинаковых мощностях определяется действующей высотой антенны. Чем больше действующая высота (длина) антенны, тем больше излучение антенны, тем больше дальность действия радиостанции. Поясним понятие „действующая высота" или „действующая длина". Заменим антенну с неравномерно распределенным током антенной, вдоль которой ток имел бы одинаковую величину; длина, или высота, новой антенны окажется несколько меньше длины, или высоты, действительной антенны. Эта высота, или длина, называется действующей высотой, или действующей длиной, антенны. Следовательно, действующая высота (длина) антенны есть высота (длина), какую должна была бы иметь антенна при равномерном распределении тока вдоль нее.

Итак, дальность действия как приемной, так и передающей радиостанции будет тем больше, чем больше будет действующая длина (высота) антенны.

63. ТИПЫ АНТЕНН

До сих пор мы говорили об антеннах, состоящих из одного вертикального заземленного провода. Заземленные антенны, применяемые на практике, чаще всего состоят из нескольких проводов и бывают самого разнообразного вида. Кроме того, очень часто применяются антенны симметричные, т. е. незаземленные. Рассмотрим несколько наиболее часто встречающихся типов.

Антенна из вертикально расположенных проводов. Провода, образующие эти виды антенн, обычно располагаются вертикально. Иногда вертикальной антенной служит металлическая мачта, установленная на оттяжках. Оттяжки в этом случае присоедия-

ются к мачте через изоляторы, мачта от земли изолируется. В качестве материала для антенны чаще всего применяется бронзовый канатик, изоляция которого на конце антенны достигается применением орешковых или седлообразных изоляторов. Последние бывают различных размеров; чем больше их размер, тем большее напряжение они могут выдержать. Седлообразный изолятор дает более надежную изоляцию, чем орешковый одинакового с ним размера. Как те, так и другие изоляторы могут применяться или в одиночку, или связанными по несколько штук; в этом случае их называют гирляндой изоляторов. Гирлянда выдерживает большее напряжение, чем одиночный изолятор.

Действующая высота вертикальной заземленной антенны, работающей на собственной длине волны, равна 0,64 длины провода. Если эта антенна работает не на собственной длине волны, а с большим удлинением, то ее действующая высота равна половине длины провода.

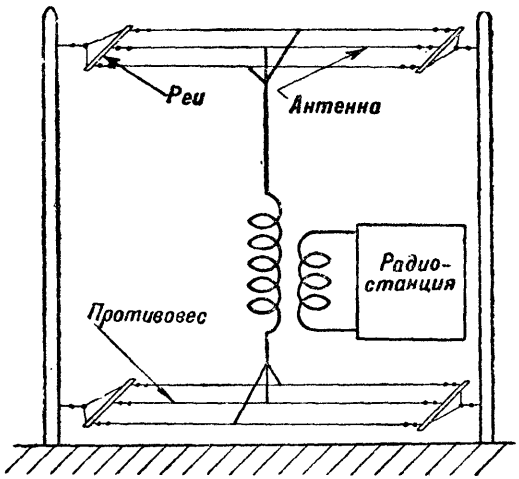


Рис. 166. Т-образная антенна

Т- *и* Г-*образные антенны.* На рис. 166 приведена Т-образная антенна, названная так за сходство с буквой Т. У антенны этого типа верхняя часть расположена горизонтально. Провода, идущие вниз, называются снижением; они обычно соединяются вместе на некотором расстоянии от горизонтальной части.

Расстояние между проводами горизонтальной части делают не меньше 1 *м* и не больше 2 *м*. Снижение у этих антенн должно итти точно от середины горизонтальной части.

Антенна Г-образная (имеющая сходство с буквой Г) отличается от Т-образной лишь тем, что снижение ее идет от одного из концов горизонтальной части (рис. 167).

Действующая высота Т- и Г-образных антенн равна, приблизительно, 0,8 высоты снижения.

Т- и Г-образные антенны подвешиваются между двумя мачтами. Провода горизонтальной части их крепятся на реях (рис. 166 и 167) через изоляторы. Выше мы видели, что пучности напряжения (т. е. наибольшая величина их) лежат на концах антенны, поэтому изоляция их в этом месте должна быть особенно тщательной.

Как вертикальные, так Т- и Г-образные антенны излучают электромагнитные волны, примерно, одинаково во всех направлениях, иначе говоря, не обладают направленностью.

Земные антенны. Антенны, расположенные на земной поверхности или же слегка зарытые в землю, называются земными антеннами. До настоящего времени антенны этого типа изучены еще очень мало. Во всяком случае можно считать установлен-

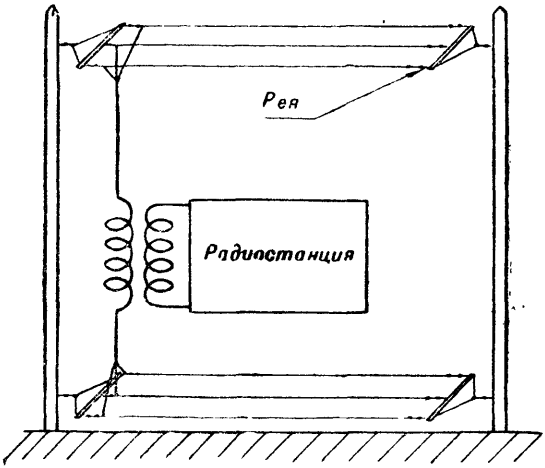


Рис. 167. Г-образная антенна

ным, что связь на большие расстояния при применении антенн этого типа вполне возможна. Обычно земные антенны состоят из двух проводов, расположенных на одной прямой очень невысоко над землей (рис. 168). Эти провода могут быть положены на землю. Заземления или противовеса эти антенны не требуют.

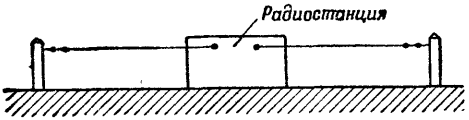


Рис. 168. Земная антенна

Земные антенны наибольшее количество энергии излучают вдоль проводов, а в направлении, перпендикулярном им, излучения почти нет.

Земную антенну надо располагать таким образом, чтобы она была направлена на приемную радиостанцию. Если прием производится на земную антенну, то для получения лучшей слышимости эта антенна также должна быть направлена на передающую станцию.

Антенны самолетные. На самолетах применяются антенны, жестко укрепленные на крыльях самолета, и выпускные.

Жестко укрепленные антенны устанавливаются на специальных изолированных опорах (рис. 169). Выпускные антенны (рис. 170) представляют собой тонкий гибкий трос с грузиком на конце. Чем длиннее волна, тем длиннее он должен быть. Наилучший

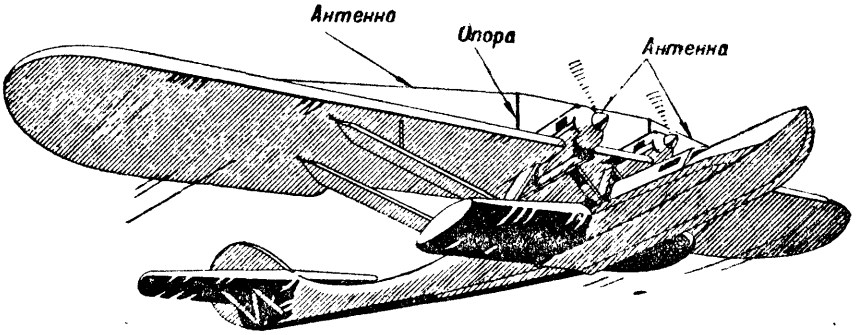


Рис. 169. Самолетная жесткая антенна

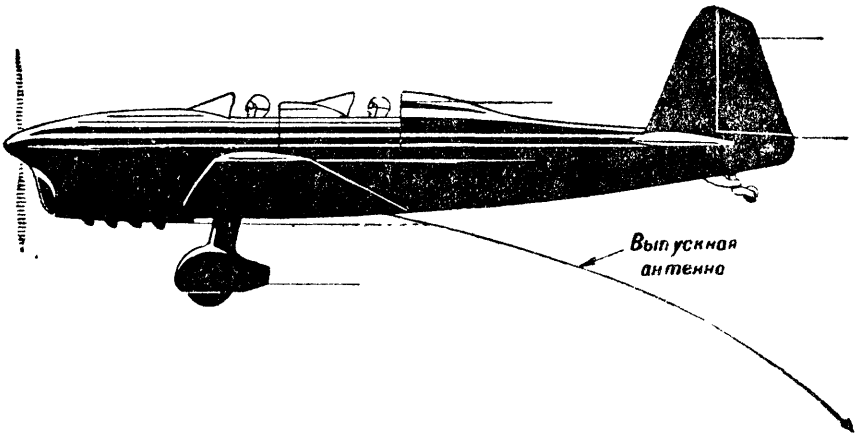


Рис. 170. Самолетная выпускная антенна

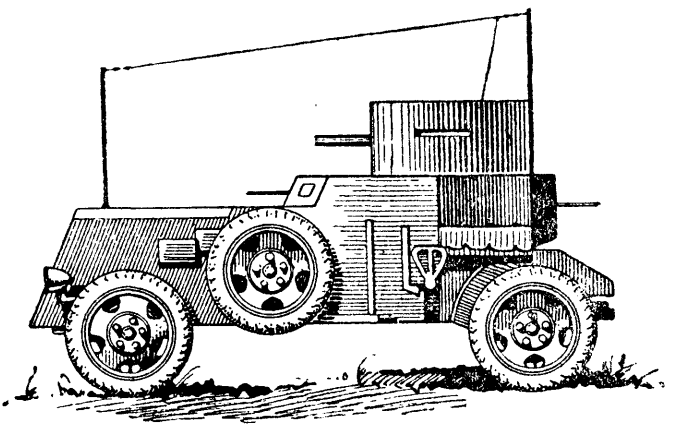


Рис. 171. Г-образная антенна на бронеавтомобиле

результат дают выпускные антенны. Вместо противовеса антенну присоединяют к корпусу самолета.

Танковые антенны. На танках применяются самые разнообразные типы антенн: Г- и Т-образные, штыревые, поручневые и др.

Материалом для Т-образных и Г-образных антенн служит бронзовый канатик. Натягиваются они между двумя подъемными или постоянными мачтами (рис. 171).

Для штыревых антенн применяется трубка, или стержень, диаметром 6—12 *мм*, устанавливаемая вертикально в высшей точке машины.

Поручневая антенна представляет собой трубку диаметром 20—35 *мм*, которая крепится в нескольких точках своей длины к вертикальным или горизонтальным изоляторам (рис. 172).

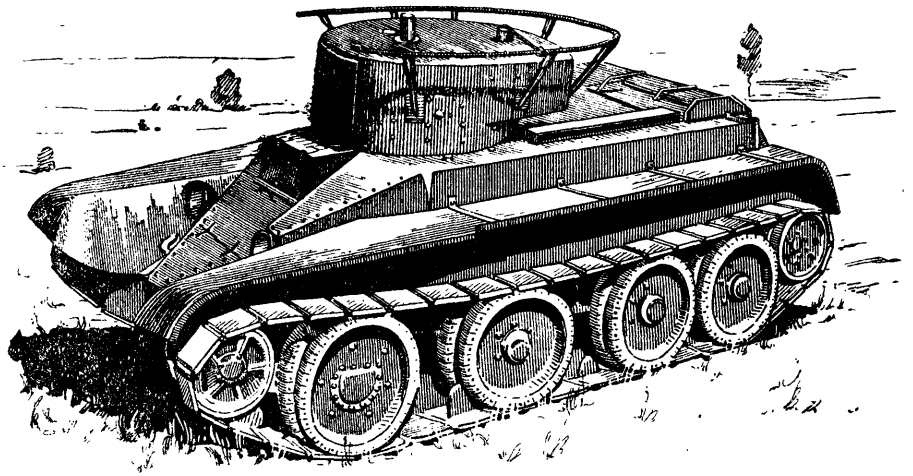


Рис. 172. Поручневая антенна

В полевых радиостанциях применяются антенны всех описанных выше типов, причем собственная длина волны антенн подбирается таким образом, чтобы ее можно было настраивать на нужные длины волн с помощью вариометра или конденсатора.

64. НАПРАВЛЕННЫЙ ПРИЕМ

Все вышеописанные антенны могут служить как для передачи, так и для приема радиосигналов. Направленность антенны в отношении приема и передачи одна и та же, т. е. если антенна излучает при передаче наибольшее количество энергии в одном направлении, то и принимать будет лучше всего сигналы, идущие в этом же направлении.

Приемная антенна обычно воспринимает не только электромагнитные волны, идущие от передающей радиостанции, но и электромагнитные волны, создаваемые атмосферными разрядами. Последние сильно мешают приему. Антенна, принимающая одинаково хорошо сигналы, идущие в различных направлениях, будет при-

нимать атмосферные разряды, идущие со всех направлений. Для того чтобы хоть несколько уменьшить величину их, строят направленные приемные антенны. Направленная антенна принимает лишь сигналы, идущие в некотором определенном направлении, и улавливает меньше помех, так как она будет принимать атмосферные разряды, идущие лишь в одном направлении.

В качестве приемной антенны может быть применена рамка (рис. 173). Обычно площадь рамки не превосходит 1—2 $м^2$. Чем из большего числа витков состоит рамка, тем больше ее собствен-

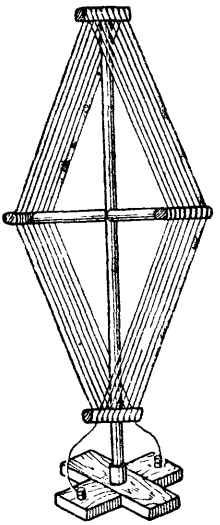


Рис. 173. Рамка

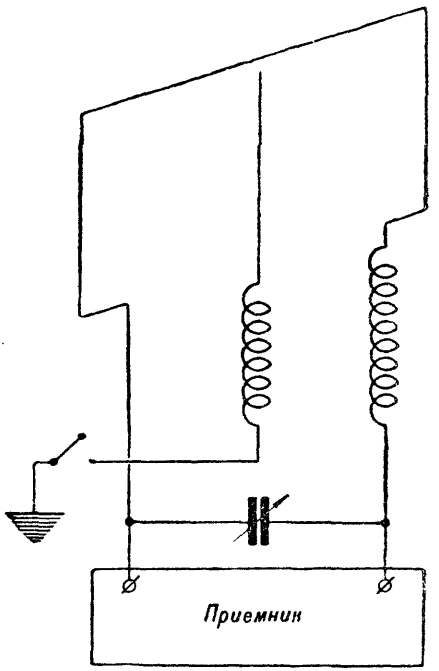


Рис. 174. Схема антенны пеленгаторной станции

ная длина волны. Для настройки рамки в резонанс с приходящей волной параллельно ей присоединяют переменный конденсатор.

Рамка располагается всегда вертикально. Если мы будем вращать рамку, то заметим, что сила принимаемых сигналов зависит от положения ее. Сила сигналов получается наибольшей, когда плоскость рамки направлена на передающую радиостанцию, и наименьшей, когда она находится в положении, перпендикулярном к направлению на передающую радиостанцию. Рамка одинаково хорошо принимает сигналы, идущие как со стороны передающей радиостанции, так и с противоположной стороны.

Иногда бывает желательно принимать сигналы, идущие только в одном направлении. Для этого соединяют рамку и вертикальную заземленную антенну (рис. 174). График направленности этой системы приведен на рис. 175. Из рис. 175 видим, что лучше

всего принимаются сигналы, идущие в направлении, указанном стрелой. Сигналы, идущие с противоположной стороны, совсем не будут приниматься. Таким образом по положению рамки можно определить направление на передающую станцию.

Направленность приема на рамку используется для нахождения положения передающей радиостанции. Положение рамки при наибольшей слышимости сигнала дает лишь направление на передающую станцию, но не определяет, в какой именно точке этого направления находится радиостанция. Устройство для нахождения направления на передающую радиостанцию называется пеленгатором, а определение положения передающей радиостанции называется пеленгацией.

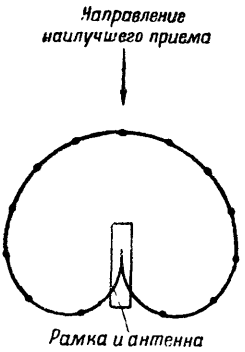


Рис. 175. График излучения радиосети, состоящей из рамки и антенны

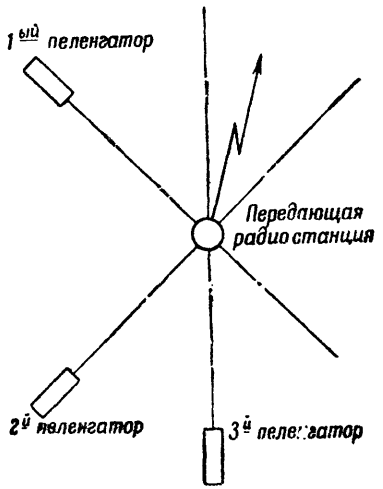


Рис. 176. Определение положения передающей радиостанции

С помощью одной пеленгаторной установки можно найти направление, но нельзя найти местонахождение передающей радиостанции. Поэтому обычно применяют 2—3 пеленгаторные станции, которые располагаются в 2—3 разных пунктах. Каждая пеленгаторная станция определяет направление на передающую радиостанцию. Эти направления наносятся на карту данной местности. Пересечение 2—3 направлений (рис. 176) определит точку расположения передающей станции.

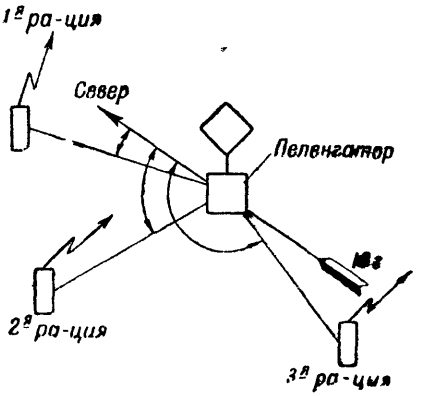


Рис. 177. Определение места своего нахождения с помощью пеленгатора

Если пеленгаторная радиостанция хочет определить свое местонахождение (например для пеленгаторной станции, на-

ходящейся на судне или самолете), то для этого нужно знать местоположение нескольких передающих радиостанций. Тогда, определив 3 угла, которые получаются между направлениями на эти радиостанции и магнитным меридианом (направлением север—юг), легко найти местоположение своей пеленгаторной радиостанции. На рис. 177 показано, как по трем передающим радиостанциям найти местонахождение пеленгатора, а следовательно, и судна, на котором он находится.

Пеленгаторные станции располагаются на достаточно большом расстоянии от всякого рода строений, леса, гор и т. д. Это необходимо ввиду того, что электромагнитные волны, отражающиеся от этих препятствий, могут сильно исказить результат наблюдения.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Чем отличается замкнутый колебательный контур от открытого?
2. От чего зависит собственная длина волны антенны?
3. Как удлинить собственную длину волны антенны?
4. Как укоротить собственную длину волны антенны?
5. Поясните, что называется действующей длиной (высотой) антенны.
6. Из чего складывается сопротивление антенны?
7. Какие из сопротивлений антенны выгодно увеличивать и почему?
8. Почему незаземленный конец антенны должен быть тщательно изолирован?
9. Как надо расположить передающую и приемную земные антенны, для того чтобы получить наибольшую силу приема?
10. Как определить с помощью пеленгаторов положение передающей станции?
11. Как определить свое местонахождение, если имеется пеленгатор и известно расположение ряда передающих радиостанций?

ГЛАВА VIII

РАСПРОСТРАНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН

65. РАССЕИВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ВОЛН В ПРОСТРАНСТВЕ

Излучаемая антенной электромагнитная энергия порождает в окружающей антенну среде быстропеременное электромагнитное поле. Это поле распространяется во все стороны от передающей антенны, подобно тому как разбегаются волны от брошенного в воду камня.

И подобно тому как на поверхности воды, чем ближе к месту падения камня, тем выше и сильнее волна, а чем от него дальше, тем волна все слабеет и постепенно замирает, так и электромагнитное поле будет наиболее сильным в непосредственной близости от излучающей антенны, а с увеличением расстояния от нее поле будет все больше и больше ослабляться и постепенно замирать.

Это явление называют рассеиванием энергии в пространстве.

Сила электромагнитного поля, распространяющаяся от передатчика, характеризует громкость приема: чем она больше, тем громче прием. Измеряется она в вольтах на 1 *м* пространства по вертикали, а в практике чаще в милливольтах (в одном вольте — 1 000 милливольт) и даже в микровольтах (в одном вольте—1 000 000 микровольт) на 1 *м*. Другими словами, мерой силы электромагнитного поля является то переменное напряжение, которое создается полем в каждом метре вертикально стоящего в воздухе провода. Так, например, для уверенного приема на 4-ламповом приемнике необходима сила поля в 100 микровольт на 1 *м*.

Сила поля на некотором расстоянии от передающей антенны будет тем больше, чем больше ток в передающей антенне и действующая высота передающей антенны, и чем меньше длина волны и расстояние.

66. ПОГЛОЩЕНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЭНЕРГИИ МЕСТНЫМИ ПРЕДМЕТАМИ

Распространяясь вдоль земли, электромагнитная волна встречает на своем пути различные проводники и проводящие предметы; при их пересечении она создает в них переменные токи.

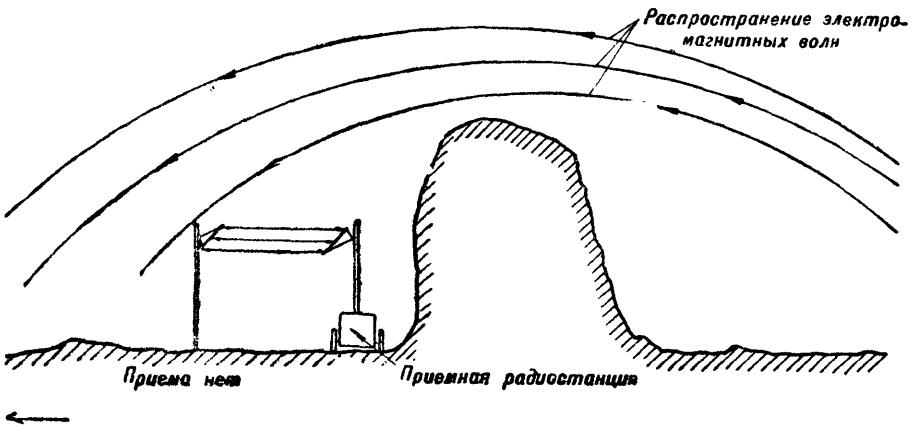


Рис. 178. Теневое действие гор

На создание этих токов тратится часть энергии электромагнитного поля.

Таким образом, кроме рассеивания, причиной ослабления электромагнитного поля является также поглощение энергии всякими проводящими предметами. Особенно сильно это поглощение заметно в больших городах с многочисленными высокими железными постройками, крышами зданий, бесчисленными проводами, трубами и т. п.

Расположив приемную антенну за горой (рис. 178), особенно если гора содержит в себе металл, в непосредственной близости от горы можно обнаружить значительное ослабление электро-

магнитного поля, делающее иногда даже невозможным прием; гора как бы отбрасывает от себя тень. Но стоит отойти от горы на несколько километров дальше, как мы можем снова обнаружить нормальную силу поля. Происходит это потому, что электромагнитные волны огибают (обходят) гору, и пространство в непосредственной близости с горой остается вне воздействия этих волн.

Кроме того, электромагнитные волны обладают свойством переходить из более высоких слоев атмосферы в слои, ближе расположенные к земной поверхности, т. е. как бы склоняться к земле.

Таким свойством объясняется то обстоятельство, что волны огибают земной шар, следуя по кривизне его поверхности. Поэтому мы имеем возможность посылать сигналы вокруг всего земного шара.

Волны разной длины ослабляются вследствие поглощения местными предметами в разной степени. Известно, что поглощение энергии будет тем больше, чем ближе собственная волна проводников к резонансу с волной приходящих колебаний.

Длинные волны реже могут встретить на своем пути резонирующие местные предметы. Поэтому они меньше поглощаются, чем короткие волны. При длинных волнах явление теневого действия едва заметно. Чем короче волна, тем сильнее ее ослабление вследствие поглощения местными предметами, тем сильнее также теневое действие.

Таким образом поглощение энергии местными предметами больше всего замечается на пересеченной местности, лесистой и в городах. Поглощение уменьшается на открытой, безлесной местности. Самое малое поглощение происходит над водой.

67. ВЛИЯНИЕ АТМОСФЕРЫ И ЗЕМЛИ

На распространение электромагнитной энергии оказывает немалое влияние электрическое состояние земной атмосферы, главным образом ее сопротивление, ибо чем меньше сопротивление атмосферы, тем ближе она по своим электрическим свойствам к проводнику, значит, тем больше теряется в ней электромагнитной энергии, тем меньшая доля ее доходит до места приема. Вследствие воздействия целого ряда причин электрическое сопротивление земной атмосферы меняется не только в течение года, но и в течение суток. Наибольшее влияние на ее сопротивление оказывают солнечные лучи. При этом чем ярче солнечный свет, тем меньше сопротивление атмосферы, а значит, тем больше потери на поглощение. Действительно, замечено, что ночью и зимой прием бывает лучше, чем днем и летом.

Часть электромагнитной энергии поглощается также землей, в которой наводятся быстропеременные токи. В отличие от потерь в атмосфере, в земле потери будут тем меньше, чем меньше ее сопротивление, потому что электромагнитные волны тем глубже проникают в толщу земли, чем больше ее сопротивле-

ние. Если бы земля была хорошим проводником, то электромагнитные волны скользили бы вдоль земной поверхности, и потерь в земле мы бы не имели. Поэтому электромагнитные волны лучше распространяются над водой, особенно над поверхностью моря (морская вода имеет весьма малое сопротивление), чем над сушей.

Особенно сильно поглощаются землей короткие волны: чем короче волна, тем сильнее потери в земле.

С другой стороны, наведение в земле и в проводниках, находящихся на небольшой глубине под землей, быстропеременных токов делает возможным прием на земные антенны, т. е. на провода, разбросанные по земле, и даже на провода, помещенные на некоторой глубине под землей.

Итак, мы можем установить, что, распространяясь вдоль поверхности земли, электромагнитная волна теряет свою энергию вследствие рассеивания в пространстве и вследствие поглощения в местных предметах, в атмосфере и в земле.

68. ПОМЕХИ

Несмотря на рассеивание и потерю энергии, указанные выше, можно было бы, имея достаточно высокую приемную антенну и достаточное усиление в приемнике, принимать на любом удалении от передающей станции, ибо все же некоторая доля энергии, хотя и ослабленная, дойдет до места приема, как бы далеко это место ни находилось.

В действительности такой возможности мы не имеем. Препятствием являются помехи. Помехи могут вызываться излучением других радиостанций, некоторых электрических машин и приборов (особенно при их искрении, например магнето в автомашине, самолете и т. п.), а также атмосферными и грозовыми разрядами.

Улавливая и усиливая приходящие от передатчика сигналы, приемник одновременно улавливает и усиливает помехи так, что возможность приема в большей степени зависит от отношения силы поля принимаемой волны к уровню (силе) помех, чем от значения силы поля, созданного принимаемой волной.

Помехи того или другого вида прослушиваются на радиоприемнике в виде треска, сила которого возрастает по мере настройки на нужную передающую радиостанцию. Если радиостанция прекращает свою передачу, уменьшаются и помехи. Это явление, общеизвестное всем, имеющим дело с радиоприемом, до сих пор не получило исчерпывающего объяснения.

69. ВОЛНЫ ЗЕМНАЯ И ОТРАЖЕННАЯ

До сих пор было рассмотрено распространение электромагнитной энергии в непосредственной близости от поверхности земли, были выяснены причины ослабления волны у земной поверхности. Мы видели, что особенно сильно поглощаются землей и местными предметами короткие электромагнитные волны. Поэтому

довольно долго считали, что для целей связи короткие волны не годятся, и для связи на расстояния в несколько тысяч километров работали волнами длиной в тысячи метров, применяя при этом колоссальные мощности порядка сотен киловатт.

В 1925—1927 гг. американские радиолюбители совершенно неожиданно, работая короткими волнами при передатчиках весьма малой мощности, получили связь на тысячи километров. С тех пор короткие волны завоевывают себе все большее и большее место в радиотехнике, и в настоящее время существует уже большое число коротковолновых радиостанций, дающих надежную связь на тысячи километров. В чем же секрет этих успехов?

Оказывается, что вдоль земной поверхности распространяется лишь часть излученной передатчиком электромагнитной энергии. Эту часть ныне принято называть прямой, или земной, волной.

Остальная электромагнитная энергия, удаляясь в верхние слои атмосферы, встречает, примерно, на высоте 150 *км* от земли слой весьма разреженного воздуха, который благодаря воздействию солнечных лучей является хорошим проводником. Этот слой, названный по имени открывшего его английского ученого слоем Хивисайда, изменяет направление падающих на него волн и частично отражает их обратно на землю.

Такая отраженная от слоя Хивисайда волна носит название отраженной волны, или отраженного луча. При этом оказывается, что путь отраженной волны различен для разных длин волн, и особенно большие расстояния пробега получает отраженная волна при волнах короткого диапазона.

Там, где отраженная волна попадает обратно на землю, и получается область хорошего приема.

70. МЕРТВЫЕ ЗОНЫ

Расстояние между передатчиком и местом возвращения на землю отраженной волны измеряется сотнями, а иногда и тысячами километров. Земная же волна, как мы уже видели, при коротких волнах поглощается очень быстро и может быть принята лишь в непосредственной близости от передатчика (на расстоянии нескольких десятков километров). Между этими двумя зонами находится широкая кольцевая зона в несколько сот, а иногда и тысяч километров, в которой нет никакого приема. Эта зона носит название мертвой зоны, или зоны молчания. Картина распространения коротких волн, появления отраженной волны и мертвой зоны дана на рис. 179.

Следует отметить, что и при длинных волнах существует отражение от слоя Хивисайда, но у них отраженный луч значительно скорее возвращается на землю, попадая в зону прямого луча. Кроме того, длинные волны сильно поглощаются в атмосфере, а потому отраженный луч заметного влияния на распространение длинных волн не оказывает.

Ширина мертвой зоны и области отраженной волны не остается постоянной, а изменяется в зависимости от состояния атмосферы и главным образом от состояния слоя Хивисайда. Поэтому, например, ночью мертвая зона бывает меньше, чем днем. Вообще же ее ширина меняется в течение года и в течение суток.

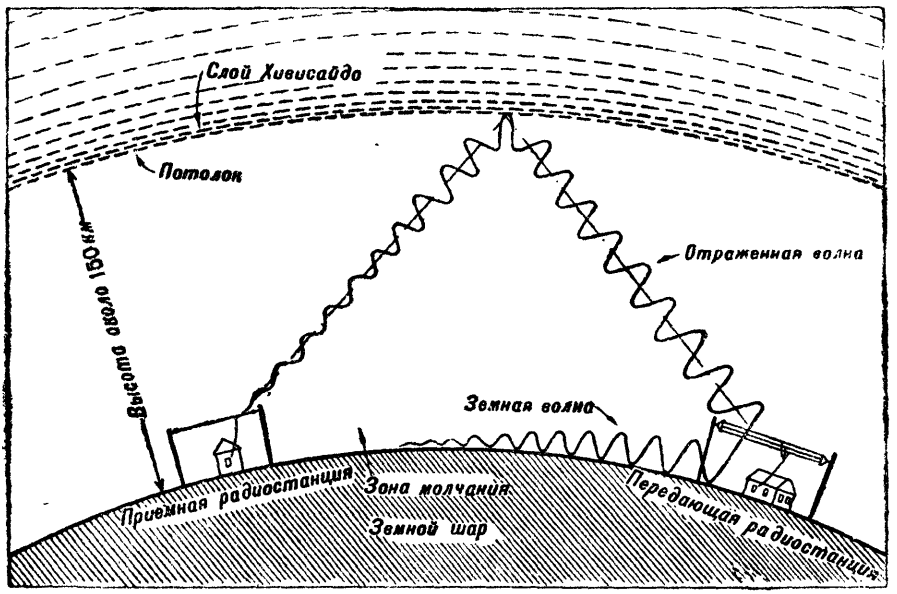


Рис. 179. Возникновение отраженной волны

Кроме того, ширина мертвой зоны (и зоны отраженной волны) зависит от длины излучаемой волны: чем короче волна, тем больше ширина обеих зон.

В то время как волны порядка 15—20 *м* возвращаются на землю только летом и днем, более длинные волны отражаются также и ночью.

71. ДНЕВНЫЕ И НОЧНЫЕ ВОЛНЫ

Из сказанного выше вытекает, что для надежной связи с каким-либо пунктом приходится применять различные волны в зависимости от времени суток или года.

И действительно, практика показала, что для связи на далекие расстояния днем применяются волны порядка 10—20 *м*, ночью же эти волны проходят очень плохо.

Волны от 25 до 50 *м* хорошо распространяются ночью, но зато плохо днем. Волны же от 50 до 60 *м* и длиннее дают хороший прием и днем и ночью, но зато сильнее поглощаются в атмосфере. В связи с этим волны длиной от 10 до 18 *м* получили название дневных волн, от 18 до 24 *м* называются переходными от дневных к ночным волнам, а волны от 25 до 50 *м* называют ночными волнами.

Работы по изучению распространения волн в зависимости от времени года и суток, а также по выбору длины волны для надежной связи, ведутся до самого последнего времени в ряде стран.

В табл. IX дан на основании последних исследований цифровой материал по прохождению коротких волн на разные расстояния в разное время года и суток.

ТАБЛИЦА IX

Прохождение коротких волн

Частота в килогерцах	Длина волны в *м*	Расстояние в *км*			
		летом		зимой	
		днем	ночью	днем	ночью
4 000	75	0— 300	0— 750	0— 450	0—3 000
6 000	50	0— 450	300—1 200	0— 600	750—3 000
8 000	37,5	400—1 200	1 000—3 900	450—1 500	3 000—5 200
13 000	23,1	900—2 700	3 000—5 200	1 200—3 300	—
17 000	17,65	1 500—5 200	—	2 100—5 200	—
22 000	13,63	дальше 3 000	—	дальше 4 500	—

Из этой таблицы мы видим, что в то время, как волну в 75 *м* летом можно принимать днем на всем расстоянии от передат-

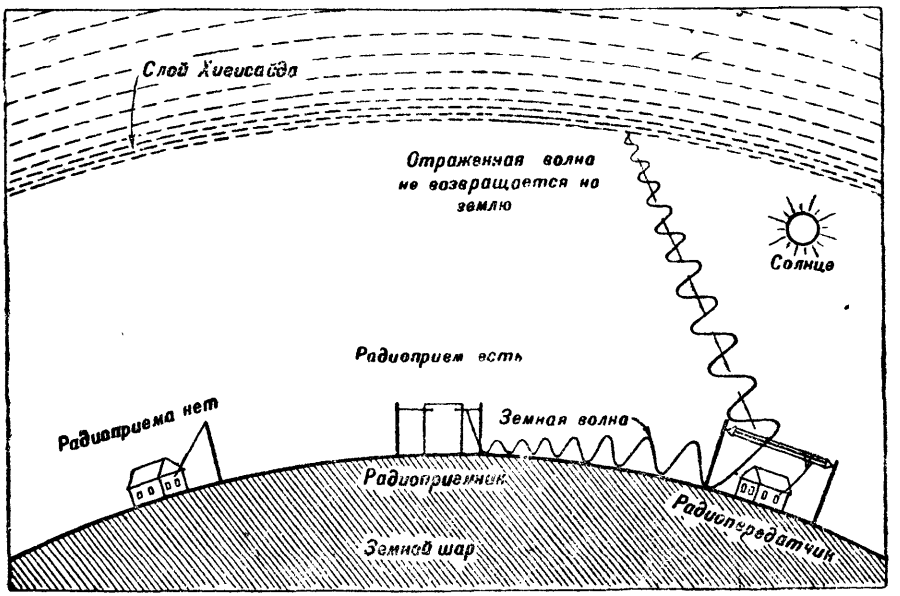


Рис. 180. Исчезновение отраженной волны

чика до дальности в 300 *км*, ночью (тоже летом) ее уже можно принять на расстояниях до 750 *км*. Еще лучше она распространяется зимой. В то же время волну в 23,1 *м* летом можно при-

нимать и днем и ночью (днем на расстояниях от передатчика между 900 и 2700 *км*, а ночью — от 3000 до 5200 *км*), а зимой ее можно принимать только днем; зимней ночью отраженный луч этой волны на землю не вернется.

Волна же в 13,63 *м* (дневная волна) ночью летом и зимой связи на большие расстояния не даст, хотя днем она дает связь на расстояния свыше 3000 *км* летом и свыше 4500 *км* зимой.

Из рис. 180 мы ясно видим причину отсутствия связи — исчезновение отраженной волны.

72. ЗАМИРАНИЕ СИГНАЛОВ

При приеме коротких волн обычно наблюдается временное ослабление силы приема.

Это ослабление, названное замиранием сигналов, или фэдингом, бывает различной продолжительности: от долей

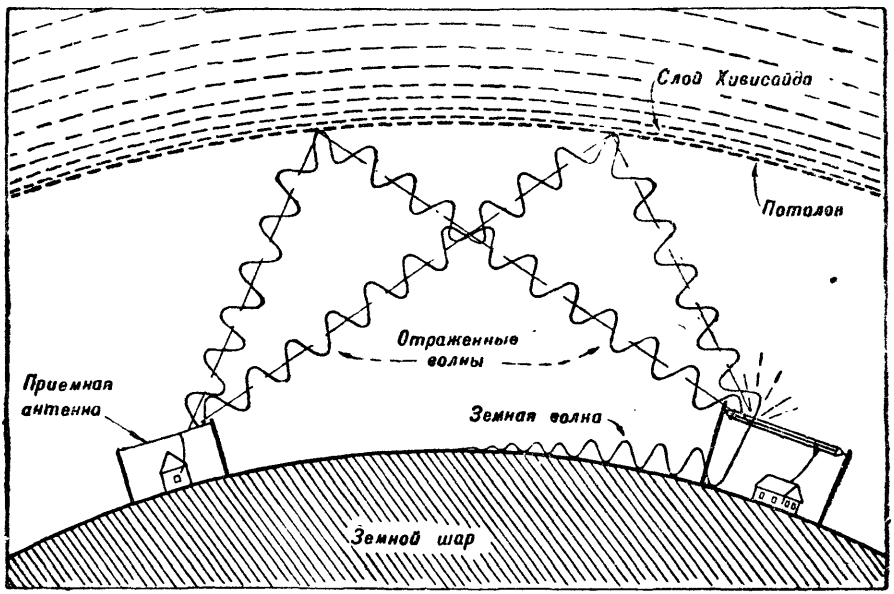


Рис. 181. Возникновение замирания

секунды до нескольких секунд, а иногда даже до нескольких минут.

Замирания особенно сильно затрудняют прием при работе на большие расстояния. На малых же расстояниях, когда на приемник воздействует главным образом земная волна, этих замираний незаметно.

Одно из объяснений этого явления заключается в следующем. Представим себе, что к месту приема одновременно приходят два или несколько лучей, прошедших различные пути (рис. 181).

При этом поле, созданное одним лучом, может иметь знак, противоположный полю, созданному другим лучом. Накладываясь, эти поля ослабляют друг друга, а поэтому замирает прием.

73. ПРЕИМУЩЕСТВА И НЕДОСТАТКИ КОРОТКИХ ВОЛН

Преимуществами коротких волн перед длинными с точки зрения их распространения являются:

1. Чрезвычайно большая дальность действия при сравнительно ничтожных мощностях передатчика.
2. Значительное уменьшение и упрощение (сравнительно с длинными волнами) антенных устройств, что снижает их стоимость, облегчает уход и допускает в боевой обстановке более скрытое расположение рации.
3. Благодаря малым размерам антенной сети облегчается возможность направленного излучения энергии в желаемом направлении, для чего строятся антенные системы специальной конструкции.

Недостатками коротких волн по сравнению с длинными являются:

1. Наличие мертвых зон.
2. Необходимость применять различные волны в зависимости от времени суток и года.
3. Сильная подверженность влиянию атмосферных условий.
4. Замирание сигналов.

Недостатки эти в значительной степени зависят еще от того, что с короткими волнами начали работать сравнительно недавно и не изучили их в полной мере.

Можно думать поэтому, что со временем и эти недостатки будут устранены.

74. ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УЛЬТРАКОРОТКИХ ВОЛН

Основным отличием ультракоротких волн, т. е. волн короче 10 *м*, от волн короткого и длинного диапазона является распространение их в ограниченном районе около передающей станции и, следовательно, невозможность применения их для целей дальней связи.

Объясняется это тем, что при волнах этого диапазона мы имеем дело лишь с земной волной, так как энергия, излучаемая в направлении к верхним слоям атмосферы, от слоя Хивисайда не отражается, а уходит в мировое пространство.

Земная ультракороткая волна очень сильно поглощается местными предметами и землей (еще сильнее, чем короткая волна), и способностью огибать поверхность земли она обладает в весьма малой степени. Поэтому связь на ультракоротких волнах возможна лишь в пределах прямой видимости (в этом их сходство с оптической связью), а значит, чем большее расстояние мы хотим перекрыть, тем выше над уровнем земли мы должны поднять приемник и передатчик.

Второй особенностью ультракоротких волн является полное отсутствие атмосферных и грозовых помех (работа возможна во время грозы). Помехи от электрических приборов наблюдаются тем сильнее, чем ближе волна, излучаемая этими приборами, к волне приема.

Ультракороткие волны требуют еще меньших, чем при коротких волнах, размеров антенны, следовательно, имеется возможность еще более укрытого расположения рации. Большая возможность осуществления направленного излучения, распространение в пределах прямой видимости, а значит, малая вероятность подслушивания противником делают весьма желательным применение ультракоротких волн для связи на расстояния до нескольких сот километров в условиях горной местности.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему короткие волны сильнее поглощаются местными предметами, чем длинные?
2. Где лучше будет прием — у водной поверхности или вдали от воды, в сухой местности?
3. Годится ли для связи ночью волна в 17 *м*?
4. Какие волны мы называем ночными?
5. Всегда ли можно на далекие расстояния работать на одной и той же волне?
6. Можно ли избавиться от замирания, если принимать одним приемником одновременно на две коротковолновые антенны, расположенные на некотором расстоянии одна от другой?
7. Почему антенна коротковолновой рации меньше и проще, чем длинноволновой рации?
8. Почему при работе на коротких волнах получается очень большая дальность действия при малых мощностях передатчика?
9. Перечислите недостатки коротких волн.
10. Почему у ультракоротких волн нет отраженной волны?
11. Каким образом увеличить дальность действия ультракороткоковолновой рации?

ГЛАВА IX

ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА

75. ИЗЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОНОВ НАКАЛЕННЫМИ ТЕЛАМИ

Среди огромной массы свободных электронов, двигающихся в беспорядке по всевозможным направлениям внутри проводника, есть такие электроны, которые двигаются по направлению к поверхности проводника. Достигнув поверхности, эти электроны не могут вылетать за пределы проводника (в воздух) в окружающую и непроводящую электричество среду, так как их удерживает притяжение положительных частиц — протонов. Для того чтобы иметь возможность вылетать за пределы проводника, электроны должны преодолеть действие притягивающих сил. Возможность вылета электронов зависит от скорости движения их: чем быстрее двигаются электроны, тем больше шансов на их вылет.

Таким образом вылет электронов за пределы проводника может произойти при увеличении скорости движения электронов.

При нормальной комнатной температуре не только свободные электроны, но и сами атомы материи проводника, например какого-нибудь металла, находятся в постоянном движении. При нагревании металла увеличится быстрота колебаний свободных электронов и атомов.

При достаточно сильном нагревании металла скорость движения электронов будет достаточной для их вылета за пределы поверхности металла, и потому электроны будут как бы испаряться с поверхности накаленного металла (рис. 182), подобно испарению паров из нагреваемой воды. Явление испарения электронов с поверхности накаленного металла принято называть *излучением электронов*.

Рис. 182. Распределение электронов около накаленного тела

При наличии вокруг накаленного металла воздуха электроны могут вылетать за пределы поверхности металла, но на очень малое расстояние, так как они будут наталкиваться на мешающие частицы воздуха. Затем, присутствие кислорода в воздушной среде быстро окисляет и разрушает накаленный металл. Поэтому, чтобы дать возможность электронам свободно вылетать за пределы поверхности металла и чтобы сам металл не мог быстро разрушаться, необходимо прежде всего металл поместить в безвоздушное пространство, т. е. в пустоту, или, как принято говорить, в вакуум, затем накалить металл до определенной температуры. Тогда электроны смогут свободно вылетать за пределы поверхности металла.

76. РАБОТА НИТИ НАКАЛА В ВАКУУМЕ

Поместим проводник из металла в стеклянный сосуд, из которого тщательно удален воздух, и нагреем этот проводник. Тогда накаленный проводник будет излучать электроны в окружающее безвоздушное пространство. Нагревание проводника удобнее всего производить при помощи электрического тока соответствующей силы. Проводник можно брать в виде тонкой проволоки, которая представляла бы значительное сопротивление для электрического тока и потому сильнее нагревалась при прохождении через нее малой силы тока. Наиболее подходящим металлом для нагревания в сосуде с вакуумом оказался вольфрам. Удобство применения вольфрама для накаливаемой проволоки заключается в том, что он обладает достаточным сопротивлением для электрического тока, имеет большую механическую крепость, что позволяет из него изготовлять очень тонкие проволочки в виде нитей. Не менее важное преимущество вольфрама перед другими металлами заключается в том, что он плавится при очень высокой температуре: около 3 800° Ц. Нормальная рабочая температура вольфрамовых нитей — около 2 300° Ц, при этом нить, сильно накаленная до

оранжевого или даже до белого цвета, испускает достаточное количество электронов. Электрический ток от батареи накала *Бн* подводится к нити накала *Н* через проводники, впаянные в стекло сосуда, имеющего форму обыкновенной электрической лампочки, и выведенные от концов нити накала K_1 и K_2 наружу к зажимам батареи *Бн* к плюсу H_1 и к минусу H_2 (рис. 183).

Раскаленная электрическим током от батареи *Бн* нить накала испускает электроны в окружающее безвоздушное пространство. Скорость, с которой электроны вылетают из нити накала, различна для разных электронов; следовательно, различные электроны отлетают от нити накала на разные расстояния. Но в силу притягивающих свойств нити накала (притягивать вылетевшие из нее электроны обратно будут положительно заряженные частицы) все отлетевшие на различные расстояния электроны будут возвращаться обратно к нити накала. Скорее возвратится к нити накала та часть электронов, которая при вылете имела меньшую скорость и недалеко отлетела от нити накала. Несколько позже, но все же вернется обратно к нити накала и та часть электронов, которая при вылете имела большую скорость и отлетала от нити накала на более далекое расстояние. Но нить накала будет продолжать испускать все новые и новые электроны, которые будут толпиться, непрерывно двигаясь сплошной массой, образуя электронное облачко вокруг нити накала. Чем выше температура и больше поверхность нити накала, тем большее количество электронов она испускает.

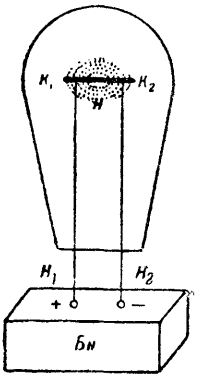


Рис. 183. Раскаленная нить в вакууме излучает электроны

Количество электронов, испускаемых нитью накала в единицу времени, принято называть эмиссией нити накала.

Вольфрамовые нити, как уже упоминалось, требуют для нормальной работы очень высокой температуры, следовательно, большого тока для накаливания. Поэтому в настоящее время вольфрамовых нитей в чистом виде почти совсем не используют, а применяют вольфрамовые нити, покрытые тонким слоем других металлов, излучающих электроны при более низких температурах. Такие нити называются активизированными или торированными, оксидными, бариевыми и т. д., в зависимости от металла, которым они покрыты.

77. ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА

Для того чтобы в рассматриваемом сосуде с нитью накала (рис. 183) электроны могли выполнить свое назначение, их надо заставить двигаться не как попало, а в определенном направлении. С этой целью поместим внутри сосуда, недалеко от нити накала, металлическую пластинку *А* (рис. 184) и от этой пла-

стинки сделаем вывод наружу через впайку в стенку сосуда проводника, другой конец которого a_1 присоединим к положительному полюсу источника напряжения *Ба*. Отрицательный полюс источника напряжения *Ба* соединим проводником a_2H_2 с нитью накала. Пластинка *А*, соединенная с положительным полюсом источника напряжения *Ба*, называется анодом устройства, а нить *Н*, соединенная с источником напряжения *Бн*, называется катодом устройства. Благодаря действию отрицательного полюса источника напряжения *Ба* катод (т. е. нить накала *Н*) зарядится отрицательным электричеством, т. е. на нем образуется избыток электронов, а анод *А* зарядится от положительного полюса источника напряжения *Ба* положительным электричеством, т. е. будет испытывать недостаток электронов. Избыток электронов с катода *Н* будет притягиваться положительно заряженным анодом *А*. Таким образом электроны (отрицательные частицы электричества) легко перелетят с катода *Н* через безвоздушное пространство на анод *А*.

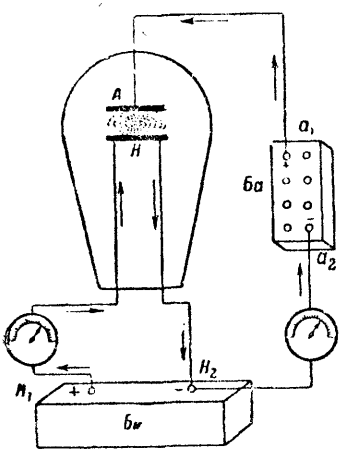


Рис. 184. Положительно заряженный анод притягивает электроны

Назначение источника напряжения *Ба*, называемого анодной батареей,—зарядить анод *А* положительным электричеством, т. е. создать на нем недостаток электронов. Батарея накала *Бн* служит для накала катода и тем самым оказывает помощь вылету из него электронов. Испускаемые накаленным катодом *Н* электроны, двигаясь через безвоздушное пространство в направлении положительно заряженного анода *А*, образуют электронный поток, который, долетев до анода, будет двигаться дальше по замкнутому пути, называемому анодной цепью. Анодная цепь состоит из анодной батареи *Ба*, проводника a_2H_2H с катодом *Н*, безвоздушного пространства между катодом *Н* и анодом *А* и отрезка проводника Aa_1.

Движение электронов в анодной цепи является электрическим током, который легко может быть обнаружен измерительным прибором, включенным в анодную цепь так, как показано на рис. 184. Этот ток принято называть током эмиссии нити. Так как направлением движения электрического тока принято считать направление движения положительного электричества, то ясно, что внутри лампового устройства анодный ток будет двигаться от анода *А* к катоду *Н* и во внешней цепи будет направлен так, как показано стрелками на рис. 184. Другая цепь, называемая цепью накала, состоит из батареи накала *Бн*, двух проводников и из нити накала. В цепи накала будет проходить электрический ток, который легко обнаружить измерительным прибором, включенным в цепь накала. Ламповое

устройство с катодом и анодом, т. е. с двумя электродами, называется 2-электродной катодной лампой (диод). Таким образом диод основан на испускании электронов из накаленной нити и перелете их на анод.

Лампы, имеющие высокую степень разрежения (вакуума), называют жесткими лампами, а при более низком вакууме — мягкими лампами.

Часто в лампах для уменьшения газов (воздуха), которые содержатся в металле электродов, помещают внутрь баллона небольшое количество щелочного металла, который после откачки и запайки лампы улетучивается и покрывает внутреннюю сторону баллона, придавая ему зеркальность. Отложившийся на стенках баллона металл будет поглощать газ, выделяющийся из электродов лампы. В случае появления в лампе газа в ней наблюдается голубое свечение.

78. ДВУХЭЛЕКТРОДНАЯ ЛАМПА КАК ВЫПРЯМИТЕЛЬ

Если к аноду лампы *А* (рис. 184) присоединить отрицательный полюс анодной батареи *Ба*, а к катоду лампы *Н*—положительный полюс той же батареи, то окажется, что электрического тока в анодной цепи не будет, и стрелка измерительного прибора не отклонится. Но стоит только подвести к аноду лампы *А* положительный полюс анодной батареи *Ба*, как в анодной цепи вновь появится электрический ток, текущий всегда в одном направлении: от анода *А* к катоду *Н*. Таким образом, присоединяя к аноду лампы попеременно то плюс анодной батареи *Ба*, то минус ее, в анодной цепи будем обнаруживать протекание анодного тока лишь в те моменты, когда анод лампы присоединен к положительному полюсу анодной батареи *Ба*. Другими словами, лампа будет пропускать через себя ток только в одном направлении. Это свойство 2-электродной электронной лампы проводить ток в одном направлении широко используется для выпрямления переменных токов.

Такие выпрямительные лампы называются кенотронами.

Выпрямительное устройство, состоящее из машины переменного тока *D*, батареи накала *Бн* и кенотрона *К*, показано на рис. 185. Когда анод *А* кенотрона *К* будет заряжен от машины переменного тока *D* положительно, а катод *Н*—отрицательно, в анодной цепи будет происходить движение электронов от раскаленного катода *Н* к аноду *А*, от анода *А* к машине *D* и далее к катоду *Н*, т. е. в анодной цепи будет проходить ток в направлении, противоположном движению электронов. В моменты, когда анод *А* будет заряжен отрицательно, а катод *Н*—положительно, никакого движения электронов в анодной цепи не будет, т. е. никакого тока в анодной цепи не будет. Таким образом за время тех полупериодов, когда на анод кенотрона будет подаваться положительное напряжение, в анодной цепи кенотрона будет течь ток; в течение же вторых полупериодов, когда на анод кенотрона будет подаваться отрицательное напряжение, тока в анодной цепи не будет. Следовательно, кенотрон,

включенный в цепь источника переменного тока, будет пропускать ток только в одном направлении, показанном на рис. 185 стрелками, или, как принято говорить, будет выпрямлять переменный ток. Такая простейшая схема с одним кенотроном называется схемой однополупериодного выпрямления, так как в ней мы получаем только один полупериод переменного тока, а второй его полупериод

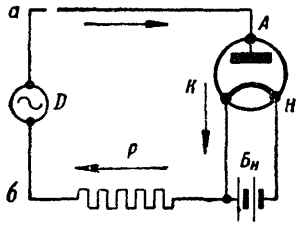


Рис. 185 Схематическое изображение выпрямительного устройства

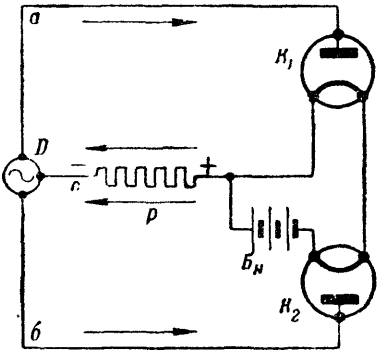


Рис. 186. Схема двухполупериодного выпрямления с двумя кенотронами

остается неиспользованным. На рис. 186 показана схема двухполупериодного выпрямления с двумя кенотронами.

79. ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ ЗАРЯД

При рассмотрении процесса испускания электронов накаленной нитью в лампе с вакуумом мы установили, что различные электроны вылетают из накаленной нити с разной скоростью. Одна часть электронов имеет бо́льшую скорость вылета, а другая часть имеет меньшую скорость вылета. Та часть электронов, которая имеет бо́льшую скорость вылета, взлетает над нитью на большее расстояние и, следовательно, ближе подлетает к аноду и потому легко им притягивается. Другая же часть электронов, которая вылетает из нити с меньшей скоростью, не всегда может достигать анода. Анод в состоянии притягивать к себе электроны, испускаемые накаленной нитью, только при подведении к нему достаточно высокого напряжения. Если же к аноду подвести напряжение недостаточной величины, то часть электронов, имеющая малую скорость и недалеко отлетевшая от нити накала, может остаться не притянутой анодом. Эта часть электронов, не попавшая на анод, начнет играть тормозящую роль во внутреннем процессе диода.

Действительно, электроны, имеющие малую скорость при вылете из нити накала, задерживаются вблизи нити и образуют вокруг нее нечто вроде электронного облачка. Последнее, действуя как отрицательный электрический заряд, будет препятствовать проникновению к аноду вновь вылетающих из нити электронов. Это облако, образуемое застрявшими в пространстве отрицательно заряженными электронами, принято называть

пространственным зарядом. Через пространственный заряд к аноду будут проникать лишь те электроны, которые будут иметь достаточную скорость в момент вылета из нити. Электроны внутри облака не будут неподвижны. С одной стороны, часть из них будет притягиваться положительно заряженным анодом, с другой стороны, облачко будет пополняться вновь вылетающими электронами. Таким образом электронное облачко будет находиться в состоянии подвижного равновесия, причем это состояние равновесия будет зависеть от степени накала нити и напряжения между анодом и катодом. При очень слабом накале нити она выделяет очень небольшое количество электронов, которые все целиком могут быть приняты положительно заряженным анодом, и потому пространственного заряда может не образоваться. Если же будем увеличивать накал нити, не изменяя при этом величины анодного напряжения, то число электронов, выделяемых нитью, будет увеличиваться, а число электронов, улетающих на анод, при данном его напряжении остается, примерно, прежним. Таким образом величина пространственного заряда тем больше, чем выше накал нити. Теперь рассмотрим влияние анодного напряжения на состояние пространственного заряда. При совершенном отсутствии напряжения на аноде электроны, вылетающие из нити, не будут притягиваться к аноду, а задержатся в пространстве между анодом и катодом, т. е. образуют пространственный заряд, который будет увеличиваться за счет вновь вылетающих из нити электронов до тех пор, пока его противодействие не прекратит дальнейшего выделения электронов из нити. Поскольку пространственный заряд своим противодействием сделал невозможным выделение электронов из нити, постольку он будет оставаться неизменным, пока будет отсутствовать напряжение на аноде.

Если постепенно увеличивать анодное напряжение, то будет увеличиваться и притягивающее действие анода: он будет притягивать к себе не только быстро вылетающие электроны, но и часть электронов из пространственного заряда. По мере же дальнейшего увеличения анодного напряжения все большее количество электронов из пространственного заряда будет перемещаться к аноду и меньшее количество их будет оставаться в пространственном заряде, т. е. будет увеличиваться анодный ток. При достаточном увеличении анодного напряжения анод может притянуть к себе все электроны из пространственного заряда, и тогда вылетающие из нити электроны как с большой, так и с малой скоростью все без исключения будут попадать на анод. Анодный ток в этом случае достигает наибольшей, предельной величины. Эта предельная величина анодного тока называется током насыщения. После того как все без исключения электроны будут перемещаться на анод, дальнейшее увеличение анодного напряжения будет бесполезным, так как оно не может увеличить анодного тока, потому что нельзя увеличить потока электронов от катода к аноду. В работе электронной лампы существование пространственного заряда играет существенную

роль. В дальнейшем мы рассмотрим влияние и способы устранения пространственного заряда.

80. ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУХЭЛЕКТРОДНОЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ЛАМПЫ

Для исследования характера зависимости анодного тока от напряжения при постоянном накале нити соберем схему (рис. 187) из следующих деталей и приборов:

а) 2-электродной электронной лампы *Л*;

б) двух батарей накала *Бн* и анодной *Ба*;

в) миллиамперметра *МА*, включенного в анодную цепь, для измерения анодного тока;

г) двух вольтметров *Vн* и *Va*, причем вольтметр *Vн* присоединяется к концам нити накала и служит для установления необходимого напряжения накала нити, а вольтметр *Va* присоединяется к зажимам анодной батареи и служит для измерения напряжения между анодом и катодом;

д) реостата *Р*, включенного в цепь накала и потому называемого реостатом накала; он служит для изменения тока накала.

Устанавливаем реостатом накала по вольтметру *Vн* необходимое напряжение накала нити, которое будем поддерживать постоянным на протяжении всего опыта. Затем включим несколько элементов анодной батареи в анодную цепь и отметим показание вольтметра *Va* и показание миллиамперметра *МА*, измеряющего анодный ток, после чего включим несколько большее число элементов в анодную цепь, а также отметим показания вольтметра *Va* и миллиамперметра *МА*. Таким образом, продолжая постепенно увеличивать количество элементов, включаемых в анодную цепь, и при каждом случае продолжая отмечать показания вольтметра *Va* и миллиамперметра *МА*, мы получим ряд показаний, которые запишем в двух горизонтальных строках.

Запись значений анодного тока, зависящих от изменения анодного напряжения

Напряжение на аноде в вольтах	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
Ток в цепи анода в миллиамперах . . .	0	0,25	0,7	1,25	1,9	2,9	3,9	4,9	5,9	6,9	7,9	8,4	8,6	8,7	8,75	8,8	8,8

В верхней строке запишем показания вольтметра *Va* и в нижней — соответствующие показания миллиамперметра *МА*. Полученная нами таблица будет вполне характеризовать зависимость изменения анодного тока от изменения подводимого к аноду

напряжения при постоянном токе накала нити. Из таблицы видно, что при постепенном повышении анодного напряжения на одно и то же количество вольт анодный ток увеличивается не всегда одинаково, т. е. сначала он увеличивается медленно, затем быстро, далее опять медленно и при некотором анодном напряжении перестает увеличиваться, оставаясь неизменным при дальнейшем повышении анодного напряжения. Для более наглядного представления зависимости анодного тока от анодного напряжения изобразим полученную нами таблицу в виде графика (рис. 188).

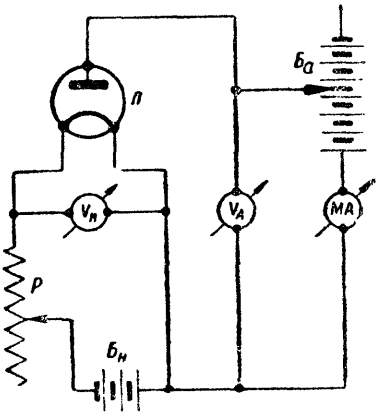


Рис. 187. Схема для снятия характеристик кенотрона

Кривая зависимости анодного тока от анодного напряжения при постоянном токе накала называется характеристикой 2-электродной электронной лампы. По этой характеристике легче, нежели по таблице, определить свойства и возможности применения в практической работе данной лампы. Из характеристики, изображенной на рис. 188, легко видеть, что анодный ток изменяется не везде одинаково. Нижний участок характеристики, соответствующий отложенному напряжению от 0 до 10 вольт, поднимается очень полого. На этом участке анодный ток увеличивается медленно и неравномерно. Средний участок характеристики, соответствующий напряжению от 10 до 50 вольт, круто поворачивает кверху, начиная от нижнего участка, и почти по прямой идет вверх. На этом участке анодный ток увеличивается почти равномерно и пропорционально напряжению на аноде. Верхний участок характеристики, соответствующий отложенному напряжению от 50 до 80 вольт, круто поворачивает вправо от среднего участка и, загибаясь, становится горизонтальным. На этом участке анодный ток увеличивается совсем медленно и к концу участка остается неизменным. Неравномер-

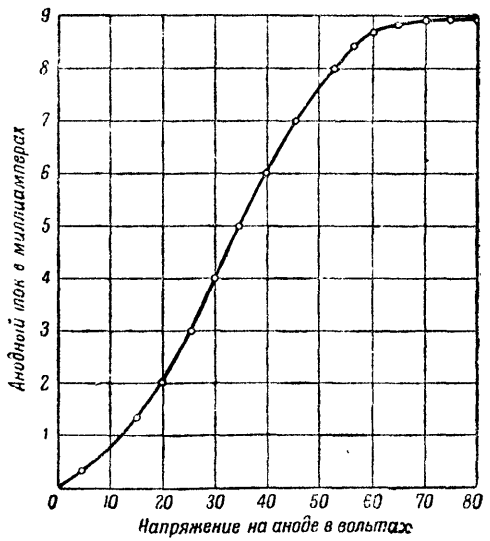


Рис. 188. Характеристика кенотрона — зависимость анодного тока от анодного напряжения при постоянном токе накала

ное увеличение анодного тока на разных участках кривой объясняется наличием пространственного заряда, который проявляет свое отталкивающее действие на вылетающие из катода электроны на разных участках кривой по-разному. В начале кривой, т. е. в точке, соответствующей отсутствию напряжения на аноде, анодный ток равен нулю. Это значит, что при отсутствии силы притяжения электронов анодом пространственный заряд проявляет свое отталкивающее действие на электроны не столь сильно, так что электроны не могут перелетать с нити на анод. С увеличением напряжения на аноде увеличивается и анодный ток в цепи анода, т. е. увеличивается количество электронов, долетающих до анода. Но прирост тока, т. е. увеличение количества электронов, долетающих до анода, происходит очень медленно при увеличении напряжения на аноде от 0 до 10 вольт, так как электроны испытывают довольно сильное противодействие со стороны пространственного заряда. При дальнейшем увеличении анодного напряжения, т. е. от 10 до 50 вольт, анод притягивает к себе все большее количество электронов, т. е. быстрее растет анодный ток на этом участке. При увеличении анодного напряжения выше 50 вольт анодный ток начинает увеличиваться снова медленно, т. е. начинает как бы ослабевать действие анодного напряжения. Это значит, что при этих напряжениях на аноде величина пространственного заряда становится очень незначительной, а следовательно, и очень слабо его противодействие электронам, так что почти все электроны, вылетающие из катода, притягиваются анодом. При напряжении, равном 75 вольтам, анодный ток совсем перестает увеличиваться. При этом анодном напряжении электронное облачко оказывается совершенно рассеянным, т. е. уничтожено всякое препятствие электронам на пути от нити к аноду, и электронный поток не изменяет своей величины, так как электроны, вылетающие из катода, все без исключения притягиваются анодом. Это наибольшее, предельное значение анодного тока, больше которого он не может быть, сколько бы мы ни увеличивали анодное напряжение при неизменяющемся токе накала, носит название тока насыщения, и необходимое для этого напряжение на аноде называется напряжением насыщения. Для получения анодного тока больше тока насыщения необходимо увеличить накал нити. При большем накале нити увеличится и количество электронов, излучаемых ею. Но для того чтобы и это увеличенное количество электронов могло быть притянуто анодом, необходимо подвести к аноду большее напряжение. Увеличивая анодное напряжение, мы снова

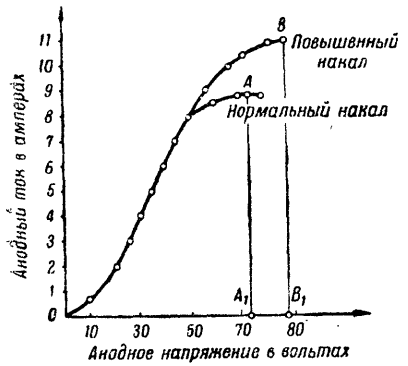


Рис. 189. Изменение тока насыщения при изменении накала нити

можем добиться притягивания анодом всех электронов, испускаемых нитью при усиленном накале, т. е. наступит вторичное насыщение тока.

Из рис. 189 видно, что ток насыщения при меньшем накале и пониженном напряжении на аноде определяется отрезком AA_1; при повышенном накале нити и большем напряжении на аноде ток насыщения определяется отрезком BB_1, более длинным, чем AA_1. Характеристика лампы имеет весьма важное значение. Она определяет все свойства, характерные для данной лампы, позволяет быстро определять значение тока в анодной цепи при любом напряжении на аноде, и наоборот. Характеристика дает возможность быстро определить, для каких целей может быть применена данная лампа.

81. ТРЕХЭЛЕКТРОДНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА

Чтобы иметь возможность управлять анодным током, ученый Ли-де-Форест ввел внутрь лампы третий электрод в виде металлической решетки, или сетки, поместив его между нитью и анодом, на пути движения электронов. Если к этому третьему электроду лампы подвести переменное напряжение, сила анодного тока будет также переменной. Таким образом, вводя внутрь 2-электродной электронной лампы третий электрод *С* между нитью и анодом (рис. 190), мы и получим электронную лампу с тремя электродами, одним из которых является нить накала, испускающая электроны, другим — анод, к которому притягиваются электроны, и третьим — металлическая сетка, которую будем называть просто сеткой. Такая лампа называется триодом, или 3-электродной электронной лампой.

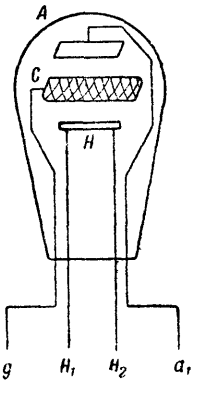


Рис. 190. Электронная лампа с тремя электродами (анодом — *А*, нитью — *Н* и сеткой *С*)

Для того чтобы сетка лампы могла влиять на величину анодного тока, т. е. на поток электронов, идущий от нити к аноду, она помещается между нитью и анодом, ближе к нити.

При подведении к сетке положительного напряжения анодный ток увеличивается, а при отрицательном напряжении на сетке он уменьшается. Таким образом, подводя к сетке то или иное напряжение, т. е. включая между сеткой и нитью лампы какой-либо переменный источник напряжения, мы можем воздействовать на изменение анодного тока. Другими словами, в 3-электродной лампе мы можем управлять величиной анодного тока. В зависимости от этого весьма важного свойства сетки управлять величиной анодного тока эту сетку называют управляющей сеткой.

Для практического получения основной для 3-электродной лампы зависимости анодного тока от напряжения на сетке соберем схему (рис. 191) из следующих деталей и приборов:

а) 3-электродной электронной лампы *Л*;

б) трех батарей (накала *Бн*, анодной *Ба* и сетки *Бс*);

в) 4 измерительных приборов (1 миллиамперметра *МА* и 3 вольтметров — *Vн*, *Va* и *Vc*);

г) реостата накала *Р*.

Установим нормальный накал нити по вольтметру *Vн* и нормальное анодное напряжение по вольтметру *Va*, которые и будем поддерживать неизменными на протяжении всего опыта. К сетке по вольтметру *Vc* подведем такое отрицательное напряжение, при котором миллиамперметр *МА* в цепи анода не обнаружит тока. Затем будем уменьшать отрицательное напряжение на сетке, включая в цепь сетки постоянно все меньшее число элементов и отмечая каждый раз (по вольтметру *Vc*) напряжение, подводимое к сетке, и силу тока (по миллиамперметру *МА*), возникающего в цепи анода. С уменьшением же подводимого к сетке отрицательного напряжения до нуля переключим батарею сетки плюсом к сетке, а минусом к отрицательному полюсу батареи накала и будем подводить к сетке положительное напряжение сперва от одного, затем от двух, трех и постепенно все большего и большего числа элементов, пока возрастающий ток в цепи анода не достигнет значения тока насыщения. Показания вольтметра *Vc*, т. е. величину положительного напряжения, подводимого к сетке, и показания миллиамперметра *МА*, т. е. величину силы тока в цепи анода, занесем в таблицу в виде двух горизонтальных строк.

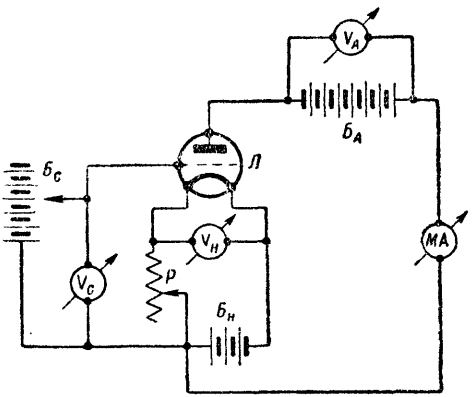


Рис. 191. Схема включения 3-электродной электронной лампы для снятия характеристики анодного тока в зависимости от напряжения на сетке

Для получения наглядной картины изменения анодного тока в зависимости от изменения напряжения на сетке по данным полученной нами таблицы начертим график (точно таким же способом, как мы чертили график зависимости анодного тока в 2-электродной лампе), откладывая напряжения на сетке по горизонтальной оси (вправо — положительные, а влево — отрицательные), а значения тока в цепи анода по вертикальной оси (рис. 192). Полученная нами кривая *2* будет представлять собой характер изменения анодного тока при изменении напряжения на сетке при постоянном напряжении на аноде и постоянном накале нити. По ней, как увидим дальше, легко определяются электрические свойства данной лампы. Такая кривая зависимости анодного тока от напряжения на сетке при постоянном напряжении на аноде и постоянном накале нити называется характеристикой 3-электродной лампы. Из этой характеристики, имею-

щей неодинаковые подъемы отдельных участков, видно, что анодный ток в лампе изменяется при разных напряжениях на сетке неодинаково. При отрицательном напряжении на сетке (в нашем случае), равном 8 вольтам, анодный ток равен нулю (кривая в этой точке только начинается). При уменьшении отрицательного напряжения на сетке от 8 до 4 вольт появившийся анодный ток постепенно увеличивается (кривая на этом участке имеет малый подъем). При дальнейшем уменьшении отрицательного напряжения на сетке, т. е. от 4 до 0 вольт, анодный ток увеличивается несколько быстрее (этот участок резко загибается вверх). Затем при положительном напряжении на сетке от 0 до 8 вольт анодный ток увеличивается наиболее быстро (характеристика на этом участке почти прямолинейна и наиболее круто идет вверх). При большом увеличении положительного напряжения на сетке, т. е.

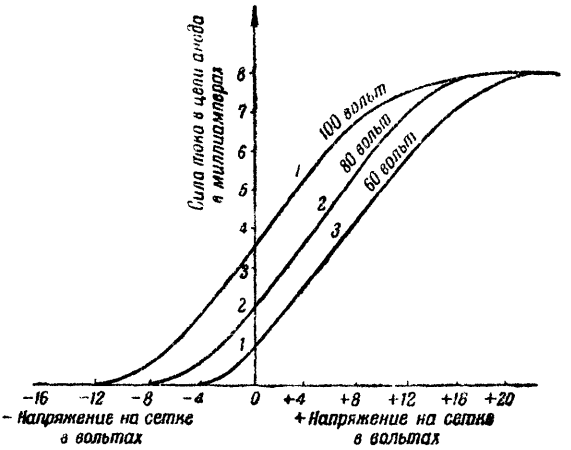


Рис. 192. Семейство характеристик 3-электродной лампы

от 8 до 12 вольт, ток в цепи анода увеличивается снова медленнее (кривая загибается вправо). С увеличением же положительного напряжения на сетке от 12 до 16 вольт увеличение анодного тока совсем замедляется (кривая на этом участке ложится). Большее же увеличение положительного напряжения на сетке совершенно не вызывает дальнейшего увеличения анодного тока (верхний участок кривой становится горизонтальным). Таким образом по характеристике мы можем наглядно проследить влияние напряжения сетки на анодный ток в лампе.

Полученная нами выше вторая характеристика (рис. 192) была снята при 80 вольтах напряжения на аноде; теперь сделаем анодное напряжение равным 60 вольтам и при этом неизменном напряжении на аноде снимем характеристику зависимости анодного тока от напряжения на сетке. Накал нити будем поддерживать таким же, как и при снятии характеристики с напряжением на аноде в 80 вольт. Изменяя напряжение на сетке и отмечая каждый раз показания приборов вольтмера *Vc* и

миллиамперметра *МА*, мы по данным этих отметок на том же самом чертеже, на котором изображена характеристика, снятая при 80 вольтах напряжения на аноде (рис. 192), построим характеристику зависимости анодного тока от напряжения на сетке при 60 вольтах на аноде. Полученная нами вторая характеристика при 60 вольтах напряжения на аноде, как видно из рис. 192, очень похожа на первую характеристику, снятую при 80 вольтах напряжения на аноде, т. е. обе характеристики имеют одинаковой величины ток насыщения, и затем вторая характеристика, начавшись несколько правее первой характеристики, от начальной точки до самого тока насыщения идет вверх, подобно первой характеристике.

Далее приложим к аноду 100-вольтовое напряжение и, оставляя его постоянным, а также оставляя постоянным и накал нити, т. е. таким же, как и при снятии первых двух характеристик, снимем третью характеристику зависимости анодного тока от напряжения на сетке. Изображенная на том же рис. 192 третья характеристика походит на две первые характеристики: она, так же как и вторая, подобна первой характеристике и имеет ту же величину тока насыщения, что и у двух первых характеристик, но только сдвинута левее первой характеристики на такое же расстояние, на которое вторая сдвинута вправо.

По этим трем характеристикам можем сделать вывод, что кривые по виду не меняются для разных анодных напряжений, но только сдвигаются относительно основной (в нашем случае относительно средней) характеристики вправо—при уменьшении анодного напряжения и влево—при увеличении анодного напряжения.

Ряд таких характеристик, снятых при разных анодных напряжениях, называют семейством характеристик лампы. Имея семейство характеристик лампы, можно легко по ним определить свойства этой лампы и возможность ее целесообразного применения.

82. ВЛИЯНИЕ ТОКА НАКАЛА НА ТОК НАСЫЩЕНИЯ

Рассматривая любую из характеристик зависимости анодного тока от напряжения на сетке при постоянном напряжении на аноде, например при 80 вольтах (рис. 192), и постоянном токе накала, мы видим, что она, как и две другие характеристики, имеет определенный ток насыщения, который, как мы знаем, не может быть увеличен за счет увеличения напряжения анода и сетки, так как электронный поток полностью притягивается совместными усилиями анода и сетки. Если немного увеличить ток накала, то и ток насыщения будет больше, чем при нормальном токе накала нити. Если же установить ток накала меньше нормального, ток насыщения будет также меньше, чем при нормальном накале. Увеличение тока насыщения при увеличении тока накала нити объясняется увеличением количества электронов, испускаемых катодом, и уменьшение тока насыщения при уменьшении накала объясняется уменьшением количества электронов,

испускаемых катодом. Таким образом изменением тока накала мы можем изменять величину тока насыщения.

При некоторых напряжениях на сетке могут появляться токи сетки, т. е. электроны могут попасть на сетку. Особенно легко появляется электрический ток в цепи сетки при сообщении сетке положительного напряжения. Чем большее положительное напряжение будем подводить к сетке, тем больше электронов попадет на нее.

Для большинства наших ламп приближенно считают ток сетки равным в среднем 0,1 величины анодного тока. Величина сеточного тока зависит от конструкции и от размера сетки. Чем гуще сетка и толще ее проволочки, тем больше сеточный ток при прочих равных условиях.

В большинстве случаев ток сетки ухудшает работу схемы, поэтому приходится принимать меры к его устранению.

При необходимости избавиться от присутствия сеточного тока нужно сетку поставить в такие условия, чтобы напряжения на ней всегда были отрицательными, но при этом анодный ток должен иметь достаточную величину. Это возможно при наличии левой характеристики (рис. 193). Но далеко не для всех ламп нужна левая характеристика. Устранения сеточного тока у таких ламп добиваются путем подведения к сетке соответствующего отрицательного (смещающего) напряжения. При больших положительных напряжениях на сетке в лампе может возникнуть явление так называемого динатронного эффекта.

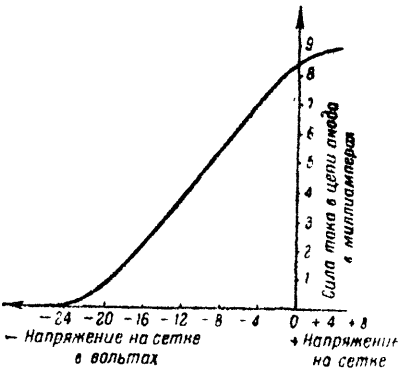


Рис. 193. Характеристика анодного тока, лежащая в области отрицательных сеточных напряжений (левая характеристика)

Сущность этого явления заключается в том, что находящиеся под высоким положительным напряжением сетка и анод своим притягивающим действием сильно увеличивают скорость движения летящих с катода электронов. Электроны, ударяясь с большой силой об сетку и анод, выбивают из них новые электроны, называемые вторичными, в отличие от электронов, излучаемых катодом. Количество выбиваемых вторичных электронов зависит от скорости движения первичных электронов, излучаемых катодом, а также от свойств поверхности металла электродов. Чем с большей скоростью двигаются первичные электроны, тем с большей силой они ударяются в сетку и анод и тем больше выбивают из них вторичных электронов.

Выбивание вторичных электронов, или динатронный эффект, наиболее легко происходит с электродов, покрытых налетом, образующимся из частиц металла, постепенно распыляющихся от катода. Лампы, в которых легко возникает явление динатронного эффекта, называют динатронными.

83. ПАРАМЕТРЫ ЛАМПЫ

Для характеристики усилительных свойств лампы применяются некоторые величины, постоянные для рабочего режима лампы; они называются параметрами и дают нам главнейшие соотношения между напряжениями сетки и анода и током в цепи анода.

Значения этих основных параметров лампы всегда указываются вместе с характеристикой в паспорте, прилагаемом к каждой лампе. По данным паспорта можно судить о свойствах лампы и о возможностях ее применения в радиосхемах. Параметры лампы можно легко определить непосредственно из семейства характеристик лампы.

Крутизна характеристики. Сравнивая две характеристики зависимости анодного тока от напряжения на сетке у двух разных ламп, например *ПТ-2* и *УБ-107*, снятые при нормальном для них токе накала и одинаковом напряжении на аноде, мы видим (рис. 194), что у лампы *УБ-107* характеристика идет вверх несколько круче, чем у лампы *ПТ-2*. По характеристике видно, что при одинаковом изменении напряжения на сетке у обеих ламп в цепи анода в каждой из них получаем неодинаковое изменение тока. Так, при изменении напряжения на сетке от 0 до +5 вольт у лампы *ПТ-2* имеем увеличение тока в цепи анода от 2 до 4,3 миллиампер, т. е. на 2,3 миллиампера. При том же изменении напряжения на сетке у лампы *УБ-107* получаем увеличение анодного тока от 4 до 8,7 миллиампера, т. е. увеличение тока на 4,7 миллиампера. Отсюда видно, что при одном и том же изменении напряжения на сетке у обеих ламп получаем неодинаковое изменение анодного тока. Анодный ток изменяется больше у той лампы, у которой характеристика поднимается вверх более круто. Отсюда и возникло понятие о крутизне характеристики лампы. Величина, показывающая, как круто поднимается кривая характеристики вверх, т. е. насколько увеличивается анодный ток при увеличении напряжения на сетке на 1 вольт, при постоянном анодном напряжении, называется крутизной характеристики и обозначается буквой *S*. Крутизна выражается в миллиамперах на вольт.

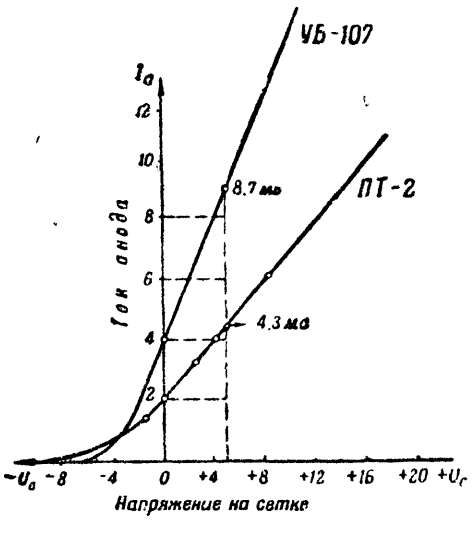


Рис. 194. Зависимость анодного тока от напряжения на сетке ламп *УБ-107* и *ПТ-2*

Коэфициент усиления. Выше мы выяснили, что изменение анодного тока можно получить как путем изменения на-

пряжения на сетке, так и через изменение напряжения на аноде.

По характеристике (рис. 195) проследим за ходом изменения анодного тока в зависимости от изменения напряжений на сетке и на аноде. При напряжении на аноде в 60 вольт и при нуле напряжения на сетке в цепи анода мы имеем ток в 2 миллиампера (точка *а* на кривой *I*). При напряжении же на аноде в 80 вольт и при том же нулевом напряжении на сетке ток в цепи анода равен 4 миллиамперам (точка *б* на кривой *II*). Таким образом, увеличивая напряжение на аноде на 20 вольт и оставляя при этом напряжение на сетке постоянным, мы имеем увеличение анодного тока от 2 до 4 миллиампер, т. е. на 2 миллиампера (от точки *а* до точки *б*). Но из кривой *I* видно, что увеличение анодного тока от 2 до 4 миллиампер, т. е. на 2 миллиампера, можно получить при увеличении напряжения на сетке от 0 до 2 вольт, т. е. на +2 вольта, при неизменном напряжении на аноде в 60 вольт (точка *в* на кривой *I*). Отсюда видим, что увеличивать ток в цепи анода можно либо путем увеличения напряжения на аноде, не изменяя при этом напряжения на сетке, либо путем увеличения напряжения на сетке при неизменном напряжении на аноде. Для изменения анодного тока на одну и ту же величину необходимо изменять напряжение на сетке значительно меньше, чем напряжение на аноде. В нашем примере увеличение напряжения на сетке от 0 до +2 вольт, т. е. на 2 вольта, вызывает такое же действие на анодный ток, как и увеличение напряжения на аноде от 60 до 80 вольт, т. е. на 20 вольт. Число, показывающее, во сколько раз изменение анодного напряжения больше изменения сеточного напряжения, необходимого для увеличения анодного тока на одну и ту же величину, называется коэфициентом усиления; он обозначается буквой μ. Коэфициент усиления есть величина отвлеченная и потому не выражается ни в каких единицах.

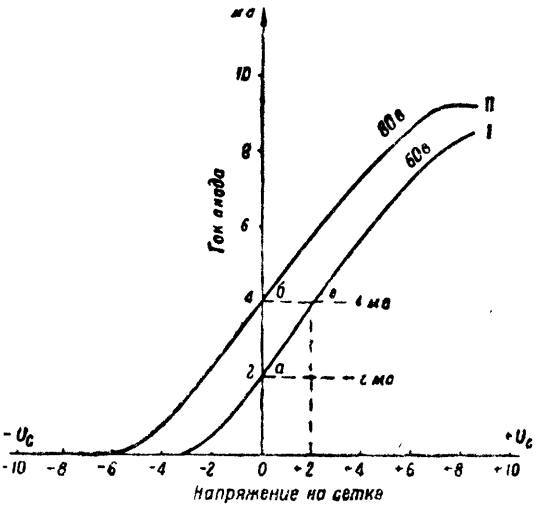


Рис. 195. Определение коэфициента усиления лампы по двум характеристикам $\frac{80-60}{\text{6в вольт}}=\frac{20}{2}=10$

Внутреннее сопротивление лампы. Последним из основных параметров лампы является ее внутреннее сопротивление. Выше мы видели, что при изменении напряжения на сетке в 3-электродной электронной лампе соответственно изменялась сила тока, про-

ходящего в цепи анода. Это значит, что безвоздушное пространство внутри электронной лампы обладает свойством под действием сеточного напряжения пропускать через себя то большее, то меньшее количество электронов, излучаемых нитью накала. Таким образом электронная лампа обладает свойством, которое присуще всякому проводнику, т. е. она обладает сопротивлением, вследствие чего и изменяется сила тока, проходящего через нее.

Внутреннее сопротивление лампы легко можно определить из того же рис. 195.

Как мы уже заметили, при изменении анодного напряжения на 20 вольт, т. е. с 80 до 60 вольт, анодный ток, при неизменном напряжении на сетке, уменьшился на 2 миллиампера—с 4 до 2 миллиампер. Внутреннее сопротивление лампы, которое обычно обозначается буквой R_i, будет равно:

$$R_i = \frac{(80-60)\,1\,000}{4-2} = \frac{20\,000}{2} = 10\,000 \text{ омов.}$$

В данном случае анодный ток нужно умножать на 1 000, чтобы миллиамперы превратить в амперы.

Между рассмотренными параметрами лампы существует следующая зависимость:

крутизна × внутреннее сопротивление = коэфициенту усиления,

или, выражая буквами, напишем:

$$S \times R_i = \mu.$$

S в этой формуле нужно брать в амперах на вольт.

84. МНОГОЭЛЕКТРОДНЫЕ ЛАМПЫ

Экранированная лампа. За последние годы появилась экранированная или 4-электродная лампа. В этой лампе мы имеем не одну сетку, как в 3-электродной лампе, а две. Вторая сетка расположена между первой сеткой и анодом и служит для уничтожения емкости между анодом и первой сеткой, наличие которой, как мы увидим дальше, является вредным.

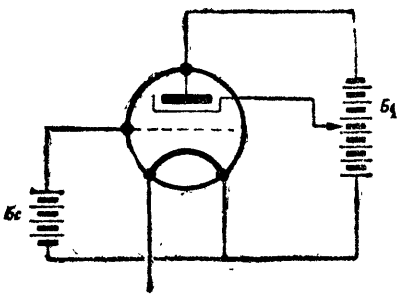


Рис. 196. Схема внешних включений экранированной лампы

Дополнительная сетка в этой лампе носит название экранирующей сетки. Вывод анода в этой лампе делается не на цоколе, а отдельно на верхней части баллона. Вывод от экранирующей сетки подводится к той ножке лампы, к которой в 3-электродной лампе подводится анод.

Схема внешних включений экранированной лампы остается такой же, как и в лампе с обыкновенной сеткой (рис. 196).

Так как очень густая экранирующая сетка расположена между анодом и управляющей сеткой, то она сильно ослабляет воздействие анода на электроны, излучаемые катодом, вследствие чего значительно увеличивается коэфициент усиления лампы. Вследствие сильного ослабления воздействия анода на электроны, излучаемые катодом, сильно увеличивается внутреннее сопротивление лампы, достигающее в экранированных лампах 1 000 000 омов. Крутизна характеристики в экранированных лампах остается, примерно, такой же, как и в обычных 3-электродных лампах.

Распределение токов между анодом и экранирующей сеткой зависит от величины напряжения на этих электродах: чем выше напряжение анода по сравнению с напряжением на экранирую-

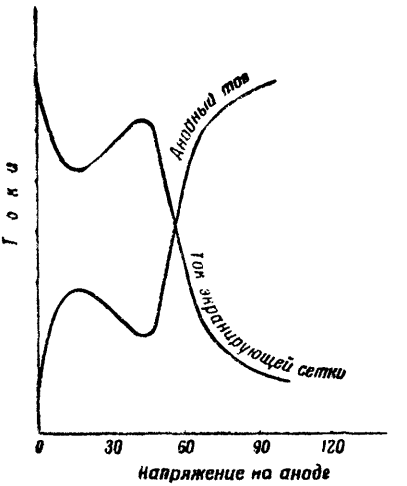


Рис. 197. Характеристика анодного тока и тока экранированной сетки в зависимости от напряжения на аноде при постоянном напряжении экранирующей сетки в экранированной лампе

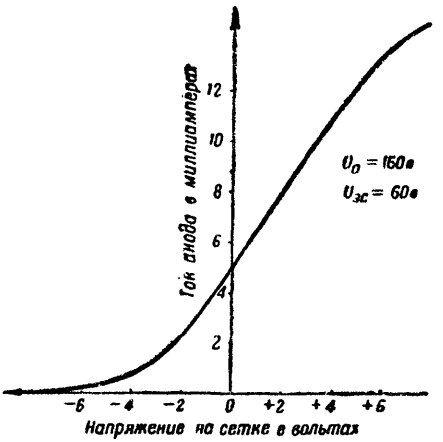


Рис. 198. Характеристика экранированной лампы

щей сетке, тем больше становится ток в цепи анода и меньше в цепи экранирующей сетки.

Примерный вид характеристик анодного и сеточного тока в зависимости от анодного напряжения при постоянном напряжении на экранирующей сетке представлен на рис. 197.

Рабочая часть анодной характеристики начинается с 50 вольт и выше. Ниже этого напряжения на анод давать нельзя, так как будет получаться динатронный эффект, т. е. анодный ток будет резко уменьшаться за счет вторичных, выбитых из анода, электронов, которые пойдут от анода к экранирующей сетке, т. е. навстречу электронам, идущим с катода.

Динатронный эффект внесет в работу лампы искажение.

На рис. 198 изображена характеристика экранированной лампы: ток анода в зависимости от напряжения на управляющей сетке, при постоянном напряжении на аноде, равном 160 вольт, и напряжении на экранирующей сетке, равном —60 вольт.

Из этой характеристики и из характеристики рис. 197 можно определить параметры экранированной лампы. Как и в 3-электродной лампе, зависимость между параметрами ламп будет:

$$S \times R_i = \mu.$$

Преимущества экранированной лампы перед 3-электродной не исчерпываются только отсутствием вредной емкости между анодом и управляющей сеткой. Экранированная лампа при усилении высокой частоты, вследствие большого внутреннего сопротивления, имеет максимально возможную рабочую крутизну, поэтому она усиливает в большее количество раз, чем 3-электродная лампа. Кроме того, вследствие большого внутреннего сопротивления лампы колебательный контур, включенный в анодную цепь лампы, не увеличивает своего сопротивления, а следовательно, и затухания, поэтому его избирательность будет больше.

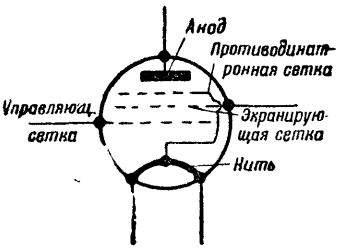


Рис. 199. Схема электродов пентода

Пентод. Наличие динатронного эффекта у экранированной лампы сильно ограничивает ее возможности, особенно при усилении низких частот. Для устранения динатронного эффекта были предложены 5-электродные лампы, или пентоды. У пентодов между анодом и экранирующей сеткой помещена еще одна сетка — противодинатронная; эта сетка присоединяется к катоду. Заряженная отрицательно по отношению к аноду, она отталкивает вторичные электроны обратно к нему, вследствие чего уничтожается падающий участок характеристики, показанный на рис. 197. На рис. 199 изображена схема пентода, а на рис. 200 — его анодная характеристика. Пентоды применяются как для усиления низких частот, так и для усиления высоких частот. У пентодов для усиления низких частот емкость между анодом и управляющей сеткой не имеет существенного значения, поэтому выводы от всех электродов сделаны на цоколе. Преимущество низкочастотного пентода по сравнению с 3-электродной лампой заключается только в том, что при его применении можно получить значительно большее усиление. Преимущества

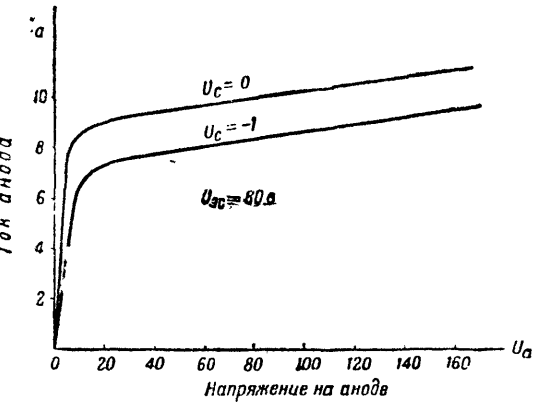


Рис. 200. Анодная характеристика пентода

пентода для усиления высоких частот перед экранированной лампой заключаются, во-первых, в том, что у него нет динатронного эффекта, и, во-вторых, в том, что его внутреннее сопротивление при той же крутизне еще выше, чем у экранированной лампы; следовательно, как мы уже рассматривали выше, его преимущества перед 3-электродной лампой будут еще больше, чем у экранированной лампы. В настоящее время в новых конструкциях приемников высокочастотный пентод почти полностью вытеснил экранированную лампу.

Лампы „варимю“. Как видно из характеристики экранированной лампы на рис. 198, анодный ток при увеличении отрицательного напряжения на сетке быстро уменьшается. В некоторых случаях нам невыгодно иметь характеристику экранированной лампы или высокочастотного пентода с быстро убывающим анодным током.

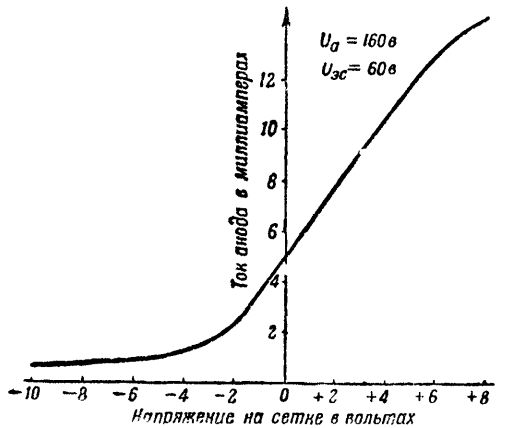


Рис. 201. Характеристика лампы „варимю“ (с переменной крутизной)

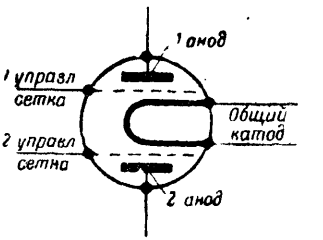


Рис. 202. Схема двойного триода

Для того чтобы сделать характеристику лампы более пологой в ее нижней части, управляющую сетку делают неравномерной, т. е. с разными расстояниями между витками. Тогда на разных своих участках управляющая сетка будет по-разному регулировать анодный ток, и характеристику лампы можно сделать такой, как на рис. 201. Из этой характеристики видно, что анодный ток в нижней части медленно уменьшается, лампа, как говорят, имеет большой „хвост“. Такие лампы называются „варимю“ или лампами с переменной крутизной. Об их применении сказано в главе об усилителях.

Двойной триод. Для получения большой мощности на выходе приемника, при небольшом расходе анодного тока, применяют специальную лампу — двойной триод. По существу, в этом случае мы имеем две 3-электродные лампы, заключенные в одном баллоне. Каждая из этих ламп действует независимо и не влияет на другую. На рис. 202 изображена схема этой лампы.

Смесительные лампы. До сих пор мы рассматривали лампы, которые при использовании их в приемнике или передатчике выполняют только одно назначение, например, одна лампа усиливает, другая генерирует и т. д.

В настоящее время стали широко применяться лампы, которые одновременно могут выполнять несколько назначений; эти лампы носят название смесительных. К числу этих ламп относятся двойные диоды-триоды и двойные диоды-пентоды. На рис. 203 изображена схема лампы двойного диода-пентода.

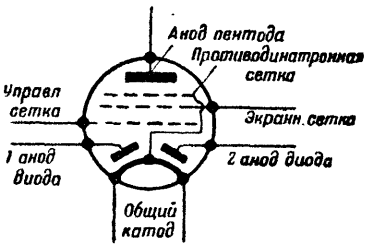


Рис. 203. Схема двойного диода-пентода

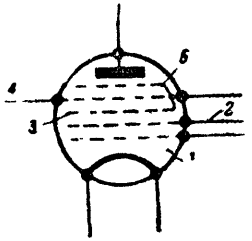


Рис. 204. Схема пентагрида-конвертера

Эта лампа содержит в себе три части: два маленьких диода и один пентод. Катод в этой лампе общий.

О применении этих ламп будет сказано в главе о детекторах. Наиболее сложной из смесительных ламп является пентагрид и ее дальнейшее усовершенствование — октод.

На рис. 204 изображена схема лампы пентагрида-конвертера. В этой лампе 5 сеток. Роль управляющей сетки здесь выполняет сетка *4*. Экранирующая сетка состоит из двух сеток *3* и *5*, она экранирует управляющую сетку и от анода и от сеток *1* и *2*. Поскольку управляющую сетку нужно экранировать от всех других электродов, вывод от нее сделан не на цоколе, а на верхушке баллона, в том месте, где в экранированной лампе и пентоде выводится анод; анод пентагрида выведен на цоколе. О назначении первых двух сеток, а также назначении всей лампы в целом будет сказано в главе о приемниках. Октод отличается от пентагрида тем, что в нем добавлена еще одна сетка — противодинатронная, между анодом и экранирующей сеткой. Назначение этой сетки такое же, как у пентода. На рис. 205 показана схема пентагрида, который, в отличие от изображенного на рис. 204, называется пентагридом-смесителем. Роль управляющей сетки здесь выполняет сетка *1*, экранирующая сетка состоит из сеток *2* и *4*, сетка *5* — противодинатронная, сетка *3* присоединяется к сетке дополнительного триода, с которым этот пентагрид обычно и применяется.

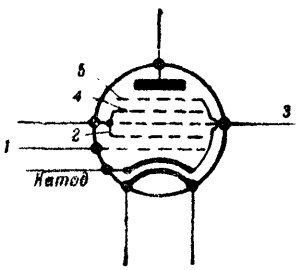


Рис. 205. Схема пентагрида (смесителя) с подогревным катодом

Лампы с металлическим баллоном. В современных приемниках лампа — наиболее сложная и наиболее дорогая его деталь, поэтому усовершенствование ламп шло не только по линии

улучшения электрических свойств (параметров), но и ее механических свойств — уменьшению габаритов, увеличению механической прочности и т. д. Наиболее крупные успехи в этой части были достигнуты в Америке, где выпущены лампы с металлическим баллоном. В настоящее время эти лампы начинают

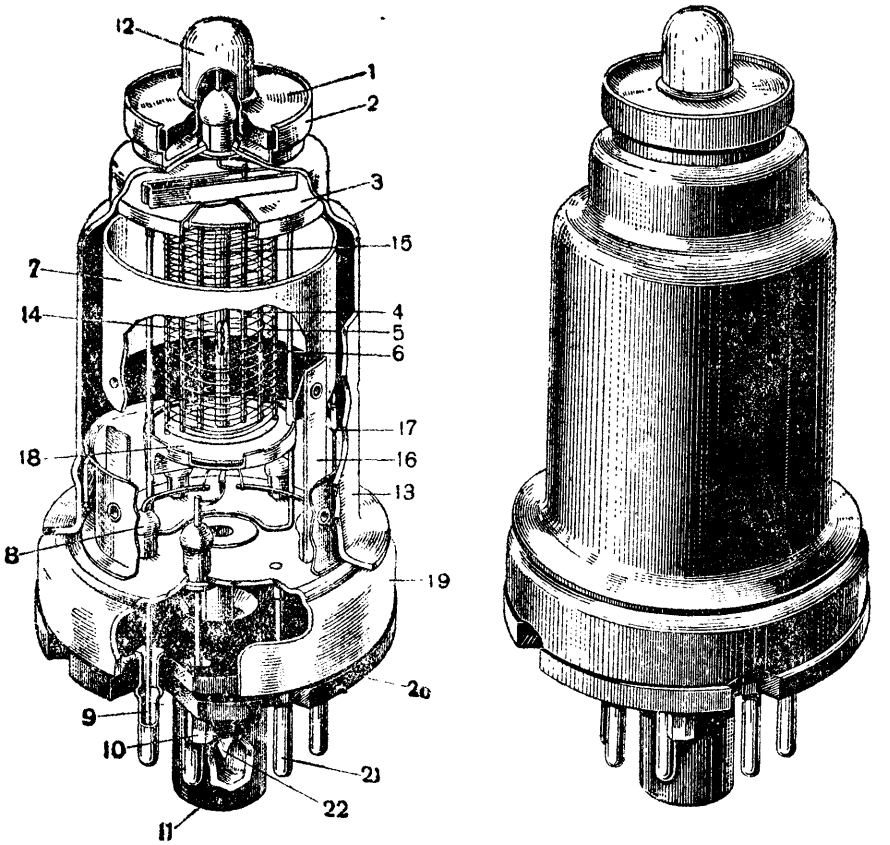


Рис. 206. Лампы с металлическим баллоном

1 — изолирующая крышка; *2* — держатель крышки; *3* — экранировка вывода сетки; *4* — управляющая сетка; *5* — экранирующая сетка; *6* — антидинатронная сетка; *7* — анод; *8* — стеклянный выводной изометр; *9* — выводной провод; *10* — направляющая шпилька; *11* — направляющий штырь; *12* — вывод сетки; *13* — воздухонепроницаемый стальной чехол; *14* — спиральная нить накала; *15* — катод; *16* — изолирующий держатель анода; *17* — вывод анода; *18* — изолирующая прокладка; *19* — основание (сваренное с чехлом); *20* — восьмиштырьковый цоколь; *21* — контактная ножка; *22* — трубка для откачки лампы

выпускаться и у нас. В лампах с металлическим баллоном не только сохранены все электрические свойства ламп со стеклянным баллоном, но даже несколько улучшены,—и это сделано при значительно меньших размерах и большей механической прочности. На рис. 206 изображена лампа с металлическим баллоном; лампы с металлическим баллоном значительно меньше соответствующих ламп со стеклянным баллоном.

ТАБЛИ

Малые элек

Название	Данные ламп					Рабо		
	Тип	Баллон	Размер		Катод	напряжение накала, вольты	ток накала амперы	эмиссия, миллиамперы
			высота, *мм*	диаметр, *мм*				
Экранированная . . .	СБ-112	стеклян.	130	45	прямого накала	4	0,08	15
Триод	УБ-107	„	100	40	то же	4	0,08	18
„	УБ-110	„	100	40	„	4	0,08	18
„	УО-3	„	145	60	„	3,6	0,2—0,3	45
„	УК-30	„	145	60	„	5,6	0,7—0,9	110
„	УО-104	„	155	63	„	4	0,7—0,8	200
Экранированная . . .	СО-124	„	150	50	подогр.	4	0,8—1,1	30
Триод	СО-118	„	140	55	„	4	0,8—1,1	50
Диод	ВО-116	„	150	64	пр. нак.	4	1,7—2,2	115
Триод	П-7	„	110	35	то же	3,8	0,06—0,07	6
„	ГК-36	„	135	54	„	5,6	0,7—0,95	200
Экранирован. „варимю“	СБ-151	„	125	45	„	4	0,075	
Триод	УБ-152	„	100	35	„	2	0,1	
Пентод низкой частоты	СБ-155	„	120	50	„	2	0,3	
Пентагрид-конвертер	6-А8	металлич.	80	33	подогр.	6,3	0,3	
Пентод в. ч.	6-К7	„	80	33	„	6,3	0,3	
Триод	6F5	„	67	33	„	6,3	0,3	
Пентод н. ч.	6F6	„	83	33	„	6,3	0,7	
Пентагрид (смеситель)	6L7	„	80	33	„	6,3	0,3	
Двойной диод	6H6	„	42	33	„	6,3	0,3	
Выпрямитель (двойной диод)	5Z4	„	130	33	„	5	2	
Двойной[1] диод-пентод	6B8	„	80	33	„	6,3	0,3	
Двойной[2] диод-триод .	6Q7	„	67	33	„	6,3	0,3	
Мощный лучевой усилитель	6L6	„	120	40	„	6,3	0,9	
Триод	955	стекл. „жолудь“	45	20	„	6,3	0,15	
Пентод в. ч.	954	то же	45	20	„	6,3	0,16	
Триод		стекл. „малгат“	80	25	прямого накала	2	0,12	
Пентод в. ч.		то же	85	25	то же	2	0,12	
Пентод н. ч.		„	80	25	„	2	0,18	
Пентагрид		„	85	25	„	2	0,16	

[1] В лампе 6B8 диодная часть такая же, как у 6H6.
[2] В лампе 6Q7 диодная часть такая же, как у 6H6.

тронные лампы

чие условия в характеристики								
анодное напряжение вольты	напряжение на экранирующей сетке вольты	напряжение на сетке вольты	анодный ток миллиамперы	крутизна милли-амперы на вольт	коэффициент усиления	рассеивание мощности на аноде, ватты	Срок службы часы	Применение
160	80	—2,0		0,75	250—500	1,5	500	Усил. высок. частоты, детектор.,
120		—2,0		1,1—1,3	9—13	1,5	500	Генерат., детект. усилит. низк. част.
160		—2,0		1,1—1,3	20—30	1,5	500	То же.
160		0,2		2—3	7—12	3	500	Усил. низк. част.
400		—15, —10		1,2—1,9	8—12	8	150	Генераторн.
240		—40, —30		2,7—3,7	3,5—4,5	12	300	Усилитель н. ч.
160	60	—2,0		1,6—2,4	250		500	Усилитель в. ч.
240		—2,0		1,8—2,7	28—38	4	500	Детектор, усилитель н. ч.
—		—		—	—	10	300	Выпрямитель.
80		—2, +2		0,27—0,42	8,5—11,5		500	Усилитель н. ч., детект., гетерод.
750		—10		1,5—2	48—58	20	300	Генераторн.
160	60	—2		0,85	500			Усилитель в. ч.
80		—2		1,5	13			Усилитель н. ч., детект., гетерод.
120	60—100	—2,0		1,5	150			Усилитель н. ч.
250	100	—3	4	1,6				1-й детектор преобразователь.
250	100	—3	7	1,4	1200			Усилитель в. ч.
250		—2	0,9	1,5	100			Усилитель н. ч., детект., гетерод.
250	250	—16,5	34	2,3	185			Усилитель н. ч.
250	150	—6	3,3	1,5				1-й детектор преобразователь.
100 макс.		—15	2 макс.					2-й детектор АРГ.
400 макс.			125 макс.					Выпрямительн.
250	100	—3	10	1,3	800			2-й детектор, усилитель н. ч.
250		—3	1,1	1,2	70			То же.
250	250	—14	72	6	135			Мощный усилитель н. ч.
180		—5	4,5	2	25			Усилитель н. ч., детект., генерат.
250	100	—3	2	1,5	2000			Усилитель в. ч., детектор.
120		0	5	1,5	23			Усилитель н. ч., детект., гетерод.
120	70	—3	3—5	1,2	1200			Усилитель в. ч.
120	100	—3	8	2	300			Усилитель н. ч.
120	70	—3	5,5	0,3—0,7	25—140			1-й детектор преобразователь.

„Желудевые" лампы. Обычные 3-электродные и многоэлектродные лампы усиливают приходящие высокочастотные колебания только до волн порядка 5—10 *м*. На волнах более коротких они не только не усиливают, но даже ослабляют. Невозможность получить усиление на УКВ с обычными лампами объясняется наличием внутриэлектродных емкостей и самоиндукций выводных концов, а также большими внутриэлектродными расстояниями; вредное действие перечисленных факторов увеличивается с уменьшением волны. Волны порядка 5—10 *м* являются пределом, ниже которого применять обычные лампы нельзя. За последнее время были сделаны исключительно малые по размеру, так называемые „желудевые" лампы; такое название дано потому, что эти лампы и по размерам и по форме напоминают жолудь (рис. 207). Поскольку сама лампа

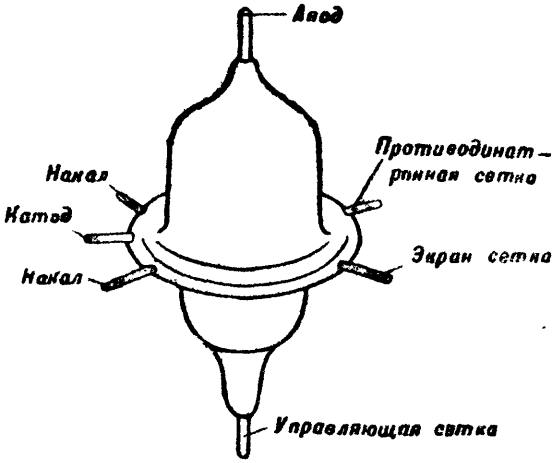


Рис. 207 Расположение выводов электродов желудевой лампы

очень маленькая, ее электроды еще меньше, следовательно, емкости между электродами, самоиндукция выводных концов и внутренние зазоры будут значительно меньше, чем у лампы обычного размера.

Вследствие этого желудевые лампы могут усиливать высокочастотные колебания на волнах короче 5 *м*, вплоть до волн 70 *см*.

В этом их преимущество перед лампами обычного типа; их очень малые размеры сулят небывалые возможности для конструирования маленьких приемников.

Часто многоэлектродные лампы называют по числу имеющихся у них электродов:

2 электрода — диод;
3 электрода — триод;
4 электрода — тетрод;
5 электродов — пентод;
6 электродов — гексод;
7 электродов — гептод;
8 электродов — октод.

ТАБЛИЦА XI

Генераторные лампы средней мощности

Наименование типов ламп		Размеры		Напряжение накала	Ток накала	Электрическая эмиссия катода	Средний срок службы катода	Анодное напряжение	Максимальн. рассеивание мощи. на аноде	Коэфициент усиления	Крутизна	Пониженное анодное напряжение
		высота	диаметр								миллиампер / вольт	
новое	прежнее	*мм*	*мм*	вольт	ампер	миллиампер	часов	вольт	ватт			вольт
Г-46	ГТ-10	220—240	57— 63	11	3,8— 4,4	170— 330	400	1 500	80—100	44— 66	1,5 —2,2	400— 500
Г-47	Б4-250	325—355	72— 78	11,3	3,5 —4,1	150— 280	500	3 000	150	56— 84	1,15—1,75	500— 700
Г-49	Б5-250	325—355	72— 78	11	5,8— 6,8	295— 545	1 000	3 000	150	68—102	1,9 —2,8	500— 700
Г-54	БТ-500	395—425	97—103	17	7,8— 9,2	595—1 105	1 000	3 000	500	75—115	2,8 —4,2	500— 700
Г-55	БК-500	345—375	—200	17	7,8— 9,2	595—1 105	1 000	3 000	400	38— 56	2,8 —4,2	500— 700
Г-29	Г-29	480—520	193—207	16	9,5—11,1	840—1 500	1 000	10 000	400	200—300	2,6 —3,8	800—1 000
Г-56	Г2-100	475—505	193—207	16	9,5—11,1	840—1 560	1 000	10 000	400	200—300	2,6 —3,8	800—1 000
Г-58	Г2-300	465—495	193—207	17	16,6—19,4	1 600—3 000	1 000	10 000	1 000	160—240	4,0 —6,0	800—1 000
С-106	Станд. № 2	310—340	72— 78	11	5,8— 6,8	295— 545	750	3 000	100	260—250	1,2 —1,8	500
С-109	Станд. № 3	415—445	95—105	17	9,5—11,1	525— 975	1 500	3 000	400	300—500	3,5 —4,3	500
Г-103	Станд. № 4	465—495	193—207	17	16,6—19,4	1 300—2 560	1 000	4 000	750	100—200	2 —3,4	1 000
М-41	ГТ-5	220—240	87— 93	11	3,2— 3,8	190— 350	200	1 200	50	8— 12	1,15—1,75	400— 500
М-84	МТ-10	240—250	57— 63	11	3,2— 3,8	190— 325	200	1 200	80	9— 12	1,15—1,75	400— 500
С-166	Экранированная	—	—	17	18	—	—	3 500	750	400	3,5	500
СК-158	»	—	—	5,6	0,85	—	—	750	—	400	1,75	150
СК-164	»	—	—	4	1,6	—	0,25	750	25	400	1,6	150
803	Пентод	—	—	10	5	—	—	2 000	125	—	4	500
807	Лучевая Экранированная	—	—	6,3	0,9	—	—	400	21	—	6	300

Примечание. Для экранированных ламп в графе „Пониженное анодное напряжение" стоит напряжение на экранирующей сетке.

85. ПОДОГРЕВНЫЕ ЛАМПЫ

Во всех рассмотренных выше лампах нить накаливается непосредственно идущим через нее током, вследствие чего излучаются электроны. Такие лампы называются лампами с прямым накалом, их нити можно накаливать только постоянным током; переменным током их накаливать нельзя, так как при этом получается фон переменного тока. Для накала нити от переменного тока делаются лампы с косвенным накалом, или, как их называют, **подогревные** лампы.

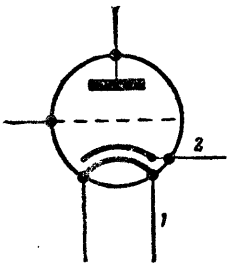


Рис. 208. Схема 3-электродной подогревной лампы

В подогревных лампах электроны излучает не сама накаливаемая током нить, а прогреваемый от нити катод, который расположен вокруг нити и не связан с нею электрически. На рис. 208 изображена схема 3-электродной подогревной лампы. Подогревные лампы имеют значительно лучшие параметры, чем лампы с прямым накалом. Единственный недостаток подогревных ламп — это сравнительно большой ток накала. Вследствие этого недостатка для накаливания постоянным током их применяют только в тех случаях, когда расход тока на накал не играет существенной роли.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Для чего нить лампы помещают в вакууме?
2. Что такое диод и где он применяется?
3. Какая зависимость дается в характеристике диода?
4. Отчего возникает пространственный заряд?
5. Что такое триод и где он применяется?
6. Как зависит ток анода от накала нити?
7. Какие параметры характеризуют 3-электродную лампу?
8. Какие экранированные лампы вы знаете?
9. Для чего применяют экранированные лампы?
10. Назовите типы ламп, установленные в батальонной радиостанции, и их параметры.
11. Какие многоэлектродные лампы имеют применение в войсковых рациях?

ГЛАВА X

ЛАМПА КАК УСИЛИТЕЛЬ

86. ВВЕДЕНИЕ

В главе IX мы ознакомились с понятием о коэфициенте усиления лампы и выяснили вопрос о том, как происходит изменение анодного тока лампы в зависимости от изменения напряжения на ее сетке. Напомним, что коэфициент усиления лампы

показывает, во сколько раз изменение анодного напряжения больше изменения сеточного напряжения, необходимого для увеличения анодного тока на одну и ту же величину.

Следовательно, для получения изменений в анодном токе значительно выгоднее пользоваться изменением напряжения на сетке лампы.

Усилительное действие лампы и состоит в том, что, подводя к сетке небольшое меняющееся напряжение, мы получаем в анодной цепи лампы изменения анодного тока, происходящие в значительных пределах. К рассмотрению вопроса о том, какие явления при этом происходят, мы и перейдем.

87. ИСКАЖЕНИЯ ПРИ УСИЛЕНИИ

Из предыдущего ясно, что если заставить напряжение на сетке меняться, то анодный ток будет также меняться, причем эти изменения будут происходить в такт изменениям напряжения на сетке: при уменьшении отрицательного напряжения на сетке анодный ток будет увеличиваться и при увеличении отрицательного сеточного напряжения—уменьшаться. Если работу лампы поддерживать в таком состоянии, чтобы при уменьшении отрицательного напряжения на сетке анодный ток не достигал величины тока насыщения, а при увеличении отрицательного напряжения на сетке не падал до нуля, то всякому изменению величины сеточного напряжения будет соответствовать изменение анодного тока. Если теперь этот изменяющийся анодный ток пропустить через какое-либо сопротивление (например, через катушку самоиндукции), то на его концах получим изменение напряжения. Это изменение напряжения вследствие усилительного действия лампы будет происходить в бо́льших пределах, нежели изменение напряжения на сетке, и будет иметь такую же точно форму, какую имело напряжение на сетке лампы. Следовательно, в выбранном нами режиме работы лампы усиление будет происходить без искажений, т. е. форма изменения напряжения в анодной цепи лампы будет в большем масштабе повторять форму напряжения, приложенного к сетке лампы.

Если же сеточное напряжение будет изменяться таким образом, что с одной стороны ток анода будет доходить до тока насыщения, а с другой—падать до нуля, то получим следующую картину (рис. 209).

Напряжение на сетке меняется от значения —2,5 вольта до значения +2,5 вольта, плавно переходя через все промежуточные значения. Это изменение графически показано в виде кривой и нижней части рис. 209. Изменению напряжения на сетке будет соответствовать изменение анодного тока. Кривая, по которой происходит изменение тока анода, может быть построена следующим способом. Когда напряжение на сетке равно нулю, ток анода равен 3 миллиамперам. При увеличении положительного напряжения на сетке ток анода увеличивается; при

напряжении на сетке +2 вольта ток анода равен току насыщения, т. е. 6 миллиамперам, и дальнейшее увеличение напряжения на сетке уже не повышает тока анода. При изменении напряжения на сетке от нуля до —2 вольта ток анода падает от 3 миллиампер до нуля, причем дальнейшее увеличение отрицательного напряжения на сетке от —2 вольт никакого действия на анодный ток не оказывает; последний прекратился при —2 вольтах.

Таким образом становится ясным, что изменение тока анода не полностью следует за изменениями напряжения на сетке, а существуют два промежутка: от +2 до +2,5 вольта и от —2 до —2,5 вольта, где, несмотря на изменение сеточного напряжения, ток анода не изменяется. Из рисунка видно, что кривая анодного тока не полностью походит на кривую сеточного напряжения, а имеет срезанные вершины. Благодаря такой разнице в изменениях анодного тока и сеточного напряжения усилитель будет искажать те колебания, которые он должен усиливать.

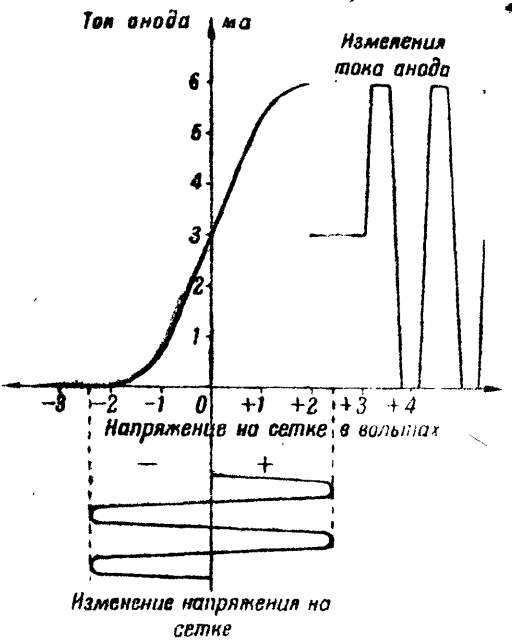


Рис. 209. Графическое изображение искаженного усиления

Искажения принимаемых сигналов будут происходить и в том случае, когда изменение анодного тока перестает следовать за изменением сеточного напряжения только около нулевого значения анодного тока или только около значения тока насыщения.

Из сказанного становится ясным, что для работы усилителя без искажений необходимо, чтобы анодный ток не падал до нуля и не превосходил тока насыщения. Для этого на сетку лампы дают так называемое смещение, т. е. в цепь сетки включают небольшую батарею (от 1,5 до 5 вольт) с таким расчетом, чтобы ее минусовый полюс был присоединен к проводу, идущему к сетке. Величина этого смещающего напряжения зависит от типа лампы и обычно указывается на паспорте, прилагаемом к каждой лампе.

При таком смещении в анодной цепи лампы все время будет проходить некоторый ток. При появлении сигнала этот ток будет то увеличиваться, то уменьшаться, в зависимости от того, в каком направлении меняется напряжение на сетке. При этом амплитуда, т. е. наибольшее значение этого напряжения на

сетке, выбирается такой, чтобы, с одной стороны, анодный ток не достигал тока насыщения и, с другой стороны, не падал до нуля. Тогда переменное напряжение, получающееся в анодной цепи, будет в точности такой же формы, как и напряжение на сетке, но только будет значительно сильнее. В этом случае усиление происходит без искажений.

Графически это показано на рис. 210. Здесь на сетку лампы дано предварительное смещающее напряжение, равное 1 вольту. Около этого значения происходят колебания напряжения на сетке на 0,8 вольта в каждую сторону. Рабочая точка лампы подобрана таким образом, чтобы она находилась в середине прямолинейной части характеристики. Амплитуда переменного напряжения на сетке не заходит за значения, соответствующие началу нижнего и верхнего загибов характеристики. При этих условиях кривая анодного тока будет полностью повторять кривую сеточного напряжения.

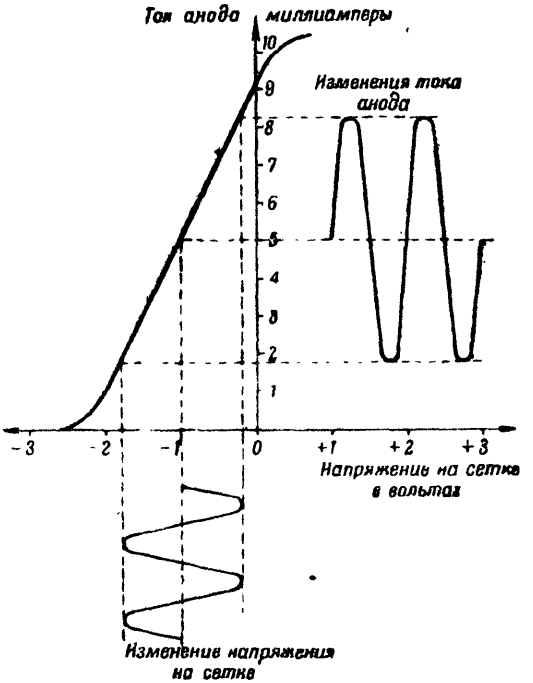


Рис. 210. Графическое изображение неискаженного усиления

Отрицательное смещение на сетке лампы можно получать с помощью батареи, но существует также способ, при котором это смещение получается автоматически без помощи батарей. Этот способ мы рассмотрим в конце главы, когда будем разбирать схемы усилителя. Разобранный нами способ усиления, когда рабочая точка лампы при помощи смещения устанавливается на середине прямолинейной части характеристики, носит название усиления по классу А. По этому методу усиления работают обычно усилители высокой частоты, большинство усилителей низкой частоты и двухтактные схемы усилителей низкой частоты (схемы пуш-пуль). Этот метод дает наилучшие результаты в смысле отсутствия искажений.

88. УСИЛИТЕЛИ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ

Познакомившись с основами работы усилительной лампы, перейдем к рассмотрению наиболее часто применяемых схем приемников, в которых применено усиление высокой или низкой

частоты, причем рассмотрение начнем со схем усилителей низкой частоты.

Под усилителем низкой частоты нужно понимать такой усилитель, который применяется для усиления сигналов, обнаруживаемых ухом, т. е. слышимых. Слышимые сигналы имеют низкую (звуковую) частоту, или, иначе говоря, низкое число колебаний в секунду.

Усилители низкой частоты применяются почти в каждом приемнике, для того чтобы получить громкий прием сигналов на телефон или на репродуктор (громкоговоритель). Усилитель низкой частоты применяется также для усиления речей ораторов, на радиовещательных станциях для предварительного усиления речи или музыки и т. п.

Самой простой и частоприменяемой является так называемая схема усиления на сопротивлениях. Эта схема в применении к 2-ламповому усилителю показана на рис. 211. На сетку первой

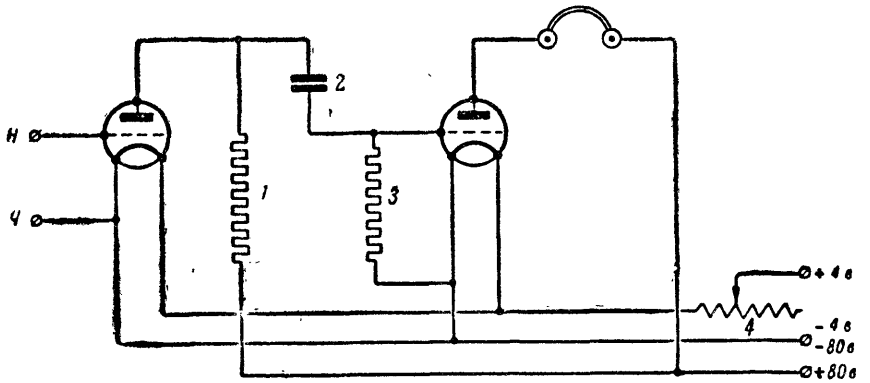


Рис. 211. Схема 2-лампового усилителя низкой частоты на сопротивлениях

лампы (зажимы *Н, Ч*) подаются колебания низкой частоты, полученные каким-либо способом, например от микрофона. В анодную цепь первой лампы включено сопротивление *1*, через которое анод соединяется с положительным полюсом анодной батареи. Между анодом первой лампы и сеткой второй лампы стоит конденсатор постоянной емкости *2*, называемый переходным, или разделительным, а между сеткой второй лампы и ее нитью включено еще одно сопротивление *3*, называемое сопротивлением утечки. В анодной цепи второй лампы между положительным полюсом анодной батареи и анодом лампы включен телефон. Для регулировки накала лампы служит реостат *4*. Работа схемы происходит следующим образом. Звуковые колебания, попадая на сетку первой лампы, вызовут в ее анодной цепи такие же по форме колебания анодного тока. Этот ток, проходя через сопротивление *1*, которое носит название анодного сопротивления, вызывает на его концах переменное падение напряжения, которое через разделительный конденсатор попадает на сетку второй лампы, так как переменные токи свободно проходят через кон-

денсатор *2*. Это переменное напряжение будет уже усилено, т. е. будет в несколько раз больше, чем напряжение на сетке первой лампы. Действуя на сетку второй лампы, это усиленное напряжение вызывает в ее анодной цепи изменения анодного тока еще более сильные, чем это было в аноде первой лампы. Этот ток будет уже проходить через обмотки телефона, включенного в анодную цепь второй лампы, в результате чего мы услышим звук, соответствующий тем колебаниям, которые пришли к сетке первой лампы. Если теперь для опыта включить телефон на входные зажимы усилителя, т. е. между сеткой и нитью первой лампы, то мы услышали бы те же самые сигналы, но значительно слабее. Следовательно, сигналы благодаря работе схемы стали сильнее, и потому принимать их стало значительно легче. При правильном подборе величин, составляющих схему, работа будет происходить без искажений, с достаточно большой степенью усиления.

Каково назначение отдельных частей схемы? Про лампы говорить не приходится, ибо они являются основой всей работы. Анодное сопротивление *1*, как уже было сказано выше, служит для того, чтобы на нем выделить переменное напряжение, передаваемое на сетку следующей лампы. Между анодом первой лампы и сеткой второй лампы включен конденсатор *2*, который мы назвали разделительным и который имеет два назначения: во-первых, через этот конденсатор переменное напряжение из анодной цепи первой лампы передается в цепь сетки второй лампы, так как известно, что через емкость переменный ток проходит легко, и, во-вторых, он защищает сетку второй лампы от большого постоянного положительного напряжения, подаваемого на анод первой лампы, так как конденсатор постоянного тока не пропускает. Если бы это высокое положительное напряжение попало на сетку лампы, то анодный ток ее сразу приобрел бы значение тока насыщения и не стал бы изменяться, несмотря на приходящие сигналы, т. е. фактически лампа перестала бы работать. Сопротивление *3*, включенное между сеткой и нитью второй лампы, носит название сопротивления утечки, или гридлика[1], и служит для того, чтобы электроны, застревающие на сетке, смогли вернуться к нити накала.

При отсутствии этого сопротивления, т. е. при отсутствии соединения между сеткой и нитью, электроны, задерживаемые витками сетки, не имея пути к нити накала, будут постепенно накапливаться на сетке. Это поведет к увеличению отрицательного заряда сетки, так как электроны заряжены отрицательно; при достаточном заряде анодный ток в лампе прекратится, т. е. лампа перестанет работать.

Если теперь вместо телефона в анодную цепь второй лампы включить такое же сопротивление, какое включено в анодную цепь первой лампы, и добавить еще одну лампу, в анодную цепь которой включим телефон, то получим 3-ламповый уси-

[1] Гридлик—слово английское и значит „утечка сетки".

литель низкой частоты, который даст еще большее усиление, т. е. в телефоне мы услышим более громкие сигналы.

Укоренившееся в радиолюбительской практике обыкновение называть гридликом комбинацию из емкости и сопротивления, включаемой в сетку детекторной лампы, является неправильным.

Практически больше 3 ступеней в усилителях не делают, так как они дают уже достаточное усиление, а увеличение числа ламп приводит большей частью к тому, что усилитель начинает искажать.

Практически величины, составляющие схему, имеют следующие значения:

Анодное сопротивление — 40 000 — 60 000 омов.

Утечка сетки — 1—3 мегома.

Разделительный конденсатор — 2 000—3 000 *см*.

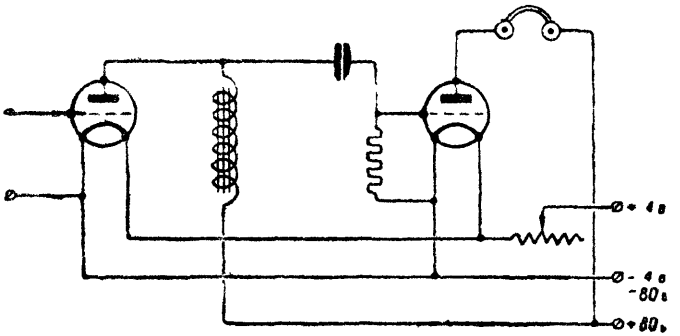


Рис. 212. Схема 2-лампового усилителя низкой частоты на дросселе

Анодное напряжение—80 вольт, но часто бывает полезным повысить его до 120 или даже до 160 вольт, что улучшает работу усилителя.

На анодном сопротивлении происходит постоянное падение напряжения, создаваемое анодным током лампы при отсутствии колебаний на сетке. Это падение напряжения покрывается напряжением анодной батареи, благодаря чему на анод лампы попадает уже не полное напряжение анодной батареи, а только часть его. Следовательно, работа лампы будет происходить в лучших условиях, если увеличить напряжение батареи.

Накал лампы производится от батарей, обычно 4-вольтовых аккумуляторов, причем регулировка накала ведется с помощью реостата.

Разновидностью только что разобранной схемы усиления на сопротивлениях является схема усиления на д р о с с е л е (рис. 212). Эта схема отличается от первой только тем, что в ней анодное сопротивление заменено дросселем с железным сердечником, т. е. катушкой, имеющей большое число витков, причем внутрь катушки помещено железо того же типа, какое употребляется в трансформаторах. Способ работы обеих схем (и с сопротивлениями и с дросселями) один и тот же, назначение от-

дельных деталей одно и то же, а потому более подробно на этой схеме мы останавливаться не будем. Заметим только, что схема с дросселями хорошо работает и при нормальном анодном напряжении 80 вольт.

Так как сопротивление дросселя постоянному току незначительно, то на нем не происходит большого падения напряжения. Поэтому в этой схеме напряжение на аноде лампы почти равно напряжению анодной батареи. Индуктивное сопротивление дросселя является той нагрузкой, на которой происходит выделение звуковых частот, подаваемых на сетку следующей лампы. Основной недостаток этой схемы тот, что дроссель для разных частот представляет неодинаковое сопротивление, а потому усиление различных частот будет неравномерно, что ведет к искажениям. Первая схема с сопротивлениями получила значительно большее распространение, так как она, давая неплохие результаты, обходится значительно дешевле, чем вторая схема с дросселями, и вносит меньше искажений.

89. УСИЛЕНИЕ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ

Чрезвычайно большое распространение получили схемы усиления низкой частоты на трансформаторах. Подобная схема показана на рис. 213, причем здесь дана схема усилителя низкой частоты станции батальонного типа.

Как видно из схемы, обе лампы связаны между собой трансформаторами низкой частоты, причем первичная обмотка такого

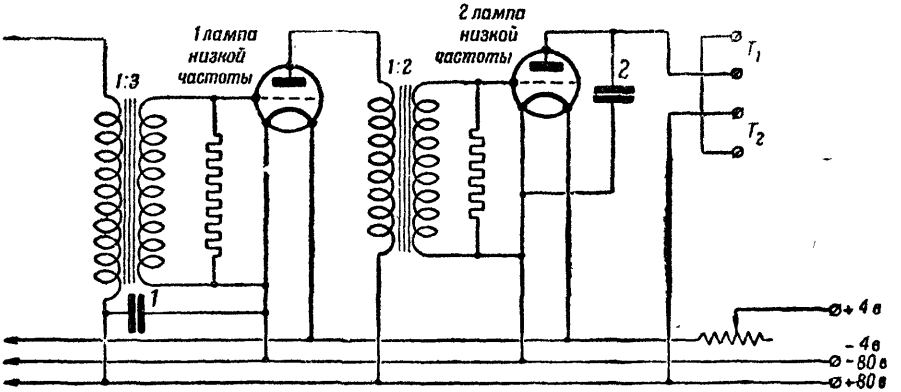


Рис. 213. Схема усиления низкой частоты на трансформаторах

трансформатора (имеющая меньшее число витков) включена в анодную цепь первой лампы, а вторичная обмотка (с большим числом витков) — в цепь сетки второй лампы.

Параллельно вторичной обмотке включены сопротивления, о назначении которых скажем ниже. Там же коснемся и назначения конденсаторов постоянной емкости, имеющихся в схеме. В анодной цепи последней лампы вклю-

чены телефонные гнезда T_1 и T_2 с таким расчетом, чтобы можно было слушать или на одну пару телефонов (которая в этом случае включается в среднюю пару гнезд), или на две пары, которые включаются соответственно в первую и вторую пары гнезд.

Работа схемы происходит следующим образом: колебания звуковой частоты подаются через трансформатор на сетку первой усилительной лампы с анода предыдущей детекторной лампы (на схеме не показана; см. главу XIII) и вызывают в анодной цепи этой лампы усиленные колебания напряжения, которые через трансформатор передаются на сетку второй лампы. Вторая лампа эти колебания усилит еще больше, и в телефоне мы услышим усиленные сигналы. В этой схеме усиление происходит не только за счет действия лампы, но также и за счет того, что напряжение увеличивается еще и трансформаторами. Между детекторной и первой лампами усилителя низкой частоты включен трансформатор с отношением витков в обмотках 1:3, т. е. имеющий во вторичной обмотке втрое больше витков, чем в первичной. Следовательно, напряжение, действующее в первичной обмотке (в анодной цепи детекторной лампы) на сетку первой лампы, передается усиленным в 3 раза за счет повышения его трансформатором. Усиленные колебания из анодной цепи первой лампы передаются на сетку второй лампы, причем их напряжение усиливается в трансформаторе еще в 2 раза, так как трансформатор имеет отношение витков в обмотках равным 1:2, т. е. во вторичной обмотке его вдвое больше витков, чем в первичной. Таким образом в этой схеме, по сравнению с усилителями на сопротивлениях, получается выгода в смысле усиления.

Необходимо только заметить, что усилитель низкой частоты на трансформаторах требует весьма тщательного подбора трансформаторов. Не всякие трансформаторы будут работать хорошо в схеме 2-лампового и особенно в схеме 3-лампового усилителя. Дело в том, что трансформаторы могут весьма сильно отличаться один от другого вследствие различного качества железа, различной намотки (даже у трансформаторов с одинаковым числом витков в обмотках) и т. п. Поэтому одинаковые по внешним признакам трансформаторы могут работать по-разному. Практически эти трансформаторные неполадки выражаются в том, что усилитель начинает „пищать" (генерировать) и искажать сигналы. Кроме тщательного выбора самих трансформаторов, применяются особые меры для создания условий нормальной работы усилителя. Такой мерой является включение сопротивления параллельно вторичной обмотке трансформатора, что мы видим на разобранной выше схеме батальонной радиостанции, где такие сопротивления включены параллельно вторичным обмоткам в трансформаторах обеих ламп. Наличие этих сопротивлений притупляет резонансные свойства обмотки трансформатора и поглощает энергию из паразитного контура (емкость между витками обмотки вместе с самоиндукцией трансформатора может образовать паразитный колебательный контур, попадающий в резонанс с одной из звуковых частот) и делает работу уси-

лителя более спокойной, хотя и понижает несколько громкость, даваемую усилителем. Величина этих сопротивлений обычно подбирается практически в пределах нескольких десятков тысяч омов.

Конденсаторы, включенные в анодную цепь детекторной лампы после первичной обмотки первого трансформатора и в анодную цепь последней лампы, являются блокировочными, отводящими колебания высокой частоты непосредственно к нити лампы, не позволяя им проникнуть в другие цепи схемы; величина емкости этих конденсаторов обычно берется равной 0,1—0,25 микрофарады.

90. УСИЛЕНИЕ КЛАССА *B* и КЛАССА *C*

Другой метод усиления, получивший за последнее время значительное распространение, называется усилением по классу *B*. Заключается этот способ в том, что лампа получает смещение, сдвигающее рабочую точку к самому низу характеристики, где величина анодного тока равна нулю. Для пояснения обратимся к рис. 214. Здесь рабочая точка находится на нижнем конце характеристики. Если теперь на сетку лампы подать переменное напряжение, то отрицательные полупериоды этого напряжения будут заходить в область отсутствия анодного тока, и в продолжение этих полупериодов ток через лампу не пойдет. Анодный ток будет возникать только в те моменты, когда на сетке будут иметь место положительные полупериоды колебания.

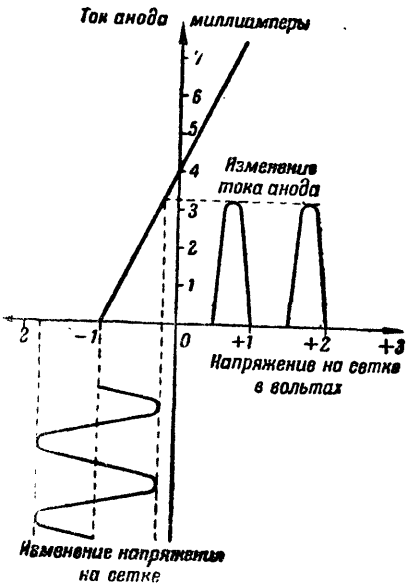


Рис. 214. Влияние большого смещения на ток анода

Следовательно, кривая анодного тока будет состоять только из полупериодов и не будет полностью воспроизводить форму напряжения, подведенного к сетке лампы, что, как известно, приведет к сильным искажениям. Для устранения искажений необходимо в кривой анодного тока восстановить отсутствующие нижние полупериоды. С этой целью применяют схему, показанную на рис. 215.

На рисунке показаны две лампы, как бы включенные навстречу одна другой, причем предварительное смещение на сетках ламп подбирается таким, чтобы при отсутствии сигналов анодный ток каждой лампы был равен нулю. При подаче на входной трансформатор переменного напряжения (для простоты рассмотрим сину-

соидальную форму кривой) сетки лампы в один и тот же момент будут получать напряжения, противоположные по знаку, т. е. если на сетке первой лампы будет + (плюс), то в этот же мо-

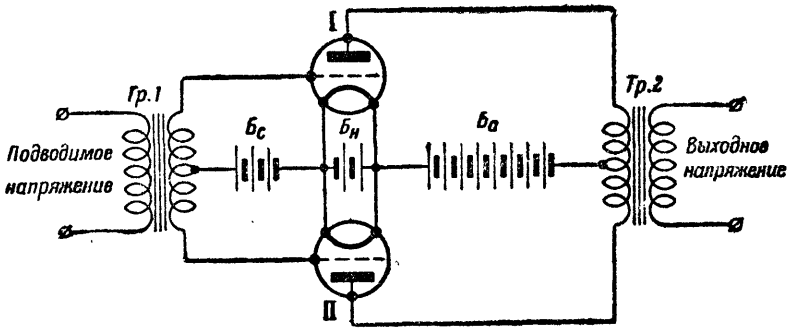


Рис. 215. Схема усилителя низкой частоты по классу *В*

мент на сетке второй лампы будет — (минус), так как сетки ламп соединены с противоположными концами обмотки трансформатора. В тот момент, когда через первую лампу потечет

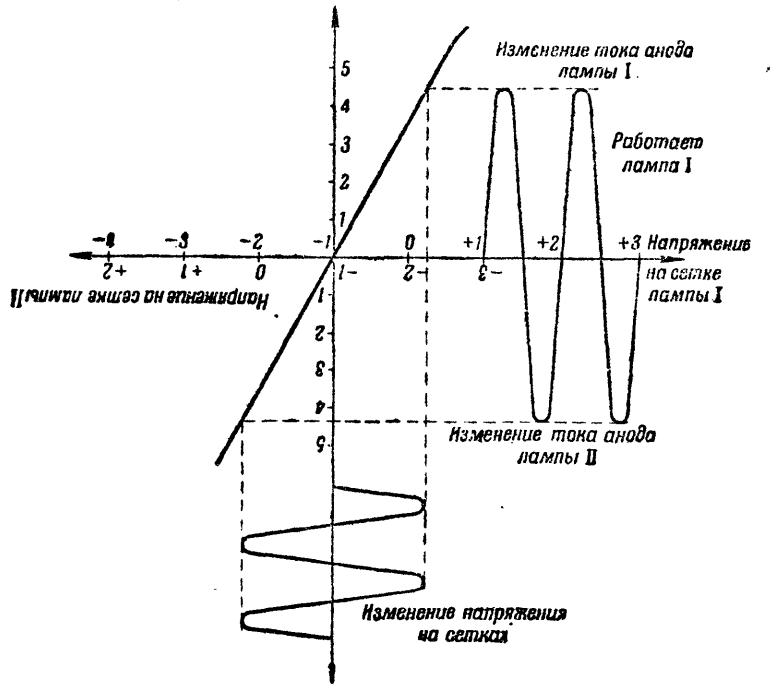


Рис. 216. Графическое изображение усиления по классу *В*

ток, вторая лампа работать не будет. В следующий момент, во второй полупериод колебания, положительное напряжение будет уже на сетке второй лампы, а отрицательное—на сетке первой,

и ток пойдет через вторую лампу. Таким образом в такт с приходящими колебаниями каждая лампа будет пропускать ток в продолжение одного из полупериодов, а обе лампы в целом пропустят оба полупериода. Поэтому в общей анодной цепи

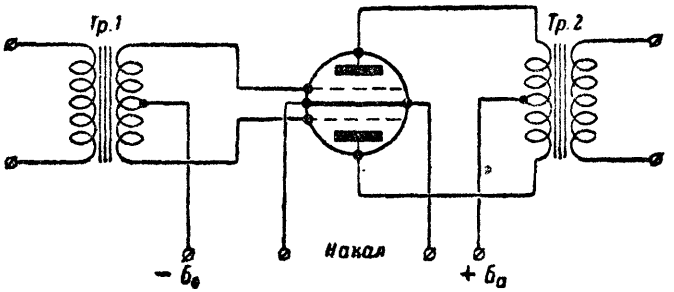


Рис. 217. Схема включения лампы двойной триод для усиления по классу *B*

обеих ламп будет протекать анодный ток, который по своей форме точно соответствует форме кривой приходящего на сетку колебания, и усиление будет происходить без искажений. Графически это показано на рис. 216. На чертеже ламповые характеристики сдвинуты одна по отношению к другой на 180° и являются одна продолжением другой. В течение одного полупериода работает лампа *I* (рис. 215), а в течение другого полупериода лампа *II*. С правой стороны чертежа показана кривая общего анодного тока, совпадающая по форме с переменным напряжением на сетке. Как показывают расчеты, усиление по классу *B* дает лучший коэфициент полезного действия, т. е. лучшее использование ламп и бо́льшую полезную мощность. Однако эта схема имеет и недостаток, давая при усилении некоторое искажение сигналов за счет того, что нижний конец характеристики лампы не прямолинеен (на диаграмме рис. 216 характеристики для простоты взяты прямыми). В настоящее время для работы в таких схемах применяются уже известные нам лампы — двойной триод; схема включения такой лампы показана на рис. 217. Применение этих ламп дает выгоды в отношении удобства и, главное, занимаемого места.

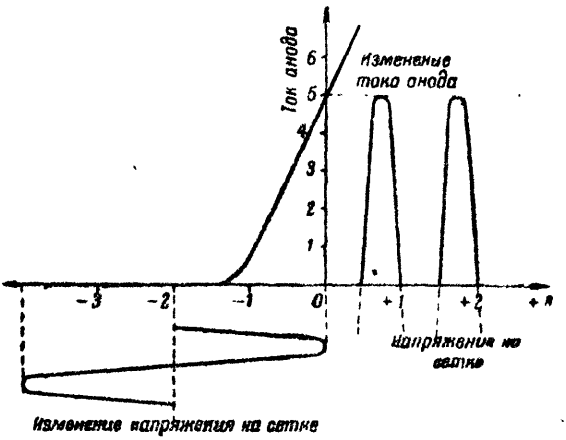


Рис. 218. Графическое изображение усиления по классу *C*

Существует еще один метод усиления по классу *С*. Сущность этого метода графически показана на рис. 218 и заключается в том, что предварительное отрицательное смещение на сетку лампы дается больше того, которое нужно для доведения анодного тока до нуля, т. е. смещение в усилителях класса *С* берется бо́льшим, чем в усилителях класса *В*. Это приводит к тому, что анодный ток течет в продолжение только части положительного полупериода колебания на сетке. Чем больше взято отрицательное смещение, тем меньшую часть периода будет протекать анодный ток. Величина этого смещения определяется теми целями, для которых предназначен

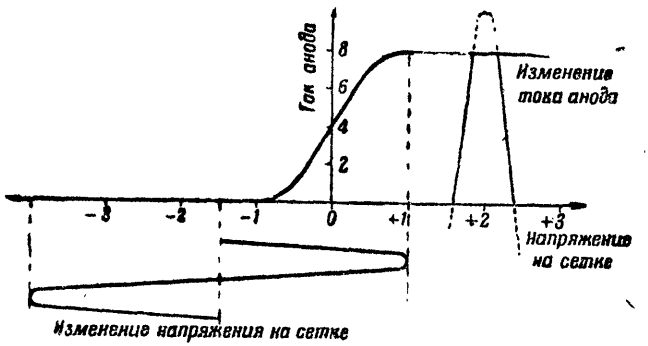


Рис. 219. Графическое изображение усиления по классу *С* при трапецоидальной форме анодного тока

усилитель, и выясняется подсчетом. Усилители класса *С* могут работать также и в таком режиме, при котором в течение положительного полупериода колебания на сетке анодный ток возрастет до величины тока насыщения, как показано на рис. 219. В этом случае кривая анодного тока получается трапецоидальной формы.

Основное назначение усилителей класса *С* — работа в передатчиках в качестве мощных усилителей высокой частоты, в умножителях частоты и т. п. Основное их достоинство заключается в том, что они дают большую полезную мощность при высоком коэфициенте полезного действия. В приемных схемах такие усилители не применяются, так как они дают большие искажения.

91. ПРИМЕНЕНИЕ ПЕНТОДОВ ДЛЯ УСИЛЕНИЯ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

За последнее время очень широкое распространение получили схемы усиления низкой частоты с применением пентодов.

Принципиальная схема включения пентода показана на рис. 220. Колебания звуковой частоты из анодной цепи детекторной лампы (обычно пентод ставится сразу же после детекторной лампы)

через трансформатор *ТР-1* подаются на управляющую сетку пентода. На экранирующую сетку напряжение подается через сопротивление *1*, а на анод—через обмотку трансформатора *ТР-2*. Конденсатор *2* — блокировочный. Применение пентодов в усилителях низкой частоты дает следующие выгоды: один пентод может заменить два каскада усиления низкой частоты на 3-электродных лампах, что удобно в отношении уменьшения габаритов приемника, упрощения схемы и уменьшения возможных искажений, которые в двух каскадах могут возникнуть значительно легче. Пентоды могут быть применены для усиления мощных колебаний с большой амплитудой ввиду отсутствия динатронного эффекта.

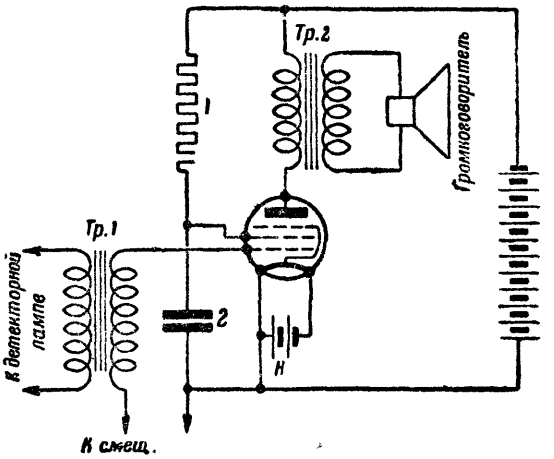


Рис. 220. Принципиальная схема включения пентода низкой частоты

92. УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Усилители высокой частоты, т. е. усилители колебаний такой частоты, которая непосредственно ухом не обнаруживается, применяются в двух случаях: во-первых, когда принимаемая радиостанция обладает небольшой мощностью и расположена на значительном расстоянии от места приема, и, во-вторых, когда радиостанция, хотя и мощная, но прием ведется не на высокую антенну, что почти всегда и бывает в условиях военной обстановки. Поэтому, прежде чем принимаемые сигналы детектировать и усиливать на низкой частоте, их усиливают на той частоте, на которой они передаются с отправительной радиостанции.

Применяемые для этой цели усилители имеют много общего с усилителями низкой частоты. В частности, схема усиления высокой частоты на сопротивлениях подобна схеме для низкой частоты.

Схема усиления высокой частоты на дросселях имеет совершенно такой же вид, как и рассмотренная нами схема для низкой частоты. Разница будет только в том, что для усиления высокой частоты нельзя применять дросселей с железом, как это делается в усилителях низкой частоты. Присутствие железа в усилителях высокой частоты вызывает очень большие потери на перемагничивание железа. Поэтому здесь применяются дроссели, имеющие вид обычных катушек самоиндукции без сердеч-

ников, причем количество витков будет зависеть от принимаемой частоты.

Нужно заметить, что усилители высокой частоты этих двух типов (на сопротивлениях и на дросселях) на практике применяются очень редко ввиду того, что они обладают малой избирательностью, т. е. на таких усилителях несколько станций, работающих одновременно на близких волнах, могут быть слышны сразу, что мешает приему нужной радиостанции. Поэтому наибольшим распространением пользуются схемы, позволяющие принимать только нужную станцию и притом без помех от соседних радиостанций. Достигается это тем, что в схему вводятся так называемые резонансные контуры, состоящие из катушки самоиндукции и конденсатора переменной емкости. Как известно, такой контур отличается тем, что в нем возникает наибольшее напряжение лишь в том случае, если приходящие колебания имеют ту же частоту, что и сам контур. Все остальные частоты не будут воздействовать на контур, а потому передача на других волнах не будет слышна. Имея в контуре конденсатор переменной емкости, контур можно настраивать на разную частоту и таким образом принимать именно ту передачу, которая нужна, не боясь помех со стороны других станций. Примером усилителя, построенного по такой схеме, может служить схема на рис. 221. Здесь контур антенны индуктивно связан с помощью трансформатора высокой частоты с резонансным контуром, включенным в сетку первой лампы, усиливающей высокую частоту.

Трансформатор высокой частоты отличается от трансформатора низкой частоты тем, что, во-первых, он изготовляется без железа, присутствие которого вызвало бы большие потери, а, во-вторых, тем, что число витков в обеих обмотках трансформатора высокой частоты невелико, в то время как в трансформаторах низкой частоты оно очень большое и исчисляется тысячами. Число витков в обмотках трансформаторов высокой частоты зависит от принимаемой длины волны, и тем больше, чем длиннее принимаемая волна. В цепь сетки первой лампы включен конденсатор переменной емкости *1*, с помощью которого контур настраивается на ту частоту, которую желательно принять.

Принятые колебания усиливаются первой лампой, затем через второй трансформатор высокой частоты передаются в контур сетки детекторной лампы, который также настраивается на ту же частоту и тем самым еще более повышает избирательность схемы (под избирательностью понимается способность схемы принимать только ту частоту, на которую схема настроена), и, наконец, усиливаются двумя каскадами усиления низкой частоты на трансформаторах, которые собраны по схеме, рассмотренной нами выше.

В рассматриваемой схеме оба конденсатора переменной емкости *1* и *2* (в сетках первой и второй ламп) посажены на общую ось и управляются поворотом одной ручки. Для подгонки и уравнивания емкости обоих конденсаторов параллельно

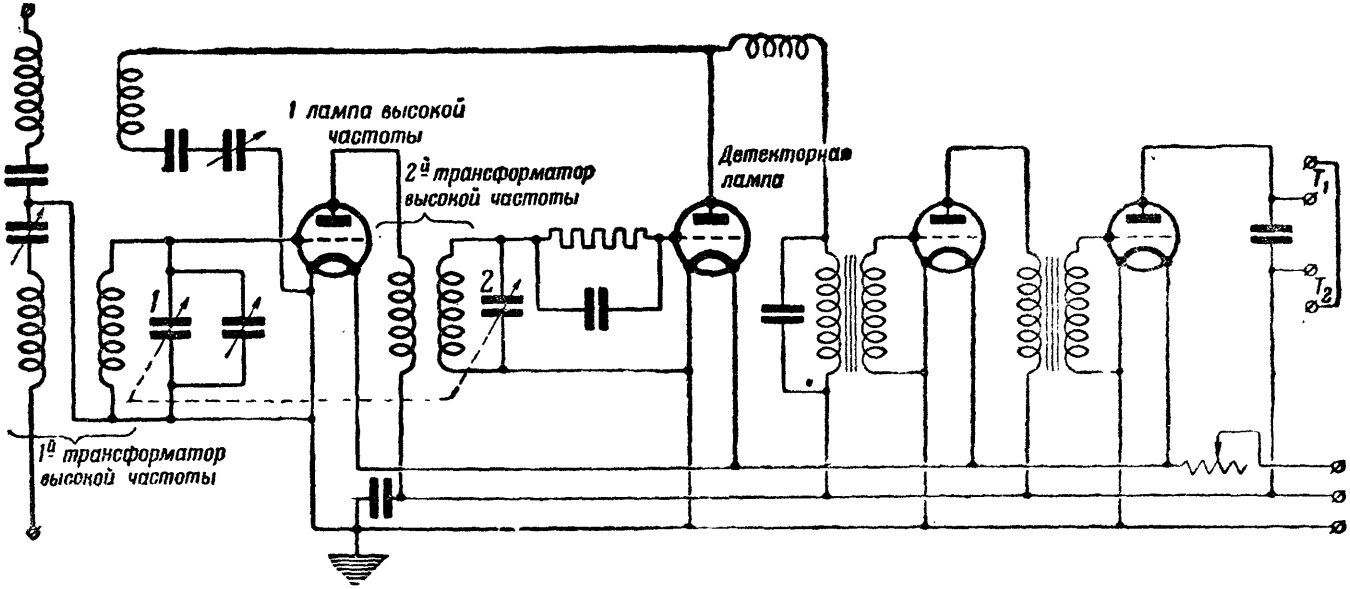


Рис. 221. Схема усиления высокой частоты

конденсатору в контуре первой лампы включен второй переменный конденсатор небольшой емкости, с помощью которого емкость первого контура сравнивается со вторым, включенным в цепь детекторной лампы.

Таким образом в данной станции мы имеем одну ступень усиления высокой частоты и две ступени усиления низкой частоты с промежуточной детекторной лампой. Ступени усиления называют иногда каскадами усиления.

Однако, можно собрать схему так, что колебания высокой частоты будут усиливаться не одной лампой, а двумя или тремя, которые будут связаны между собой такими же резонансными контурами. Каждый контур будет настраиваться на одну и ту же частоту (на принимаемую), что обеспечит очень большую избирательность и избавит от помех других станций.

Практически усиление высокой частоты на 3-электродных лампах более чем в двух каскадах встречает некоторые трудности, выражающиеся в том, что усилитель, собранный по схеме резонансного усиления, начинает свистеть. Это объясняется следующим образом: электронная лампа обладает некоторой емкостью между анодом и сеткой, которая еще более увеличивается за счет емкости между монтажными проводами, емкости между ножками лампы и пр. Через эту емкость колебания высокой частоты из анодной цепи могут проникать в цепь сетки, в результате чего и появляется свист. Особенно легко этот свист возникает при приеме коротких волн, которые весьма легко проникают через внутриламповую емкость из цепи анода в цепь сетки. Поэтому при усилении высокой частоты, особенно на коротких волнах, приходится применять особые меры, позволяющие избавиться от обратного воздействия анодной цепи на сеточную. Этот способ мы и разберем в следующем параграфе.

93. НЕЙТРОДИН

Рассмотренные нами в предыдущих параграфах усилители высокой частоты работают достаточно хорошо на длинных волнах. При переходе на прием коротких волн возникает целый ряд трудностей, ввиду того что в приемнике образуется много вредных, или, как их называют, паразитных, емкостей за счет, главным образом, монтажных проводов, вследствие чего приемник дает плохой прием или же начинает свистеть. Кроме того, сама лампа обладает между анодом и сеткой еще междуэлектродной емкостью, через которую при приеме коротких волн колебания высокой частоты проникают в такие части схемы, где присутствие их вызывает целый ряд нежелательных явлений в виде свиста и искажений сигналов.

Влияние междуэлектродной емкости между анодом и сеткой можно пояснить следующим образом. Схематически емкость между анодом и сеткой можно себе представить в виде конденсатора *2*, включенного, как показано на рис. 222. Колебания высокой частоты, возникающие в анодной цепи лампы, будут в этом случае иметь два пути: первый путь (полезный) — через

первичную обмотку трансформатора высокой частоты *1* и второй (вредный)—через междуэлектродную емкость. Второй путь будет тем легче, чем выше принимаемая частота (т. е. чем короче волна) и чем больше междуэлектродная емкость. Колебания, попавшие из цепи анода в цепь сетки, вызовут в анодной цепи новые колебания, которые в свою очередь снова могут проникнуть в цепь сетки. Таким путем возникает связь между цепью анода и цепью сетки, называемая обратной связью (от анода к сетке), которая приводит к тому, что лампа сама начинает создавать колебания высокой частоты, или, как говорят, самовозбуждаться. Эти колебания, складываясь с приходящими колебаниями высокой частоты, при условии некоторой разницы между ними по частоте, создадут биения низкой частоты, которые будут слышны в телефоне в виде сильного свиста. Наличие этого свиста делает прием невозможным. Как уже было сказано, явление обратной связи возникает тем легче, чем выше частота принимаемых сигналов и чем больше паразитная емкость между цепью анода и цепью сетки, обусловленная не только междуэлектродной емкостью, но и емкостью между монтажными проводами. Если емкости, обусловленные монтажными проводами, можно уменьшить в весьма сильной степени рациональным их расположением и тем самым улучшить работу усилителя на коротких волнах, то с емкостью лампы ничего сделать нельзя, ибо она зависит от конструкции лампы, а потому приходится принимать особые меры, чтобы избежать свиста в усилителе.

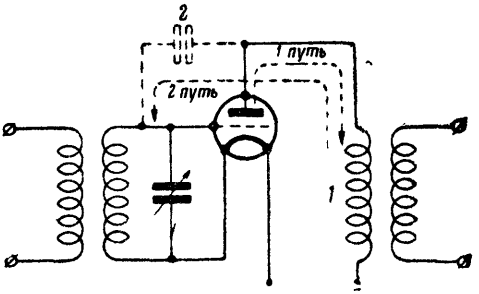


Рис. 222. Схема вредного действия междуэлектродной емкости лампы

Обратное действие анодной цепи на сеточную, как было сказано выше, состоит в том, что через внутриламповую емкость анодная цепь воздействует на сеточную. Если теперь искусственным образом из анодной цепи подать на сетку переменное напряжение такой же величины, как и передающееся через ламповую емкость, но в каждый данный момент направленное в противоположную сторону, то эти два напряжения будут взаимно уничтожаться, и поэтому в результате никакого действия анодной цепи на сетку не будет.

Такой способ уничтожения возможности самовозбуждения называется **нейтродинированием**, или **нейтрализацией**, а приемники, имеющие нейтрализацию, носят название **нейтродинных**.

В качестве иллюстрации можно привести схему приемника, показанную на рис. 223, в которой усилитель высокой частоты нейтродинный. Здесь антенна индуктивно связана с резонансным контуром *1*, включенным в сетку первой лампы. В анодной цепи

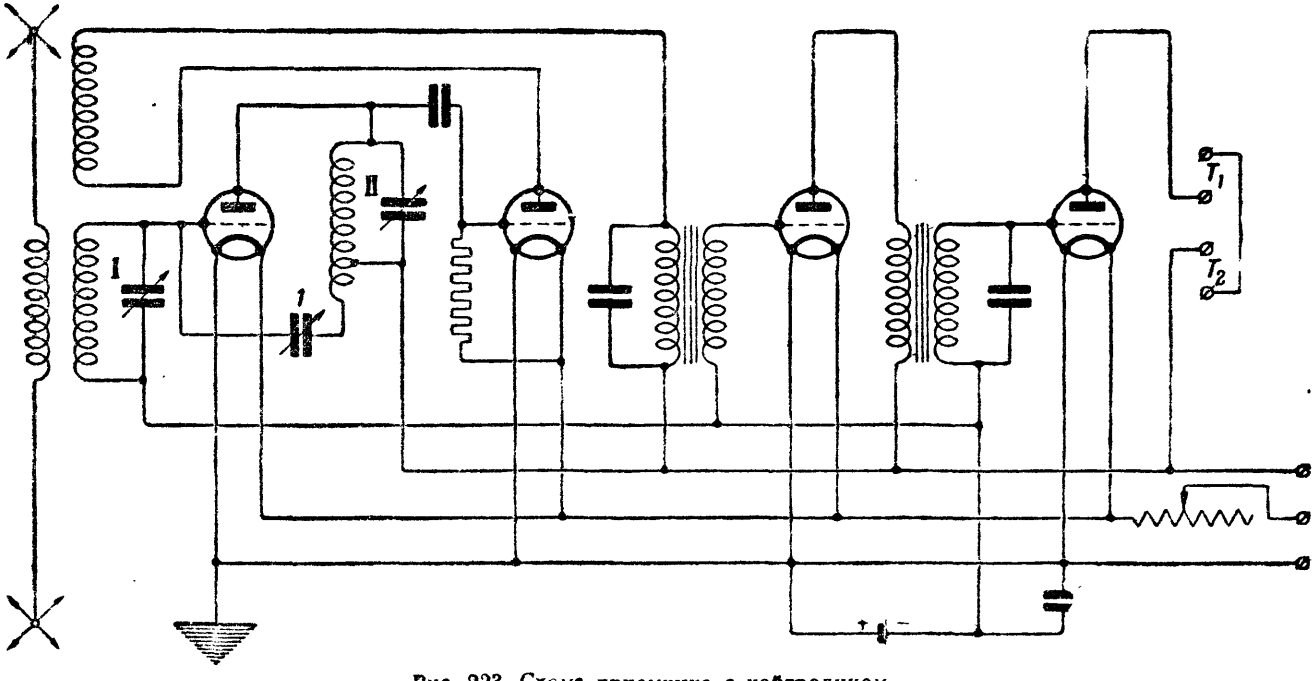


Рис. 223. Схема приемника с нейтродином

этой лампы включен второй резонансный контур *II*, который также настраивается на нужную частоту.

На рис. 224 выделена схема первой лампы, причем междуэлектродная емкость показана пунктиром. Через междуэлектродную емкость из анодной цепи на сетку будет подаваться некоторое переменное напряжение. Задача нейтрализации состоит в том, чтобы это переменное напряжение уничтожить искусственно создаваемым переменным напряжением той же частоты и амплитуды, но в каждый данный момент имеющим противоположное направление. Это достигается тем, что цепь сетки соединяется с цепью анода через небольшой конденсатор переменной емкости *1*, который носит название нейтродинного. Посмотрим, как происходит нейтрализация. Когда на катушке самоиндукции в анодном контуре *II* имеется напряжение высокой частоты, то на верхнем конце катушки это на-

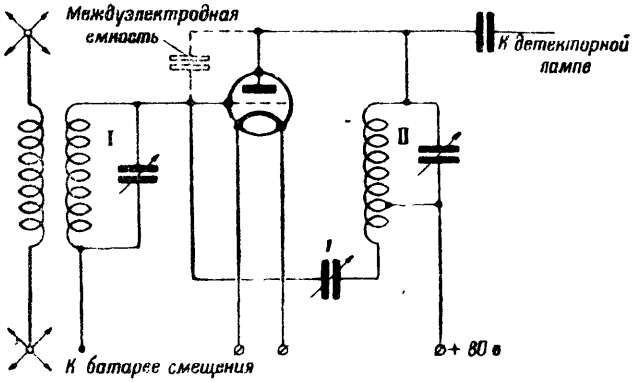


Рис. 224. Схема нейтрализации

пряжение будет иметь один знак, а на нижнем конце знак будет противоположный. Другими словами, в то время как на верхнем конце катушки будет положительный потенциал, на нижнем конце катушки потенциал будет отрицательный. При этом на сетку лампы напряжение попадает с одного конца (верхнего) через междуэлектродную емкость, а с другого (нижнего) — через нейтродинный конденсатор. Емкость нейтродинного конденсатора подбирается так, чтобы проникающее через него напряжение было равно напряжению, проникающему через междуэлектродную емкость. Поэтому на сетке одновременно появляются два напряжения, равных по величине, но обратных по знаку, а потому они взаимно уничтожаются, т. е. обратная связь между анодом и сеткой как бы отсутствует.

Емкость нейтродинного конденсатора подбирается при регулировке приемника, и вторичная настройка его может понадобиться лишь при смене лампы, так как другая лампа даже одного и того же типа имеет в большинстве случаев и другую междуэлектродную емкость.

Нейтродинные приемники описанного типа строятся с несколькими каскадами усиления высокой частоты, причем в каждом каскаде необходимо ставить нейтродинный конденсатор.

94. УСИЛЕНИЕ НА МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ЛАМПАХ

Описанные в предыдущем параграфе нейтродинные приемники наряду с хорошими качествами (высокая избирательность, чувствительность и т. д.) обладают рядом недостатков, из которых главнейшие — усложнение схемы и трудность первоначальной регулировки. Поэтому стали применять электронные лампы такого устройства, чтобы собственная емкость между анодом и сеткой лампы была возможно меньшей. Тогда, поставив такую лампу в обычную схему усиления высокой частоты, мы не получим обратного воздействия из анодной цепи на сеточную, так как маленькая емкость представляет для высокой частоты очень большое сопротивление, а потому усилитель не будет свистеть.

Лампы с очень маленькой емкостью между анодом и сеткой носят название экранированных ламп.

Введение в лампу добавочной экранирующей сетки привело к тому, что емкость между анодом и сеткой лампы в очень сильной степени уменьшилась. Если в обычных 3-электродных лампах она достигает значения 8—10 *см*, то в экранированных лампах эта емкость не превышает сотых и даже тысячных долей сантиметра. Такие незначительные емкости позволяют применить экранированную лампу для усиления высокой частоты на коротких волнах без нейтродинирования. Одну из схем усиления высокой частоты с применением экранированной лампы мы видим в приемнике радиостанции, представленной на рис. 225. Как видно из схемы, лампа включена по обычной схеме усиления на настроенных контурах за исключением того, что на экранирующую сетку подано постоянное положительное напряжение от середины потенциометра *1*, составленного из двух сопротивлений, по 80 000 ом каждое. Конденсатор *2* в 0,25 микрофарады, включенный между экранирующей сеткой и нитью накала, служит для того, чтобы колебания высокой частоты, появляющиеся в цепи экранированной сетки, не проникали в цепи питания, а замыкались бы через этот конденсатор непосредственно на нить лампы. Проникновение высокой частоты в цепи питания опять-таки может привести к возникновению вредных колебаний, т. е. к свисту приемника.

В качестве другого примера приведем схему приемника радиостанции, показанную на рис. 226. В этой схеме мы видим уже два каскада усиления высокой частоты, собранную с помощью резонансных контуров и экранированных ламп. Резонансные контуры состоят из следующих деталей. В антенну включена катушка *1*, индуктивно связанная с катушкой *2*, включенной в цепь сетки первой лампы усилителя высокой частоты. Антенная катушка не настраивается (так называемая апериодическая антенна). Резонансный контур, включенный в сетку первой лампы, настра-

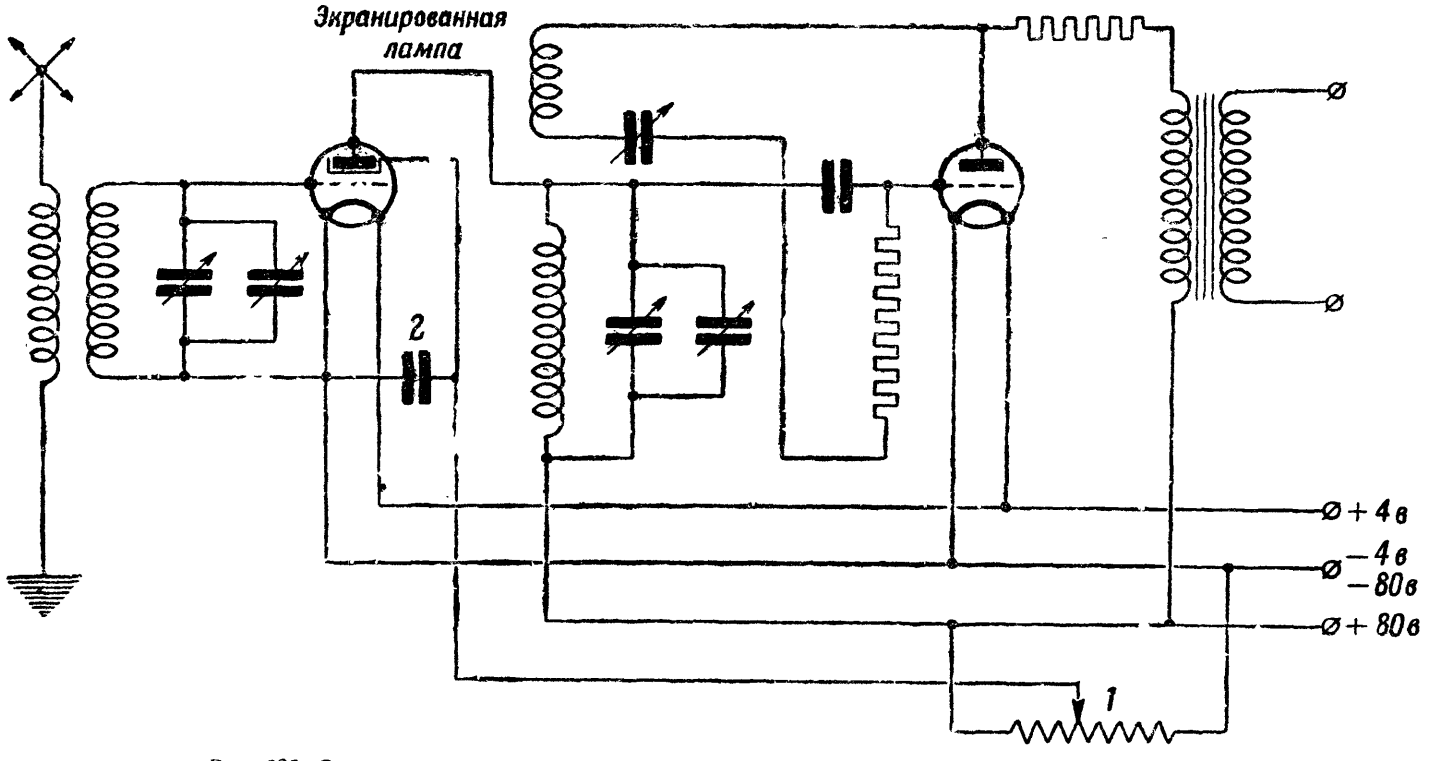


Рис. 225. Схема усиления приемника радиостанции с применением экранированной лампы

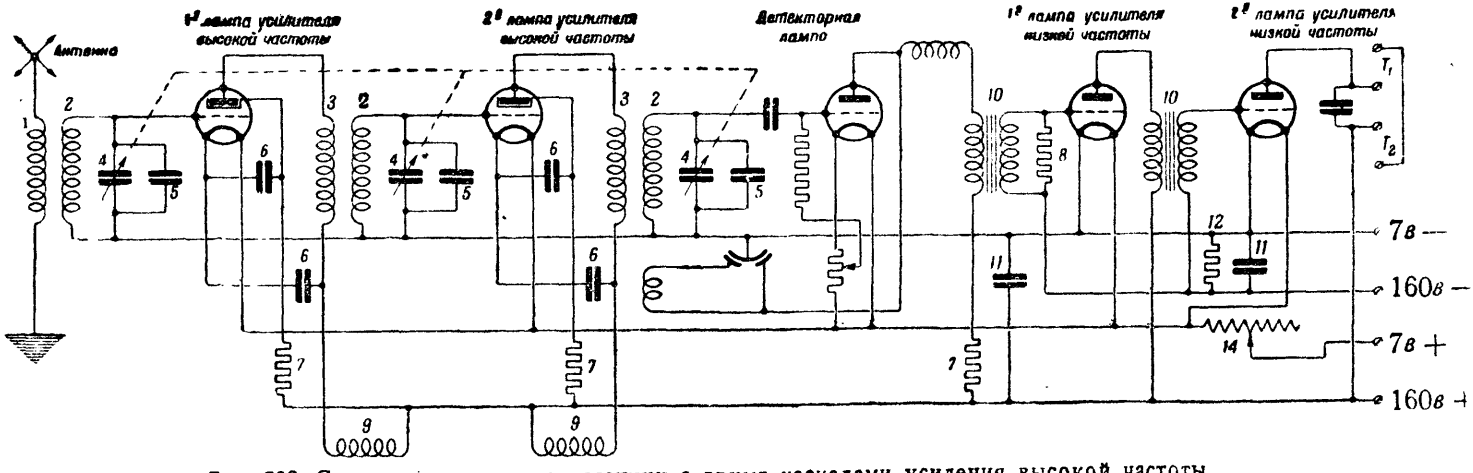


Рис. 226. Схема приемника радиостанции с двумя каскадами усиления высокой частоты

ивается конденсатором *4*, параллельно которому включен небольшой конденсатор *5*, о назначении которого см. дальше. В цепь анода первой лампы включена катушка самоиндукции *3* (ненастраивающаяся), индуктивно связанная с контуром в сетке второй лампы усилителя высокой частоты. Этот контур состоит из таких же деталей, как и контур в сетке первой лампы, т. е. из катушки *2* и конденсаторов *4* и *5*. Связь между второй лампой и детекторной лампой осуществлена так же, как и связь между первыми двумя лампами.

Все три конденсатора настройки *4* посажены на общую ось, причем для подгонки их емкости параллельно каждому конденсатору включен еще небольшой конденсатор переменной емкости *5*, который регулируется только при первоначальной сборке приемника. Постоянное положительное напряжение на экранирующие сетки подается от общей анодной батареи 160 вольт через сопротивления *7* (на рис. 226 показаны только зажимы этой батареи), которые понижают напряжение до 80 вольт. Величина сопротивления подбирается так, чтобы на экранирующую сетку попадало напряжение, наиболее выгодное для получения чистого и громкого приема, что определяется наслух.

Постоянное положительное напряжение на аноды экранированных ламп подается через дроссели высокой частоты *9* и через анодные катушки *3*. Дроссели представляют собой небольшие катушки, на которых секциями намотан тонкий медный провод. Эти дроссели служат для защиты цепей питания от токов высокой частоты. Такой дроссель для высокой частоты будет представлять большое сопротивление, а потому токам высокой частоты легче пройти к нити лампы через конденсатор *6*, чем через цепи питания приемника. Цепи экранирующих сеток и анодов заблокированы конденсаторами постоянной емкости *6*, которые не позволяют колебаниям высокой частоты проникнуть в цепи питания.

После детектирования происходит усиление сигналов на низкой частоте с помощью двух ступеней усиления, собранных на трансформаторах *10*. Здесь мы опять видим на вторичной обмотке первого трансформатора включенным сопротивление *8* для получения более спокойной работы.

Обратим еще внимание на особый способ получения отрицательного смещения на сетку ламп усилителя низкой частоты, примененный к этой станции. Из схемы видно, что вторичные обмотки обоих трансформаторов присоединены к сопротивлению *12*, включенному в провод, идущий к минусу 160 вольт анодной батареи. Через это сопротивление проходит постоянный анодный ток всех ламп, и благодаря этому на концах этого сопротивления образуется падение напряжения, причем на том конце, который соединен через обмотки трансформаторов с сетками ламп, получается отрицательное напряжение, попадающее на сетки ламп. Таким путем отрицательное смещение на сетках усилительных ламп получается автоматически и без помощи батарей. Указанный способ смещения получил за последнее время

широкое распространение, и отдельными батареями, дающими смещение на сетку, пользуются весьма редко. Конденсаторы *11* являются блокировочными; назначение их — создать токам высокой частоты более легкие пути.

Приведенная схема приемника получила наиболее широкое распространение благодаря своим хорошим качествам как в отношении простоты обслуживания, так и в отношении избирательности и усиления.

В качестве ламп для усиления высокой частоты в настоящее время очень часто применяется пентод высокой частоты, принципиальная схема включения которого показана на рис. 227.

На управляющую сетку пентода подаются колебания высокой частоты из антенны через контур, настраиваемый конденсатором *4*. Постоянное напряжение на экранирующую сетку подается

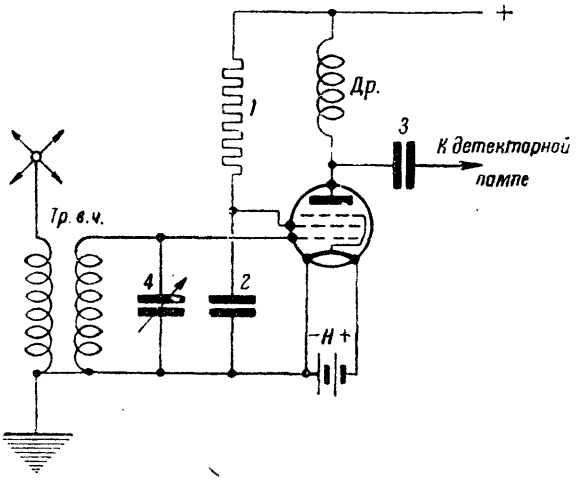


Рис. 227. Принципиальная схема включения пентода высокой частоты

через сопротивление *1*, а на анод — через дроссель высокой частоты *Др*. Конденсатор *2* — блокировочный, конденсатор *3* — разделительный, передающий колебания на сетку детекторной лампы или лампы 2-го каскада усиления на высокой частоте.

По сравнению с экранированной лампой пентод высокой частоты имеет следующие преимущества: из-за отсутствия динатронного эффекта на сетку пентода высокой частоты могут быть поданы более сильные сигналы без опасения искажений; нет необходимости повышать анодное напряжение (что требуют экранированные лампы во избежание динатронного эффекта), т. е. можно работать при 80 вольтах на аноде, что особенно важно для переносных станций. Пентоды высокой частоты имеют параметры, обеспечивающие очень большой коэфициент усиления, что позволяет с одного каскада получить значительное усиление.

95. АВТОМАТИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ГРОМКОСТИ

Из главы IX мы знаем, что введение в лампу управляющей сетки, намотанной с неодинаковым шагом, вызывает появление у характеристики лампы длинного хвоста. Наличие этого хвоста позволяет применять такие лампы в качестве автоматических регуляторов громкости. Обратимся к рис. 228. При слабых сигналах, поступающих на сетку лампы, и при небольшом отрицательном смещении изменение анодного тока получается значительно бо́льшим, чем при сильных сигналах и большом смещении. Следовательно, если с приходом на приемник сильного сигнала одновременно переместить рабочую точку влево по ха-

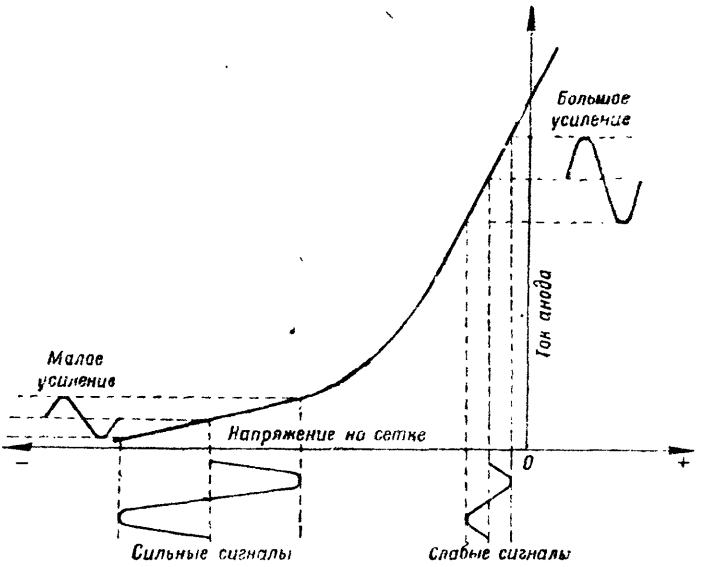


Рис. 228. Графическое изображение работы лампы с переменной крутизной

рактеристике (обычно это делается автоматически), то приемник будет давать, примерно, одну и ту же громкость независимо от мощности принимаемой станции. Обратимся к рис. 229, на котором приведена одна из возможных схем включения лампы с переменной крутизной („варимю").

Здесь $Л_1$ — лампа с переменной крутизной, усиливающая колебания высокой частоты, $Л_2$ — детекторная лампа и $Л_3$ — усилитель низкой частоты. Параллельно выходу через конденсатор *4* (для устранения постоянной составляющей) включен потенциометр *3*. Движок этого потенциометра через выпрямительное устройство, в качестве которого может быть применен любой выпрямитель, как, например, диод, купроксный детектор[1] и т. п., и через со-

[1] Купроксным детектором называется устройство, обладающее односторонней проводимостью за счет окиси, получаемой особым образом на меди.

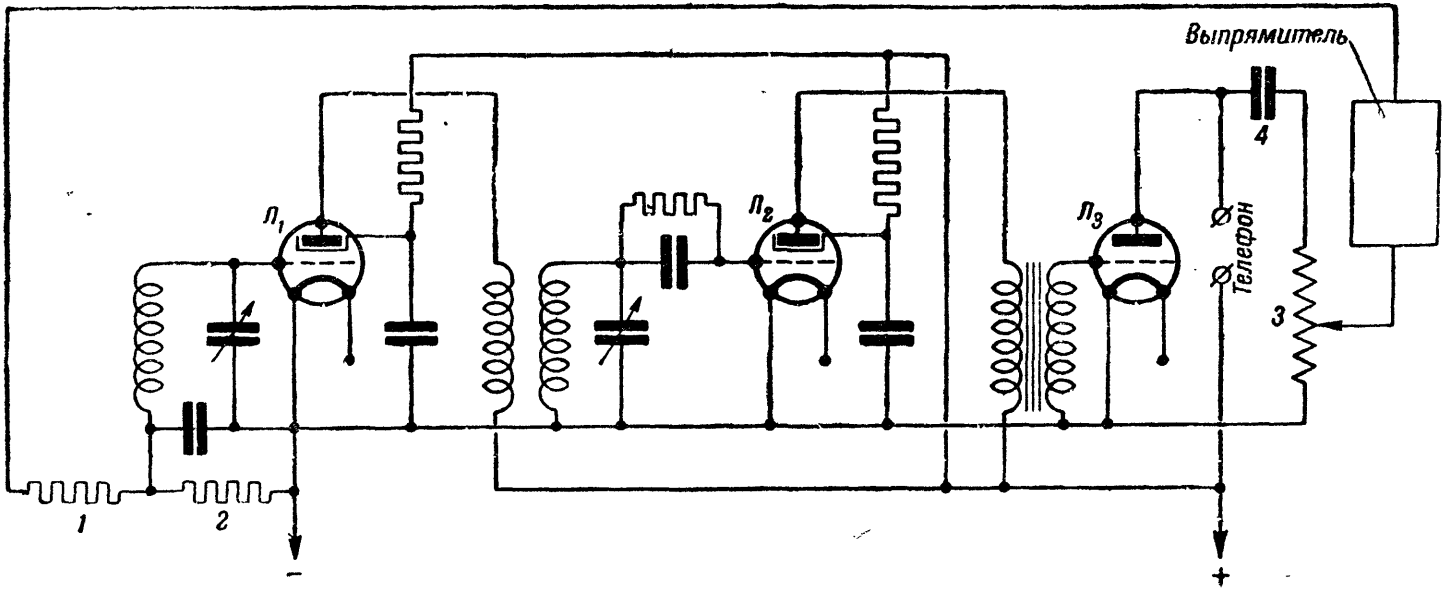


Рис. 229. Схема автоматической регулировки громкости

противления *1* и *2* соединен с минусом. Сопротивление *2* одновременно входит в цепь сетки лампы $Л_1$. Чем сильнее приходящий сигнал, тем большее напряжение будет получаться на концах потенциометра *3*, тем больший ток будет проходить через выпрямитель и сопротивление *2* и, следовательно, тем большее смещение будет получать лампа $Л_1$. Это смещение, как мы видели, передвинет рабочую точку лампы влево по характеристике, и усиление, даваемое лампой, уменьшится. С помощью ручки потенциометра можно регулировать соотношение его плеч и величину напряжения, подаваемого на выпрямитель. Это позволяет установить желательный предел громкости. Таким образом в этой схеме сочетается автоматическая регулировка громкости с ручной установкой желательного предела, выше которого громкость возрастать не будет. Независимо от силы сигнала громкость приема будет поддерживаться на одном желаемом уровне.

Применение ламп с переменной крутизной для регулировки громкости имеет те преимущества, что такая регулировка не дает искажений, не влияет на настройку приемника и на его избирательность и в очень широких пределах позволяет менять громкость приема.

Упомянутые выше пентоды высокой частоты также могут быть сделаны с переменной крутизной; в этом случае хорошее использование каскада усиления объединяется с возможностью автоматического регулирования громкости.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Как изменяется анодный ток лампы в зависимости от изменения напряжения на сетке?
2. Как изменяется анодный ток лампы при неискаженном и искаженном усилении?
3. При каких условиях получается неискаженное и искаженное усиление?
4. Что такое коэфициент усиления?
5. Какое назначение имеют разделительный конденсатор и утечка сетки?
6. Какие дроссели применяются в схеме усилителя низкой частоты на дросселях?
7. Поясните работу схемы усилителя низкой частоты на трансформаторах.
8. Как должен включаться трансформатор?
9. Почему усилитель на трансформаторах дает большое усиление?
10. Для чего параллельно трансформаторам включается сопротивление?
11. В каких случаях применяются усилители высокой частоты?
12. Какие различия в трансформаторах и дросселях при высокой и низкой частоте?
13. Применением каких схем достигается повышение избирательности?
14. Что такое нейтродин?
15. Как устроена экранированная лампа?
16. Почему в приемниках с экранированными лампами не требуется нейтродинирования?
17. Поясните различие в методах усиления по классам *A*, *B* и *C* и назовите области их применения?
18. Какие выгоды дает применение пентодов для усиления высокой и низкой частоты?
19. Для чего и как применяется лампа с переменной крутизной?

ГЛАВА XI

ЛАМПА КАК ГЕНЕРАТОР

96. СПОСОБЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

До появления электронной лампы для получения электрических колебаний пользовались или искрой, проскакивавшей при высоком напряжении в специальном приборе (искровом разряднике), или вольтовой дугой, которую тоже можно заставить производить или, как говорят, генерировать, колебания. Искровые станции работали затухающими колебаниями и могли передавать только ключом и не могли передавать речь, так как для радиотелефонии нужно излучать незатухающие колебания. Дуговые станции громоздки и совсем непригодны для полевых условий и перевозки, хотя дают незатухающие колебания и при известных условиях позволяют осуществить передачу речи.

Удобство лампы для получения незатухающих электрических колебаний настолько велико, что все другие способы получения быстрых электрических колебаний были вытеснены, и в настоящее время искра и дуга на радиостанциях уже не применяются. Удобства эти состоят в том, что при помощи лампы можно получить колебания как малой мощности, так и большой и при этом самых разнообразных частот, соответствующих длинным, коротким и ультракоротким волнам. Для малых мощностей (десятые доли ватта) пользуются малой усилительной лампой, например, типа *УБ-110*, и тогда вся радиостанция может уместиться в одном ранце и переноситься одним человеком; в мощных радиостанциях, например, на радиостанции Коминтерн, работают большие лампы с водяным охлаждением. Передатчики такой мощности требуют для своего размещения специальных зданий.

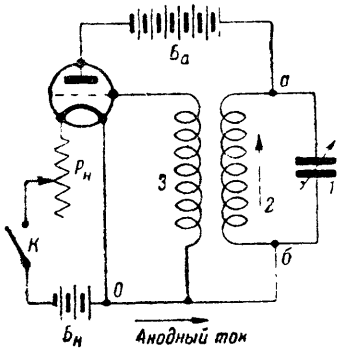


Рис. 230. Схема лампового генератора

97. УСТРОЙСТВО ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Ламповый генератор состоит из электронной лампы, анодной батареи и колебательного контура, надлежащим образом между собой соединенных.

Одна из возможных схем генератора изображена на рис. 230.

В этой схеме следует различать 3 цепи:

1. Цепь накала, состоящая из батареи накала *Бн*, реостата накала *Рн* и нити лампы. В этой цепи проходит постоянный ток, который накаливает нить.

2. Анодная цепь, состоящая из анодной батареи *Ба*, положительный полюс которой соединен с анодом, колебательного

контура *1—2* и лампы, точнее ее промежутка анод—нить. В этой цепи постоянный ток анодной батареи преобразуется в переменный ток высокой частоты.

3. Цепь сетки, состоящая из катушки *3* и промежутка сетка—нить. Катушка эта индуктивно связана с катушкой *2*, входящей в колебательный контур. Катушка *3* называется катушкой обратной связи. Посредством нее анодная цепь связывается с цепью сетки, что необходимо для работы лампового генератора. В дальнейшем станет ясно, почему эта связь называется обратной связью.

Все три указанные цепи сходятся в точке *О*, которая является общей точкой схемы; ее обычно заземляют или соединяют с металлическим экраном, покрывающим всю схему генератора.

При замыкании цепи накала ключом *К* в анодной цепи возникает ток, который проходит по катушке *2* и одновременно заряжает конденсатор *1*. Заряженный конденсатор немедленно начнет разряжаться через катушку самоиндукции контура, причем разряд будет носить характер колебаний, более или менее быстро затухающих и исчезающих через короткий промежуток времени. Однако, возникший в контуре колебательный ток индуктирует в катушке *3* э. д. с., благодаря которой напряжение на сетке становится то положительным, то отрицательным. При положительном напряжении на сетке через лампу и контур пройдет анодный ток, который пополнит потери энергии в контуре за счет анодной батареи. Следовательно, под влиянием меняющегося напряжения на сетке анодный ток как бы толчками питает контур, заряжая его конденсатор *1*, который в свою очередь разряжается через катушку *2*. Благодаря этому сила тока в контуре не будет убывать, и колебания получатся незатухающие. Теперь ясно и назначение катушки *3*: напряжение на сетке управляет анодным током, а анодный ток через катушку *3* обратно воздействует на цепь сетки. Поэтому эта катушка и называется катушкой обратной связи.

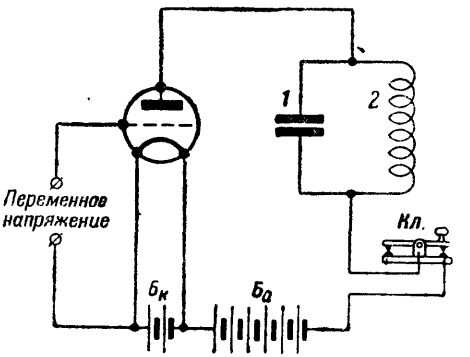


Рис. 231. Схема генератора с посторонним возбуждением

Получение незатухающих колебаний при помощи лампового генератора весьма сходно с явлением колебания маятника.

Разобранная схема, способная сама возбуждать и поддерживать незатухающие колебания, называется схемой генератора с самовозбуждением.

Непременным условием работы лампового генератора с самовозбуждением является достаточная величина коэфициента связи между катушками и правильное взаимное направление витков обеих катушек.

Существует еще один тип генераторов—так называемые генераторы с посторонним или независимым возбуждением. Принцип их работы поясняется схемой рис. 231. Здесь колебания в контуре, состоящем из емкости *1* и самоиндукции *2*, поддерживаются тем, что на сетку лампы подаются колебания той же частоты, что и собственная частота колебаний контура, от какого-либо постороннего источника колебаний. Этим источником может быть генератор с самовозбуждением, колебания которого усиливаются в генераторе с посторонним возбуждением.

98. МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАТОРА

Колебания в контуре генератора могут непосредственно передаваться в антенну и ею излучаться в пространство. Тогда мы имеем дело с простейшим однокаскадным передатчиком.

Чаще колебания сначала усиливаются и лишь затем питают антенну. Получается схема сложного двух- или многокаскадного передатчика. В этом случае ламповый генератор имеет задачей подать напряжение на сетку лампы усилителя и называется задающим генератором, или возбудителем.

Разберем вопрос о мощности генератора. Полезной мощностью генератора называется мощность колебаний в его контуре. От этой мощности зависит и мощность колебаний в антенне однокаскадного передатчика, а значит, и его дальность действия. При работе генератора в качестве возбудителя в многокаскадном передатчике его полезная мощность затрачивается на возбуждение усилителя. Поэтому в обоих случаях мы заинтересованы в том, чтобы получить достаточную мощность колебаний высокой частоты. Как во всякой электрической цепи, мощность в контуре равна квадрату силы тока, показываемого тепловым амперметром, умноженному на сопротивление контура.

Обозначая:

мощность P в ваттах,
силу тока I в амперах и
сопротивление R в омах,

указанное условие можно написать в виде формулы:

$$P = I^2 \cdot R.$$

Сопротивление контура для переменного тока высокой частоты не составляет той же величины, что для постоянного тока, а будет значительно больше. Если сопротивление неизвестно, то о величине мощности мы можем судить по току в контуре. Чтобы полезная мощность генератора была наибольшей, необходимо получить возможно больший ток в контуре, т. е. наибольшее показание амперметра. Это достигается соответствующей регулировкой генератора, в частности, подбором связи между катушками контура и сетки, и делается на заводе.

С вопросом о мощности тесно связан вопрос о коэфициенте полезного действия лампового генератора. Всякое преобразование энергии из одного вида в другой не может быть произведено целиком: неизбежны потери, и некоторая часть преобразующейся энергии теряется безвозвратно. Коэфициент полезного действия, или отдача, какого-либо устройства показывает, какая доля всей подведенной к машине мощности полезно используется. Если, например, электродвигатель из всей подведенной к нему электрической мощности $^3/_4$ превращает в механическую мощность, способную приводить в движение станки, то говорят, что он работает с отдачей, равной $^3/_4$, или 75%. Остальные 25% тратятся безвозвратно на нагрев обмоток электродвигателя и т. д. Коэфициент полезного действия сокращенно обозначается к. п. д. и выражается в процентах. Очевидно, он представляет отношение полезной мощности ко всей подведенной к машине мощности. Это можно записать так:

$$\text{коэфициент полезного действия} = \frac{\text{полезная мощность} \times 100}{\text{подведенная мощность}} = \frac{P_k}{P_o} \cdot 100\%,$$

где P_k — полезная мощность,

P_o — подведенная мощность.

В ламповом генераторе, который мы сейчас изучаем, происходит преобразование энергии постоянного тока анодной батареи в энергию переменного тока высокой частоты. Это преобразование также не обходится без потерь, и к. п. д. генераторов обычно лежит в пределах 50—80%.

Чтобы в каждом конкретном случае определить этот к. п. д., следует воспользоваться приведенным выше выражением. Полезная мощность генератора нам известна, если измерен ток в контуре (тепловым амперметром) и известно сопротивление контура. Но какая мощность подводится к генератору? Согласно известному закону постоянного тока, мощность, отдаваемая батареей или машиной, может быть выражена, как ее напряжение, умноженное на силу тока, которую она дает во внешнюю цепь. В нашем случае напряжение анодной батареи легко измерить вольтметром; миллиамперметр, включенный последовательно в анодную цепь, покажет расход анодного тока от батареи.

Следовательно, подводимая мощность равна напряжению анодной батареи, умноженному на расход анодного тока, т. е.:

$$P_o = U_a \cdot I_a,$$

где U_a — напряжение анодной батареи в вольтах;

I_a — анодный ток в амперах;

P_o — подводимая мощность в ваттах.

Таким образом, для определения подводимой мощности достаточно перемножить показания анодных вольтметра и амперметра.

Включение измерительных приборов в ламповом генераторе показано на рис. 232.

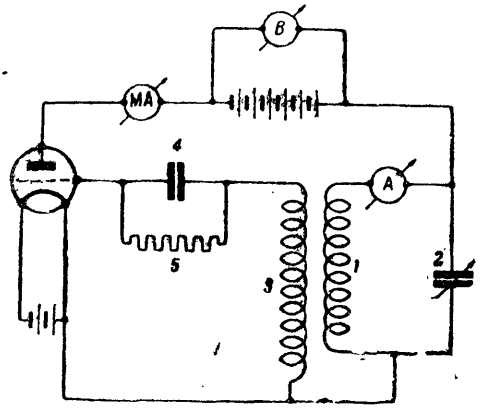


Рис. 232. Включение измерительных приборов в ламповом генераторе

99. ПОТЕРИ НА АНОДЕ ЛАМПЫ

Итак, из мощности, подводимой источником анодного напряжения, лишь часть преобразуется в колебания высокой частоты; другая часть составляет потери. Но энергия не может исчезнуть бесследно, а может лишь перейти в другой вид энергии, причем наиболее часто происходит преобразование ее в теплоту, которая затем рассеивается в пространство.

В ламповом генераторе разность между мощностью подведенной и преобразованной в колебания высокой частоты выделяется на аноде лампы в виде тепла. Вследствие этого повышается температура анода, который может поэтому более или менее накаливаться.

Чтобы понять, почему все потери в генераторе сосредоточиваются на аноде, необходимо вспомнить, каким образом проходит анодный ток через лампу. В разряженном пространстве между катодом и анодом (вакууме) ток образуется полетом свободных электронов, испускаемых накаленной нитью и притягиваемых положительным анодом. По мере приближения к аноду электроны ускоряют свой бег, так как притягиваются все сильнее. При ударе об анод каждый резко заторможенный электрон отдает свою энергию частицам металла, из которого сделан анод, вследствие чего температура последнего повышается. При большой мощности колебаний лампа должна пропускать через себя большие значения анодного тока; это значит — на анод обрушивается мощный поток электронов, который может раскалить его до белого каления и даже расплавить, т. е. вывести лампу из строя. Каждая генераторная лампа рассчитывается так, чтобы ее анод мог принять на себя некоторую мощность без перегрева. Это есть нормальная мощность потерь на аноде. Она рассеивается нагретым анодом через колбу в окружающее пространство без всякого вреда для лампы. Эта величина приводится для каждой лампы в таблицах ее данных и, очевидно, зависит от размеров анода и тугоплавкости его материала.

100. СМЕЩЕНИЕ НА СЕТКУ. ГРИДЛИК

На рис. 232 мы видели, что миллиамперметр, включенный в цепь анода, показывает постоянный ток. Более тщательное

изучение показывает, что этот постоянный ток слагается из отдельных пульсаций, толчков тока, называемых импульсами. Амплитуда этих импульсов тока обычно в 3—3,5 раза больше постоянного тока, отмечаемого прибором. На рис. 233 показаны импульсы анодного тока, идущего через генераторную лампу.

От малой (например, типа усилительной) лампы нельзя получить большой полезной мощности, потому что получающиеся при работе потери вызовут недопустимый перегрев ее анода. Поэтому лампы, предназначенные для генерирования более или менее мощных колебаний, отличаются большими размерами, что определяется главным образом величиной анода. Иногда анод для лучшего охлаждения снабжается ребрами, как в лампе *ГК-36*. Нити накала для получения достаточно сильного электронного потока у мощных ламп также должны быть взяты значительной толщины и длины. Потребная для их накала мощность достигает десятков и сотен ватт.

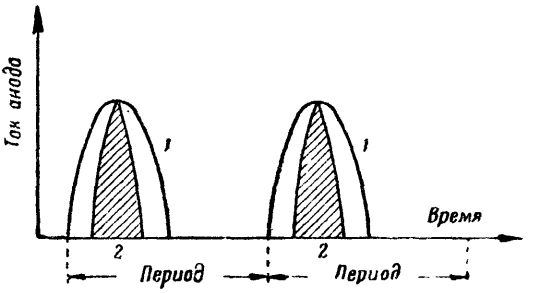


Рис. 233. Графическое изображение импульсов анодного тока

Из рис. 233 видно, что анодный ток проходит лишь в течение части (половины или даже менее) периода. Этим сокращается время, в течение которого анод подвергается ударам электронов, значит, уменьшаются потери на нем и повышается отдача генератора. Прекращение анодного тока в определенный момент называется его отсечкой. Чем кратковременнее импульс тока, т. е. чем раньше происходит его отсечка, тем меньше потери и тем больше к. п. д.

Однако, острые импульсы, подобные тем, которые на рис. 233 заштрихованы и обозначены цифрами *2—2*, уже несут в себе слишком мало энергии, слабо питают контур, и полезная мощность падает. Поэтому обычно стремятся работать с такой отсечкой, когда анодный ток протекает приблизительно полпериода. Тогда получается достаточная мощность при хорошем к. п. д.

Разберем теперь, от чего зависит форма анодного тока и каким образом можно влиять на нее. Для этого воспользуемся характеристикой какой-либо лампы, например *УБ-110* (рис. 234). Эта характеристика, как известно, представляет зависимость анодного тока от напряжения на сетке[1]. Величина анодного тока откладывается от нуля вверх, напряжение на сетке — вправо

[1] Здесь следует воспользоваться так называемой рабочей характеристикой, учитывающей также появление переменной слагающей анодного напряжения. Она будет иметь несколько меньший наклон к горизонтальной оси. На правильность дальнейших рассуждений это не повлияет.

вдоль горизонтальной линии, если оно положительно, и влево, если оно отрицательно. Поэтому, чтобы изобразить на рис. 234 форму напряжения на сетке, придется направить ось времени вниз. Построим кривую изменений анодного тока во времени. Место для этого выберем справа от нашей характеристики и от нового нуля (начало счета времени) будем откладывать вправо время, а вверх — анодный ток. В первый момент на сетке напряжение равно нулю, анодный ток равен отрезку $aa' = 5^1/_2$ миллиампер. Сносим эту точку a' на правый чертеж, получаем точку a''. Пусть амплитуда сеточного напряжения будет 3 вольта; тогда, продолжая построения для следующих точек: *б*, *в*, *г*, по-

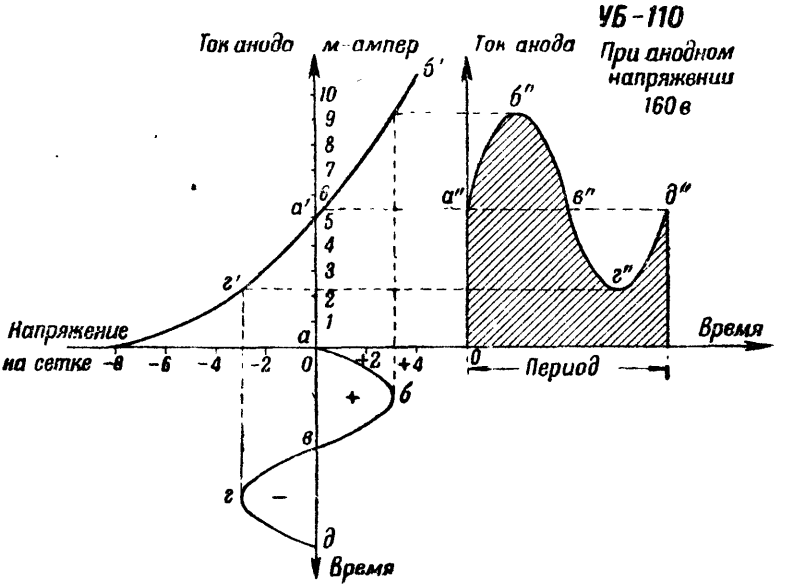


Рис. 234. Изменения анодного тока в генераторной лампе без смещения на сетке

лучаем для анодного тока ряд точек: *б''*, *в''*, *г''* и *д''*, которые вдоль горизонтальной линии времени должны расположиться так же, как точки *а*, *б*, *в*, *г*, *д* по вертикальной. Соединяя полученные точки плавной линией, получаем кривую изменений анодного тока во времени. Мы видим, что при положительных напряжениях на сетке анодный ток нарастает, при отрицательных—убывает, и отсечки анодного тока не происходит. Анодный ток проходит через лампу в течение всего периода напряжения на сетке. Это значит: потери на аноде велики и к. п. д. мал.

Чтобы получить анодный ток, состоящий из отдельных прерывающихся импульсов, включим в цепь сетки специальную батарею, называемую батареей смещения *Бс*. Отрицательный ее полюс включим на сетку, положительный через катушку связи соединим с катодом (рис. 235). В остальном схема гене-

ратора не меняется. Таким образом в цепи сетки имеется два напряжения: постоянное от батареи и переменное, возникающее в катушке связи. Чтобы теперь построить кривую изменений анодного тока во времени (рис. 236), необходимо учесть наличие отрицательного напряжения на сетке. Для этого кривую переменного сеточного напряжения мы должны переместить влево на величину напряжения смещения. Возьмем эту батарею для нашего случая с напряжением 4 вольта и произведем то же построение, что в предыдущем случае. Мы видим, что в течение большей части отрицательных полупериодов на сетке анодный ток равен нулю, т. е. мы получили форму тока, выгодную с точки зрения к. п. д.

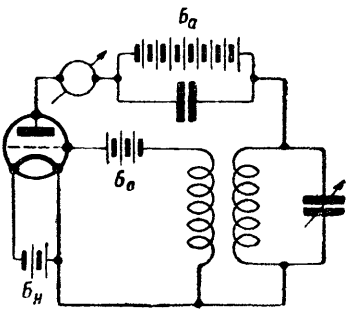


Рис. 235. В цепь сетки генератора включена батарея смещения *Бс*

Увеличивая отрицательное смещение, мы можем импульсы анодного тока делать еще более остроконечными. Однако, помимо того, что вообще нежелательно иметь лишнюю батарею, она еще затрудняет самовозбуждение генератора. Поэтому в настоящее время для получения сеточного

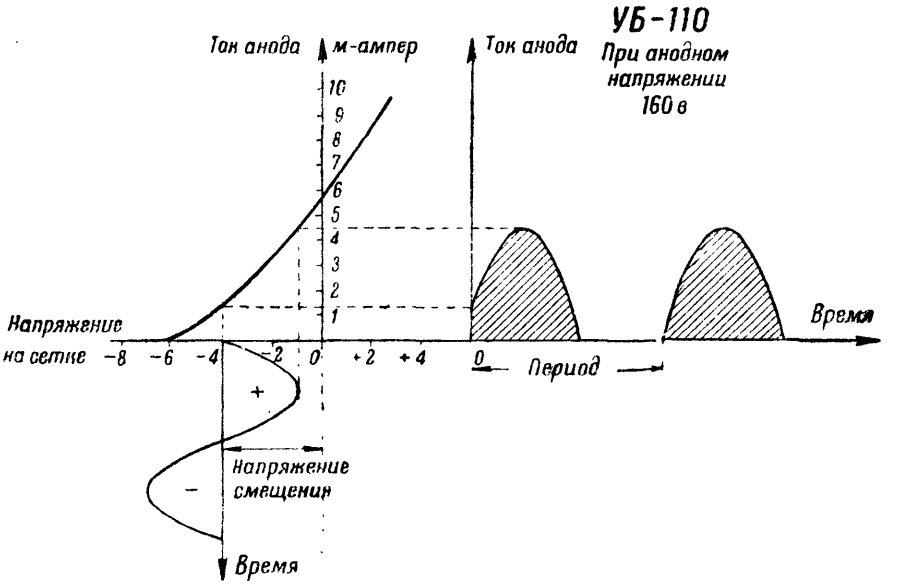


Рис. 236. Графическое изображение получения анодного тока с отсечкой

смещения пользуются сопротивлением утечки, или, как его называют, гридликом.

Гридлик представляет собой сопротивление *2*, включенное параллельно конденсатору *1* (рис. 237). При прохождении в цепи

сетки тока (направление тока указано на рисунке стрелками) на концах сопротивления создается падение напряжения, вследствие чего напряжение на сетке становится ниже напряжения на катоде, т. е. сетка становится отрицательной относительно катода. Конденсатор *1* служит для пропуска переменной составляющей сеточного тока без потери напряжения. Емкость его берется от 500 до 1 000 *см*. Сопротивление *2* берется порядка 3 000—1 000 ом в зависимости от величины необходимого смещения и от величины сеточного тока данной лампы.

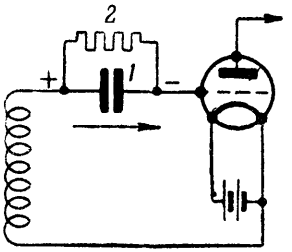


Рис. 237. Включение утечки сетки — гридлика

101. НАСТРОЙКА ЛАМПОВОГО ГЕНЕРАТОРА

Ламповые генераторы в подвижных передатчиках обычно работают не на одной волне, а имеют возможность излучать любую волну в некоторых пределах, или, как говорят, в некотором диапазоне волн. Перекрытие заданного диапазона осуществляется или конденсатором переменной емкости, или переменной катушкой самоиндукции, называемой вариометром.

Практически для установки заданной волны пользуются или графиками градуировки, или отметками волн на шкале настройки генератора.

Чтобы генератор работал с хорошей отдачей на всех волнах, приходится менять связь цепи анода с колебательным контуром. Это достигается подключением анодной цепи к катушке контура не в постоянных точках, а при помощи переменных контактов-штепселей, так называемых щипков (рис. 238).

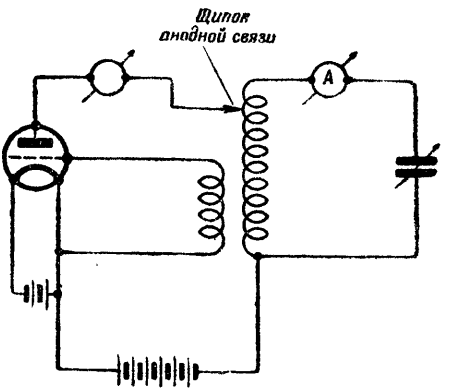


Рис. 238. Генератор, в котором провод от анода оканчивается „щипком" анодной связи

Для простоты настройки в полевых радиостанциях положение анодной связи подбирают наивыгоднейшее для всего диапазона частот генератора. Из тех же соображений подбора наивыгоднейших условий работы генератора иногда делают обратную связь на сетку переменной, что достигается поворачиванием катушки обратной связи внутри катушки контура или выдвиганием ее из катушки контура. Чаще всего связь на сетку оставляют постоянной на всем диапазоне.

Для облегчения настройки при переменных связях положение анодной и сеточной связи указывается в таблицах настройки, имеющихся на каждой радиостанции.

102. ГЕНЕРАТОР С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМ ПИТАНИЕМ

До сих пор мы изучали схему генератора, у которого все три его главных части (батарея, лампа и колебательный контур) соединены между собой последовательно; эта схема поэтому называется схемой генератора с последовательным питанием. При наличии усиления колебаний генератора для питания усилителя потребовалась бы отдельная анодная батарея. Поэтому наиболее часто осуществляют параллельное питание генератора (рис. 239).

В этом случае анодная батарея (или другой источник постоянного напряжения), лампа и колебательный контур соединены между собой параллельно. Одновременно появились две новых детали в схеме, а именно: дроссель высокой частоты *6* и разделительный конденсатор *7*.

В этой схеме проходящий через лампу пульсирующий анодный ток разделяется на две составляющих: постоянную составляю-

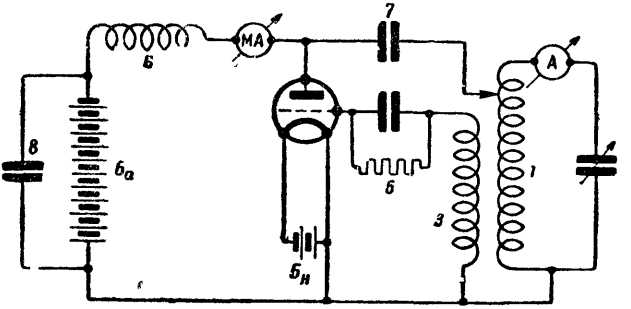


Рис. 239. Генератор с параллельным питанием

щую, идущую от плюса источника через дроссель и лампу к минусу анодного питания, и переменную составляющую, питающую колебательный контур через разделительный конденсатор *7*. Этот конденсатор служит для предохранения батареи от короткого замыкания, так как в случае его отсутствия батарея *Ба* через дроссель высокой частоты *6* и катушку контура *1*, сопротивление которых постоянному току очень мало, была бы замкнута почти накоротко. Емкость разделительного конденсатора берется порядка нескольких сот сантиметров, причем он испытывается на прочность диэлектрика под напряжением, не менее чем в 2—3 раза превышающим анодное напряжение.

Роль дросселя *6* состоит в том, чтобы преградить путь переменной слагающей анодного тока в батарею. Поэтому его индуктивное сопротивление должно быть достаточно велико. Выполняется дроссель в виде катушки без железа, часто цилиндрической, но иногда и плоской формы.

Блокировочный конденсатор *8*, шунтирующий батарею *Ба*, отводит мимо нее тот слабый переменный анодный ток, который все же проходит через дроссель.

Показание миллиамперметра *МА*, умноженное на напряжение анодной батареи, и в этом случае определит подводимую к генератору мощность.

Генераторная схема параллельного питания имеет преимущество перед схемой последовательного питания: при последовательном питании детали контура находятся под высоким напряжением анодного источника, и прикосновение к ним опасно. В схеме параллельного питания через контур проходит только ток высокой частоты, менее опасный для жизни, что делает схему более удобной в эксплоатации.

103. СХЕМЫ ЛАМПОВЫХ ГЕНЕРАТОРОВ С САМОВОЗБУЖДЕНИЕМ

Схемы генераторов различаются между собой по способу получения обратной связи. Кроме индуктивной обратной связи, применяется непосредственная связь: автотрансформаторная и емкостная.

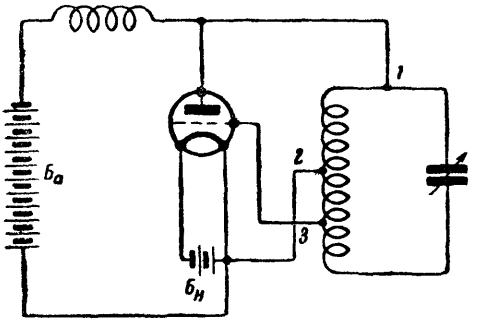


Рис. 240. Трехточечная схема

Схемой с автотрансформаторной связью является схема Гартлея (рис. 240). Здесь переменное напряжение на сетку берется непосредственно с катушки контура. Провод, идущий от нити накала, обязательно должен быть включен между анодом и сеткой, так как только тогда импульсы анодного тока будут поддерживать колебания в контуре. Такую схему часто называют даже 3-точечной, так как контур подключен к лампе в 3 точках (*1*, *2* и *3*).

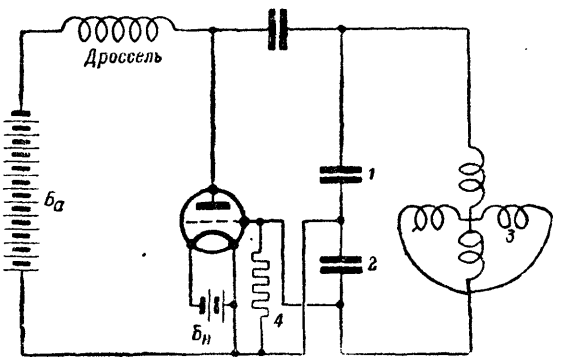


Рис. 241. Схема Колпитца

Величина обратной связи в 3-точечных схемах определяется числом витков катушки, включенных в цепь сетки, и регули-

руется перестановкой контакта, идущего от сетки лампы. Эта схема нашла применение в задающем генераторе полковой радиостанции и других. Схема с непосредственной емкостной связью (схема Колпитца) изображена на рис. 241. Емкость колебательного контура образована здесь двумя конденсаторами *1* и *2*, соединенными последовательно. При наличии колебаний в контуре на обкладках конденсатора *2* возникает переменное напряжение, которое и подается на сетку лампы для управления анодным током. Величину обратной связи можно регулировать, меняя емкость конденсатора *2*: чем меньше эта емкость, тем больше напряжение на зажимах этого конденсатора и, следовательно, больше обратная связь. Настройка контура производится вариометром *3*. Так как в этой схеме сетка от нити изолирована, то на ней будет накапливаться отрицательный заряд за счет электронов, попадающих с нити на сетку во время положительных полупериодов напряжения на ней. Большой отрицательный заряд сетки, уменьшая анодный ток, может вызвать срыв колебаний. Для предотвращения этого присоединяют параллельно конденсатору утечку сетки в виде сопротивления *4*, по которому отрицательный заряд будет беспрепятственно уходить к нити.

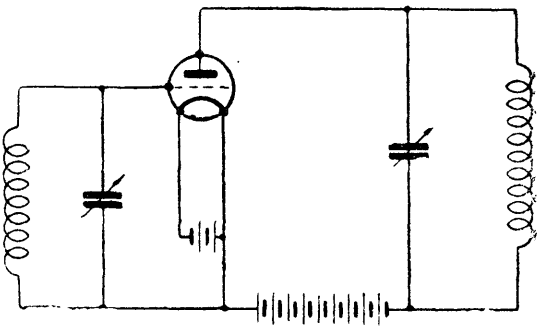


Рис. 242. Схема Хут-Кюна

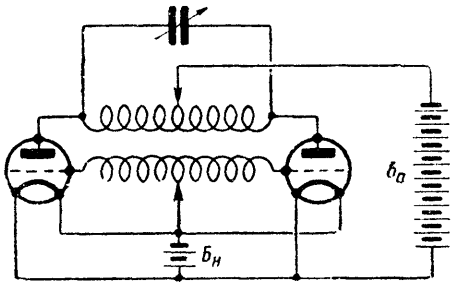


Рис. 243. Двухтактная схема генератора

Обратная связь цепи анода с цепью сетки, а следовательно, и возможность генерирования колебаний лампой получаются иной раз и без специальной связи. При наличии настроенных контуров в цепях анода и сетки колебания легко возникают за счет связи через внутриламповую емкость анод—сетки, особенно при коротких волнах. Схема генератора Хут-Кюна (рис. 242) отличается именно тем, что обратная связь от настроенного анода к сетке осуществляется через внутриламповую емкость.

В 2-тактной схеме (рис. 243) используются 2 лампы, работающие по-очереди на один колебательный контур. Они включены так, что когда в одной лампе анодный ток увеличивается под действием положительного напряжения на сетке,

в другой лампе ток в цепи анода уменьшается, так как сетка ее в это время заряжается отрицательно. Поэтому импульсы анодного тока будут питать контур 2 раза за период, а это скажется в увеличении мощности и устойчивости колебаний.

Схема особенно пригодна для получения коротких волн.

104. ПОДДЕРЖАНИЕ ПОСТОЯНСТВА ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА

Частота, излучаемая передающей радиостанцией, или ее длина волны, в процессе работы должна поддерживаться строго постоянной. Небольшие отклонения от заданной частоты, особенно при работе на коротких волнах, могут повести к потере связи и помехам другим радиостанциям. В любом современном передатчике, имеющем ряд ступеней усиления, частота колебаний определяется задающим генератором, и, следовательно, необходимо в первую очередь позаботиться о постоянстве (стабилизации) частоты этого генератора.

Рассмотрим подробнее, от каких причин может изменяться частота колебаний. Она зависит непосредственно от емкости и самоиндукции контура. Всякое изменение формы каркаса катушки от времени, сырости и т. д., расширение витков от нагрева колебательным током и как следствие этого—ослабление и сползание витков изменят самоиндукцию. На частоту колебаний контура влияет емкость ламп, которая так или иначе подключена к емкости контура; влияет также емкость всех соединительных проводников схемы. Изменение внутриламповых емкостей (от самонагрева лампы, смены ламп), а также колебания проводов схемы при тряске генератора также будут влиять на частоту. При коротких волнах, когда емкость контура сама по себе мала, перечисленные явления сказываются особенно резко.

Всякие изменения режима, как-то: изменение анодного напряжения и напряжения накала (подсадка батарей), изменение нагрузки на задающий генератор, обратное взаимодействие усилителя на задающий генератор, приближение оператора к контуру, колебание антенны и противовеса ветром и т. д.— будут также сказываться на частоте генератора. Меры борьбы с непостоянством волны сводятся вкратце к следующему:

1. Генератор тщательно экранируют, помещая целиком в алюминиевый или латунный ящик с выводом наружу осей для рукояток настройки.

2. Обращают особое внимание на прочность деталей контура.

3. Вводят в схему ряд усложнений, о которых будет сказано в главе о передатчиках. Эти меры способствуют стабилизации.

4. Если требуется особо устойчивая работа, применяют стабилизацию кварцевой пластинкой.

105. СТАБИЛИЗАЦИЯ КВАРЦЕМ

Если из кристалла кварца вырезать определенным способом небольшую пластинку и поместить ее между металлическими обкладками, то при сжатии такой пластинки на ее гранях появляются электрические заряды. Такое электричество называется *пьезоэлектричеством*. Растяжение пластинки вызывает появление зарядов противоположного знака.

Наоборот, если к граням кварцевой пластинки приложить переменное напряжение, то пластинка начнет периодически сжиматься и расширяться, т. е. придет в колебательное состояние.

Внешний вид естественного кварцевого кристалла представляет собой 6-гранную призму, к верхнему и нижнему основаниям которой примыкают 6-гранные пирамиды (рис. 244). Пластинки кварца могут быть вырезаны из кристалла различным способом.

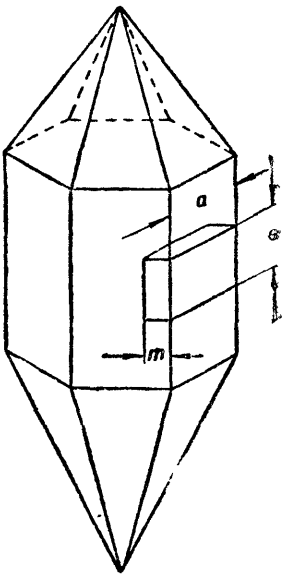


Рис. 244. Кристалл кварца и способ вырезания из него пластинки

На рис. 244 приведен один из способов. Здесь *а* — длина, *в* — ширина, *т* — толщина кварцевой пластинки. Обычно используются колебания по толщине. При этом собственная длина волны колебаний пластинки в метрах может быть грубо подсчитана умножением толщины пластинки в миллиметрах на постоянное число 110.

Так, если толщина пластинки 2 *мм*, то длина волны собственных колебаний пластинки — 220 *м*.

В схемах, применяющих кварц для стабилизации колебаний лампового генератора, используется резонанс собственных колебаний пластины с колебаниями в контуре генератора.

Обычно кварц включается в цепь сетки по схеме рис. 245.

Мы имеем здесь обычный генератор, собранный по 3-точечной схеме с параллельным питанием. Пластинка кварца, условное обозначение которой видно на схеме, включена в цепь сетки. Путь оседающим на сетке электронам дается через дроссель *5*, вместо которого может стоять и сопротивление. О возникновении колебаний можно судить по накаливанию лампочки *7* (от карманного фонаря), которая индуктивно одним-двумя витками *6* связана с катушкой контура *2*. Назначение остальных элементов схемы ясно из предыдущего.

Пластинка помещается в специальном держателе, на котором выгравирована ее собственная частота. Ножки держателя вставляются в соответствующие гнезда в передатчике. В такой схеме генератора устанавливается только та длина волны, которая соответствует вставленной кварцевой пластинке. При

этом постоянство частоты поддерживается с точностью до одной сотой процента. Однако, необходимо отметить, что на точность влияют изменения внешней температуры, вызывающие изменения размеров пластинки. В ряде случаев для устранения изменения частоты от прогрева кварцевой пластинки она помещается в оболочку, называемую термостатом. В термостате при помощи электрического подогревателя с автоматической регулировкой поддерживается строго постоянная температура,

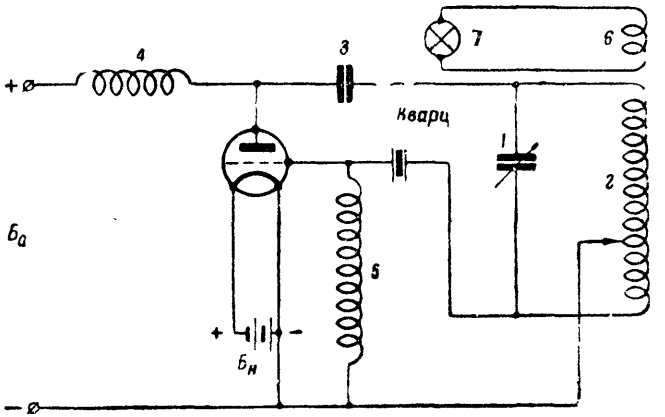


Рис. 245. Схема генератора, стабилизованного кварцем

что гарантирует полную неизменность собственной частоты кварцевой пластинки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Из каких основных частей состоит схема лампового генератора?
2. Каким образом получаются незатухающие колебания?
3. Каково назначение катушки обратной связи?
4. От чего зависит частота колебаний лампового генератора?
5. Как найти полезную и подводимую мощность генератора?
6. Что такое к. п. д.?
7. Почему анод генераторной лампы нагревается и краснеет?
8. Зачем дается отрицательное смещение на сетку?
9. Что такое гридлик и как он работает?
10. Как настраивают генератор на заданную волну?
11. Какие две добавочных детали обязательно будут в схеме с параллельным питанием и каково их назначение?
12. Чем отличаются друг от друга разные схемы ламповых генераторов?
13. От каких причин может изменяться частота генератора?
14. Какие меры принимают для обеспечения постоянства частоты?
15. Как применяют кварц для стабилизации?
16. В какую цепь обычно включается кварцевая пластинка?

ЧАСТЬ ТРЕТЬЯ

ГЛАВА XII

ЛАМПОВЫЕ РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ

106. ГЛАВНЫЕ ЧАСТИ ПЕРЕДАТЧИКА

Радиопередатчиком называют такое устройство, в котором электрическая энергия любого вида преобразуется в энергию высокой частоты и в преобразованном виде излучается (выбрасывается) в пространство.

Основными частями радиопередатчика являются (рис. 246):

а) источник питания электроэнергией;

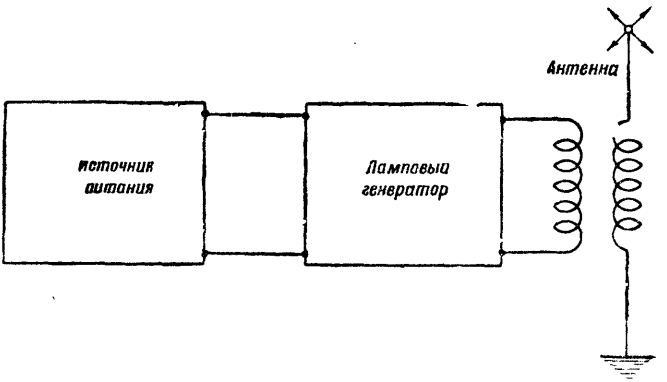


Рис. 246. Составные части лампового передатчика

б) ламповый генератор, вырабатывающий колебания высокой частоты;

в) антенна.

Источники питания в зависимости от мощности радиопередатчика и условий работы могут состоять из сухих или аккумуляторных батарей, дающих мощность порядка нескольких ватт, умформера или динамомашины, дающих бо́льшие мощности, и, наконец, из сложного силового хозяйства на сотни киловатт, включающего в себя мощные трансформаторные и выпрямительные установки на напряжение в 10 000—15 000 вольт. Выпрямительные устройства вообще могут применяться для любых мощностей радиостанций. В передвижных станциях выпрямительные устройства питаются обычно от машин переменного тока повышенной частоты.

К источникам питания относятся также батареи (машины) накала и смещения на сетку, если такое смещение имеет место.

Динамомашины для питания накала и отдельные источники электроэнергии для смещения на сетках применяются лишь на станциях большой мощности.

В зависимости от мощности радиостанции, ее назначения и диапазона частот, на котором она работает, генератор передатчика делается одно-, двух- и многокаскадным.

Отдельные ступени, или каскады, усиления в зависимости от их места в схеме передатчика называют: первый каскад, второй и т. д. Первый каскад называют задающим генератором. В случаях телефонного передатчика последний каскад его, называемый также усилителем мощности (или предпоследний каскад), соединяется со специальным модуляторным устройством, более или менее сложным, в зависимости от мощности передатчика.

Мощностью радиопередатчика принято считать мощность в антенне, исчисляемую в ваттах или киловаттах.

107. ОДНОКАСКАДНЫЕ СХЕМЫ ПЕРЕДАТЧИКОВ

Однокаскадные схемы применяются сравнительно редко и в настоящее время вытесняются более совершенными схемами двух- и многокаскадными. Однокаскадные передатчики находят применение в следующих случаях:

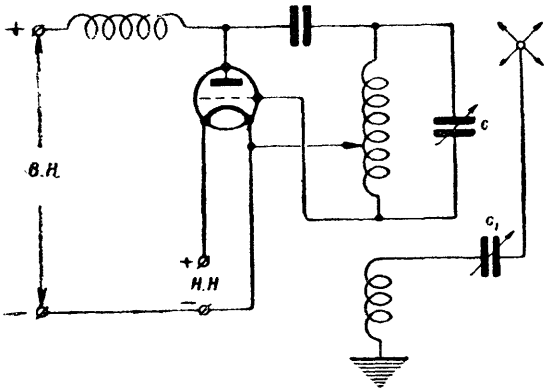


Рис. 247. Схема однокаскадного передатчика

1. Когда нужна сравнительно малая мощность и имеются средства стабилизовать измеряемую частоту пьезокристаллом или иным способом, как например в гетеродинах.

2. Когда не имеется возможности по весовым и габаритным соображениям выполнить схему многокаскадной, например, в ультракоротковолновых радиостанциях.

3. Когда нет технических возможностей применить усиление или умножение частоты, например, в передатчиках дециметровых волн.

Все однокаскадные передатчики за исключением тех, у которых частота стабилизована, при связывании с антенной отличаются непостоянством излучаемой частоты. Частота такого передатчика в каждый данный момент зависит не только от положения рукоятки настройки (рис. 247) конденсатора антенной емкости C_1, но и от положения конденсатора C, от степени

связи между катушкой контура и антенной и даже от величин высокого напряжения *ВН* и напряжения накала *НН*.

Конденсатором C_1 антенна настраивается в резонанс с колебаниями, происходящими в контуре передатчика; при этом точная настройка в резонанс получается лишь в редких случаях, чаще же всего находят положение, весьма близкое к резонансу, в зависимости от точности подстройки по антенному прибору. Оказывается, что вблизи от резонанса небольшое изменение в положении антенного конденсатора сильно влияет на частоту. Конденсатор C_1 изменяет емкость антенны, следовательно, также должны влиять и качания антенны от ветра, так как в этом случае также будет меняться емкость антенны.

Прием передачи с такого однокаскадного передатчика становится затруднительным и неприятным, а при сильном ветре даже невозможным. Нестабильность оказывается тем больше, чем полнее отсасывается энергия из передатчика в антенну. Кроме того, при указанных неизбежных изменениях в электрических данных антенны меняется общее сопротивление, на которое лампа работает, что ведет к неполному ее использованию. Анод лампы при этом излишне перегревается, а это само по себе влечет за собой изменение частоты.

В последующем изложении мы увидим, что телефонная передача однокаскадного нестабилизованного передатчика будет сопровождаться искажениями, а при приеме такой передачи приемник не может быть использован полностью, другими словами, дальность действия такого передатчика будет понижена. Нестабильная передача создает помехи другим станциям и затрудняет организацию связи. В настоящее время длинноволновые и коротковолновые передатчики строятся преимущественно с каскадами усиления.

108. МНОГОКАСКАДНЫЕ РАДИОПЕРЕДАТЧИКИ

Для того чтобы сделать частоту, излучаемую передатчиком, постоянной во времени и не зависящей от антенной части радиостанции, а также чтобы повысить излучаемую мощность, схему передатчика усложняют введением усилителя мощности (рис. 248).

Первый каскад передатчика, генератор с самовозбуждением, или, иначе, задающий генератор, осуществляется обычно с одной лампой по той или иной схеме (глава XI).

Так как задающий генератор определяет излучаемую частоту, то обращается особое внимание на его конструкцию. Детали, входящие в контур, должны обладать особенной прочностью, обеспечивающей их постоянство во времени. Не допускаются материалы, которые подвергаются сжатию или расширению под воздействием тех или иных внешних причин, так как если такой материал будет употреблен на каркас катушки или основание переменного конденсатора, то, очевидно, что самоиндукция катушки и емкость конденсатора будут изменяться, а следовательно, будет меняться и излучаемая волна.

Градуировку передатчика всегда делают по шкале задающего генератора, нанося ее цифры прямо на шкале в метрах, килогерцах или в номерах. Изменения частоты вследствие непрочности контура могут сбить такую постоянную градуировку, что сильно затруднит совместную работу подобных радиостанций.

Важным также является постоянство электрических свойств материала во времени, в частности, диэлектрической постоянной и поверхностной проводимости изоляционных материалов; изменение этих величин также влечет за собой изменение градуировки.

Обычно стремятся сделать колебательный контур задающего генератора с возможно большей емкостью, для того чтобы все приключаемые к этому контуру провода монтажа, схемы и лампы имели по сравнению с этой емкостью относительно

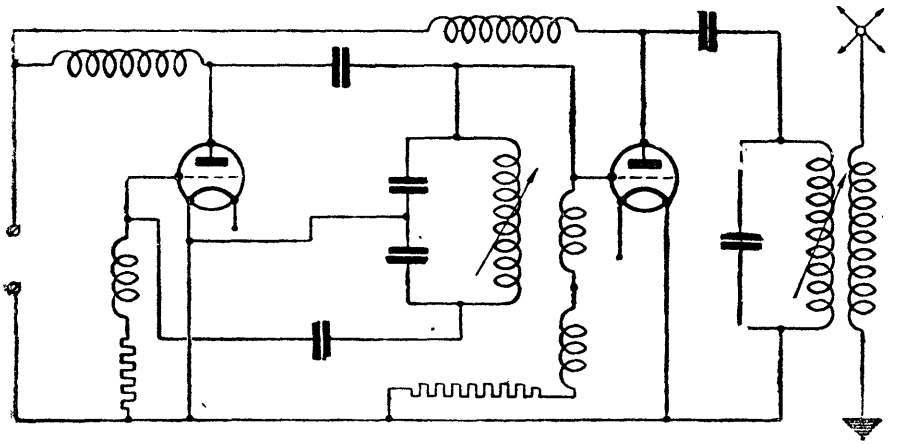


Рис. 248. Схема двухкаскадного передатчика

малую величину. Проводники монтажа делают возможно более жесткими, чтобы изменение их положения не отразилось на общей емкости и самоиндукции колебательного контура.

Контур задающего генератора радиопередатчика удаляют или теплоизолируют от сильно нагревающихся деталей, например, ламп, поглотительных сопротивлений, реостатов и т. п.

Мощность от задающего генератора обычно берут не более 5—8 ватт. Делается это для того, чтобы не было прогрева проводов схемы высокочастотным током, так как от прогрева изменяются и размеры катушек самоиндукции и размеры конденсатора, что ведет к изменению частоты контура. Мощность, которая получается в задающем генераторе, нормально берется меньше той, которую может дать примененная лампа. Режим работы лампы выбирается таким, чтобы ток сетки был возможно меньше. В задающем генераторе, как правило всегда применяется большое сопротивление утечки сетки, что значительно повышает стабильность частоты генератора при изменениях напряжений питания.

Для того чтобы уменьшить влияние изменений мощности в последующих каскадах на частоту задающего генератора (при работе ключом или телефоном), величина связи каскада усиления с задающим генератором берется малой, и тогда отбираемая от задающего генератора энергия будет небольшой по сравнению с остающейся в контуре.

Лампы второго каскада должны давать бо́льшую мощность, в соответствии с чем и выбирается тип ламп и их количество. Связь между каскадами может быть трансформаторная, автотрансформаторная и емкостная. С контуром мощного усилителя (последнего каскада) связывается антенна по простой или сложной схеме. Сложная схема называется также схемой с промежуточным контуром.

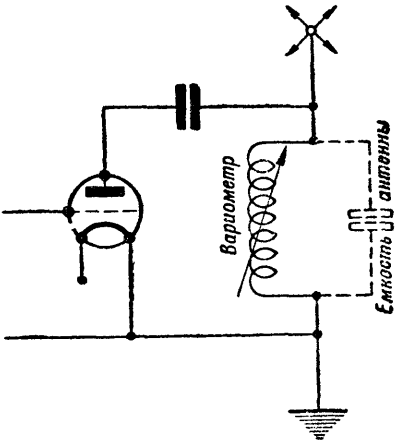


Рис. 249. Связь с антенной по простой схеме

В простой схеме контуром мощного каскада является антенный контур (рис. 249), настройка которого производится вариометром. В сложной схеме антенна является отдельным контуром *I*, связанным с промежуточным контуром *II* мощного каскада (рис. 250). Основным преимуществом сложной схемы является уменьшение мощности вредных колебаний, которые имеют место в простой схеме. Дело в том, что в ламповом генераторе, кроме колебаний основной частоты, создаются колебания двойной частоты, тройной, четверной и т. д. Эти добавочные колебания имеют значительно меньшую мощность, чем колебания основной частоты, но, попадая в антенну, излучаются и занимают полосу частот, „засоряют эфир" и тем самым мешают приему на других частотах.

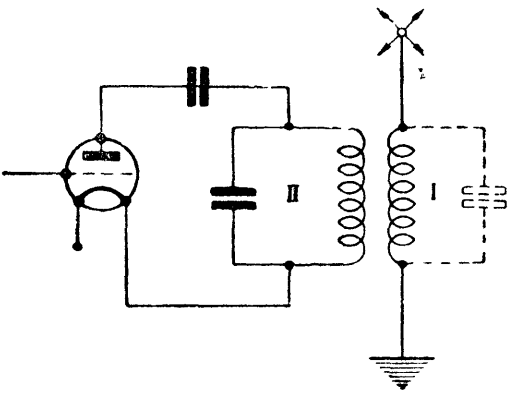


Рис. 250. Связь с антенной по сложной схеме

Поэтому наличие в антенне других частот, кроме основной, является вредным, и с ними приходится вести борьбу. Такие вредные колебания называют гармониками; вторая гармоника имеет двойную частоту, третья — тройную и т. д.

Промежуточный контур вследствие своих резонансных свойств значительно ослабляет (фильтрует) гармоники, попадающие

в антенну. Вообще фильтрация, т. е. ослабление гармоник, тем больше, чем меньше декремент затухания колебательного кон-

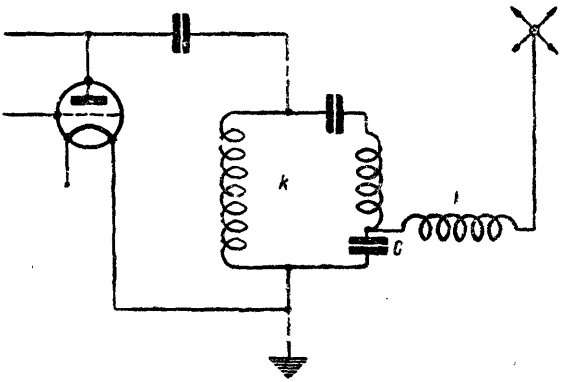


Рис. 251. Схема емкостной связи с антенной

тура и антенны. Емкостная связь (рис. 251) промежуточного контура с антенной дает также значительно лучшую фильтрацию, чем связь индуктивная.

В самом деле: конденсатор C представляет для переменного тока

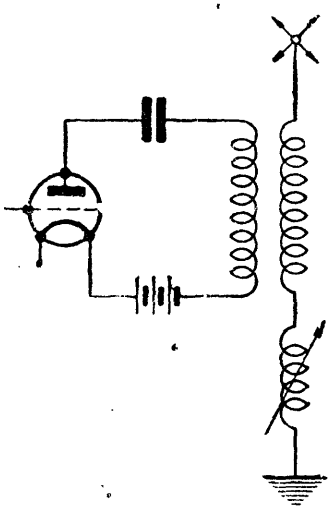


Рис. 252. Связь с антенной по упрощенной сложной схеме; настройка антенны вариометром

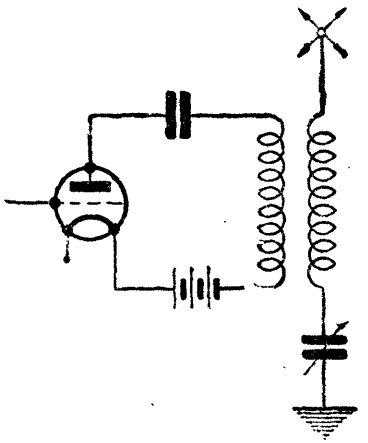


Рис. 253. Связь с антенной по упрощенной сложной схеме; настройка антенны конденсатором

тем меньшее сопротивление, чем больше частота проходящего через него тока. Таким образом, напряжение (произведение тока на сопротивление) на зажимах этого конденсатора для разных частот должно быть разное. Если в контуре K последнего каскада передатчика имеются, кроме основной волны, и гармоники, то, очевидно, что напряжение на конденсаторе C,

создаваемое основной волной, будет больше, чем от любой гармоники, так как частота гармоник всегда больше.

Если бы токи основной частоты и гармоник были по величине одинаковы, то напряжение, которое получалось бы на конденсаторе для второй гармоники, было в 2 раза меньше, чем для основной, для третьей гармоники — соответственно в 3 раза меньше и т. д. Но выше мы указывали, что мощность гармоник значительно меньше, чем мощность основной волны, и таким образом напряжение на емкости *C*, или, что то же, на зажимах антенна — земля, будет для гармоник весьма малым, а следовательно, и излучение гармоник будет ничтожным. Для улучшения фильтрации емкость *C* полезно брать больше и, кроме того, вставлять в антенну катушку самоиндукции *l* для увеличения сопротивления гармоникам.

Схемы, изображенные на рис. 252 и 253, обладают значительно лучшими фильтрующими свойствами, чем схема рис. 249, хотя они и не принадлежат полностью к классу сложных схем.

Простая схема находит применение только в некоторых маломощных передатчиках. Все современные передатчики строятся по упрощенной сложной схеме или по сложной. Мощные же радиопередатчики делаются исключительно по сложной схеме.

109. ПИТАНИЕ ПЕРЕДАТЧИКОВ

При мощности радиопередатчика менее 1 ватта питание анодов ламп производится от сухих 80-вольтовых батарей; при большей мощности — от умформера или динамомашины (глава IV).

Умформер, являясь преобразователем электрической энергии постоянного тока из напряжения низкого (например, 12 или 24 вольта) в напряжение высокое (например 750 или 1 500 вольт), питается обычно от аккумуляторной батареи.

В случаях, когда радиостанция должна постоянно работать из автомашины или танка, в которых имеется динамо для зарядки стартерных аккумуляторов, эту динамомашину используют и для подзарядки станционных аккумуляторов.

В этом случае, казалось бы, можно питать умформер непосредственно от динамо без аккумуляторов,—но это не так, во-первых, потому, что при работе радиостанции двигатель машины может стоять, а следовательно, и динамо не будет работать, во-вторых, необходимость применения аккумуляторной батареи вызывается еще и большой величиной пускового тока умформера, превосходящего в 4—6 раз обычный ток. Чтобы получить такой ток от динамо, пришлось бы взять ее значительно большей мощности и размеров, чем требуется для подзарядки, поэтому применяют динамо обычных размеров, а параллельно ей включают аккумуляторную батарею. Последняя, во-первых, добавляет до нужной величины пусковой ток в умформер и, во-вторых, сглаживает изменения напряжения динамо, происходящие от неравномерности хода двигателя, вращающего динамомашину. В этом случае батарея носит название буферной

вследствие ее буферного (сглаживающего) действия на изменение напряжения подзарядки.

Чтобы предотвратить возникновение обратного тока от аккумуляторной батареи в динамо, отчего последняя может пойти мотором, тратя непроизводительно энергию аккумуляторов, применяется реле обратного тока. Последнее представляет собой (рис. 254) электромагнит с двумя обмотками: тонкой и толстой. Тонкая обмотка подключается параллельно динамомашине, толстая включается последовательно через контакты *а* и *б*.

Работа реле происходит следующим образом: когда напряжение динамо достигнет значения, необходимого для зарядки батареи *Б*, тонкая обмотка притянет якорь электромагнита и этим замкнет контакты *а* и *б*, открыв путь зарядному току от динамо к батарее. Зарядный ток, пройдя через толстую обмотку,

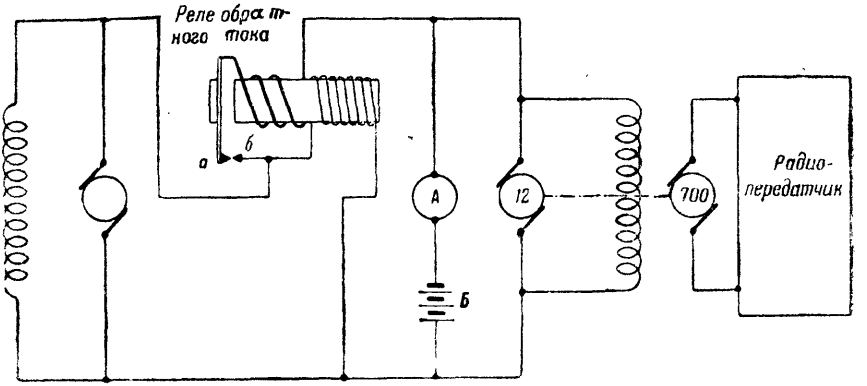


Рис. 254. Схема питания передатчика

притянет якорь электромагнита еще сильнее, обеспечивая плотный контакт между *а* и *б*. Когда напряжение от динамо понизится и станет меньше напряжения аккумуляторной батареи, возникнет обратный ток от батареи в динамо; пройдя по толстой обмотке реле, он размагнитит сердечник элекромагнита, якорь отпадет и разомкнет контакты *а* и *б*, прекратив непроизводительный разряд и отсоединив батарею от динамо.

В тех случаях, когда радиостанция не может быть снабжена аккумуляторами вследствие их большого веса, применяют ручной привод. Вращая умформер с помощью механической передачи, получают на его зажимах нужное высокое напряжение; вторая же обмотка (моторная) используется для получения низкого напряжения для питания накала ламп.

К умформерам и динамомашинам, питающим радиостанцию, предъявляется требование постоянства поддержания напряжения. Изменение анодного напряжения влияет на частоту генерации. Эту особенность следует учитывать также и для многокаскадных передатчиков, в которых задающий генератор также должен иметь постоянное по величине анодное напряжение.

Оказывается, что изменение накала еще в большей степени влияет на изменение частоты, следовательно, должны быть приняты меры к исключению колебаний напряжений. Для этих целей иногда применяют регуляторы напряжения или регуляторы числа оборотов машины.

110. УСИЛЕНИЕ И УДВОЕНИЕ

В передатчиках мощностью от 100 ватт и выше усиление колебаний высокой частоты чаще всего производится не менее, чем в 3 каскадах. Многокаскадным усилением достигаются постоянство частоты, устранение воздействия открытого колебательного контура — антенны — на задающий генератор и уменьшение мощности и количества гармоник.

Обычно для получения усиления пользуются резонансными контурами, из которых каждый настраивается на частоту за-

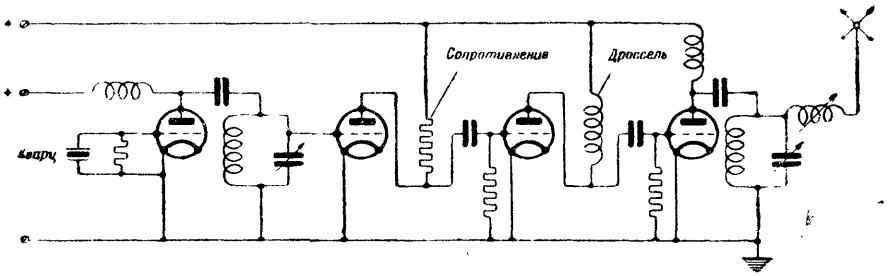


Рис. 255. Схема передатчика с реостатным усилением во втором каскаде и дроссельным усилением в третьем каскаде

дающего генератора в первом каскаде. Усиление с помощью резонансных настраивающихся контуров требует отдельных органов настройки на каждый контур, т. е. переменных конденсаторов, или вариометров. С целью упрощения настройки в передатчиках на длинные волны (от 1 000 килогерцев и ниже) применяют апериодическое усиление на сопротивлениях или дросселях. Схема передатчика с таким усилением приведена на рис. 255. В этих случаях каскады усиления настройки не требуют, что значительно облегчает управление передатчиком.

Когда необходимо избежать влияния более мощных каскадов на задающий генератор или когда получение непосредственно нужной частоты затруднительно, применяют умножение частоты. На рис. 256 показана схема удвоения частоты. Схема состоит из задающего генератора и удвоителя. Колебательный контур задающего генератора *1* связан индуктивно с сетками удвоителя. Катушка связи *2* имеет среднюю точку, присоединенную к нити через конденсатор *3*, шунтированный сопротивлением утечки сеток *4*.

В каждый момент времени при работе задающего генератора катушка связи *2* имеет на своих концах равные потенциалы, но противоположные по знаку. Кроме того, имеется точка

нулевого потенциала (относительно высокой частоты), соединенная с нитью. Благодаря такому присоединению обе сетки удвоителя будут также находиться под одинаковым, но разноименным потенциалом. В то время как на одной будет + (плюс), на другой соответственно — (минус), т. е. когда одна лампа (с положительной сеткой) пропускает через себя ток, вторая тока не пропускает, так как сетка ее заряжена отрицательно.

В следующий момент времени напряжение на концах катушки *2* изменится на обратное, а следовательно, изменятся также и потенциалы сеток. Лампы, таким образом, не мешая одна другой, будут работать поочередно, причем одна пропустит через себя ток в течение одного полупериода, вторая же — в течение другого полупериода. Так как аноды ламп соединены параллельно, то в общей анодной цепи, а следовательно, и в катушке контура будет проходить ток одного и того же

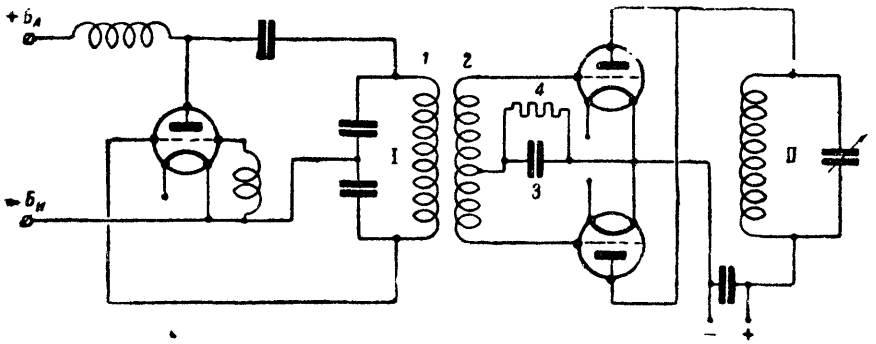


Рис. 256. Двухтактная схема удвоения частоты

направления за оба полупериода; число импульсов тока будет таким образом в 2 раза больше, т. е. частота удвоится. Для увеличения тока в катушке контура *II* последний настраивается на частоту вдвое бо́льшую, чем контур *I*. Умножение частоты возможно и одной лампой.

111. НЕЙТРАЛИЗАЦИЯ

Многокаскадное усиление, обеспечивая возможность постоянства частоты, вместе с тем имеет и отрицательное свойство — обратные влияния через внутреннюю емкость лампы.

Обратимся к схеме рис. 257: в ней контур *I*—задающего генератора, контур *II*—усилителя мощности. Энергия контура *II* усилителя имеет возможность ответвиться в параллельную цепь от анода к сетке и далее в контур задающего генератора по направлению, показанному стрелками (сравни § 93). Эта энергия, увеличивая мощность в контуре *I*, тем самым может увеличить напряжение, подаваемое на сетку усилителя, т. е. увеличить его возбуждение. Такая перекачка энергии из цепи анода усилителя в цепь его сетки может в конце концов привести к самовозбуждению этого каскада, т. е. свести на-нет

роль задающего генератора передатчика, и задающий генератор перестанет быть независимым от последующего каскада, а следовательно, перестанет поддерживать постоянство частоты.

Передатчики, собранные без принятия специальных мер нейтрализации указанных вредных явлений, отличаются обычно неустойчивой работой. В таком передатчике при настройке контура или антенны *II* в резонанс с контуром *I* ток в контуре задающего генератора может сильно повышаться или, наоборот, понижаться вплоть до полного срыва колебаний при резонансе.

Такой передатчик может в некоторых случаях излучать 2 частоты: одну—задающего генератора и другую—усилителя. Если даже излучается и одна частота, то стабильной она никогда не будет: на величину ее будут влиять настройка

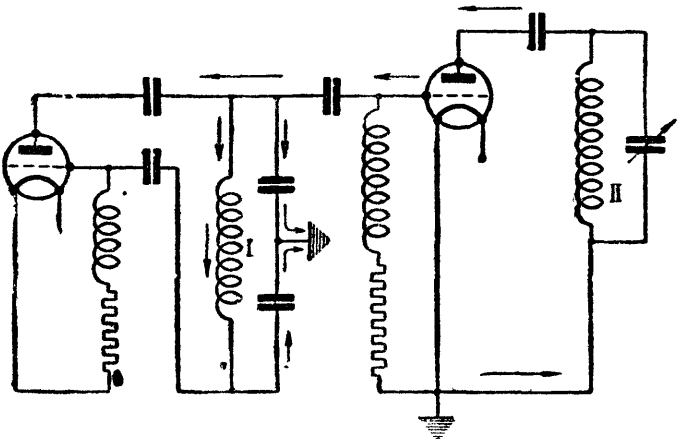


Рис. 257. При отсутствии нейтродинирования энергия из контура усилителя через емкость анод — сетка попадает в контур задающего генератора

антенны и второго контура и изменение мощности при телефонной передаче. Вести прием такой передачи практически невозможно: слышны хрипы, писки и т. п.

В 3-электродных лампах на коротких волнах емкость сетка—анод всегда будет достаточной для того, чтобы описанные явления имели место. Исключить эту емкость изменением схемы мы не можем, но можем уничтожить ее влияние нейтродинированием. С этой целью к аноду лампы подключается (рис. 258) нейтродинный конденсатор *Сн*; другой зажим этого конденсатора присоединяется к противоположному концу сеточного контура усилителя. Емкость этого конденсатора *Сн* подбирается таким образом, чтобы ответвляющийся в него ток из контура *II* был равен тому току, который проходит через емкость анод—сетка. Оба эти тока в контуре *I* наложатся друг на друга и взаимно уравновесятся. Это взаимное равновесие будет сохраняться при всяких изменениях в контуре *II*;

таким образом, контур *I* будет работать всегда так, как будто усилитель на него никак не воздействует.

Примерами схем нейтрализации могут служить схемы рис. 258, 259, 260 и 261, причем схемы рис. 258 и 259 называются схемами сеточной нейтрализации, рис. 260 и 261—схемами анодной нейтрализации.

При сеточной (рис. 259) нейтрализации сеточная катушка усилителя делится на две части—*1* и *2*. Середину катушки при-

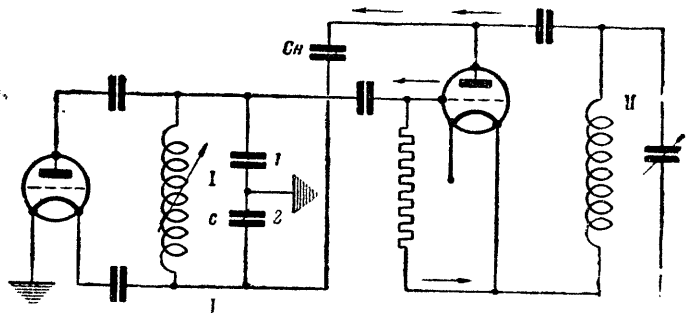


Рис. 258. Направление токов при включенном нейтродинном конденсаторе

соединяют к нити ламп, один конец катушки присоединяют к сетке лампы, другой же конец через нейтродинный конденсатор *3* к аноду лампы.

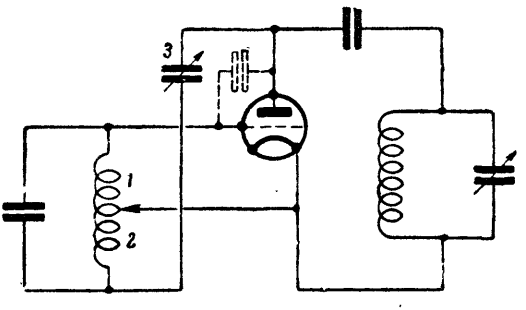


Рис. 259. Схема сеточного нейтродинирования с индуктивными связями

При анодной (рис. 260) нейтрализации катушка контура усилителя делится на две необязательно равные части *1* и *2*, середина катушки присоединяется к нити, а второй конец катушки через нейтродинный конденсатор *3* присоединяется к сетке лампы.

Нейтродинирование может быть произведено при емкостных связях. На рис. 258 приведена схема сеточного нейтродинирования.

В этом случае емкость контура сетки разбивается на две части *1* и *2* и второй конец емкости *2* через нейтродинный конденсатор *Сн* присоединяется к аноду лампы. Анодное нейтродинирование с делением емкости контура анода показано на рис. 261.

Настройка нейтродинного конденсатора может производиться несколькими способами. Укажем здесь способы, наиболее часто применяемые:

1. Тушатся лампы усилителя постановкой перегорелых ламп или выключением накала, где это возможно.

2. В контур усилителя включают достаточно чувствительный тепловой прибор (если такого прибора нет, можно употребить миллиамперметр постоянного тока, связав его через выпрямитель с контуром усилителя). Так как при потушенных лампах мощного усилителя ток в его контуре может быть только вследствие перекачки энергии от возбудителя, то показателем настройки нейтродинного конденсатора будет отсутствие тока в приборе.

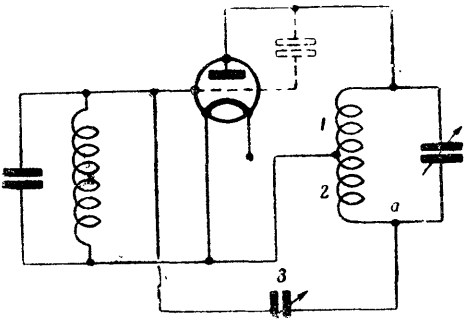


Рис. 260. Схема анодного нейтродинирования с индуктивными связями

3. Пускается передатчик; условия его работы в отношении анодного напряжения и напряжения накала задающего генератора должны быть нормальными; ставится средняя волна диапазона.

4. Изменением емкости нейтродинного конденсатора добиваются уменьшения показаний прибора до самого наименьшего значения; контур усилителя при этом должен быть настроен точно на частоту возбудителя. Убедиться в этом легко по максимальному отклонению стрелки теплового прибора при поворачивании ручки настройки усилителя.

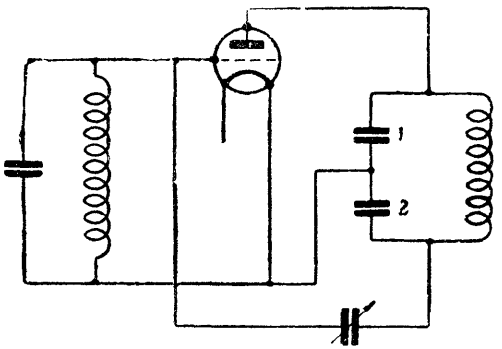


Рис. 261. Схема анодного нейтродинирования с емкостными связями

5. Экраны контуров при нейтрализации должны быть в их нормальном состоянии. Открывать экраны при нейтрализации нельзя.

Нарушение нейтрализации передатчика легко обнаружить:

а) по увеличению тока в контуре возбудителя в момент настройки мощного усилителя в резонанс, что свидетельствует о перекачке энергии из усилителя в возбудитель;

б) по наличию тока в антенне при отжатом ключе, что показывает самовозбуждение мощного каскада;

в) по току в антенне при потушенных лампах мощного усилителя.

В настоящее время все большее применение находят экранированные лампы, которые вследствие добавления еще одной экранирующей сетки обладают ничтожной емкостью между анодом и управляющей сеткой. Введение таких ламп в мощные

каскады избавляет от необходимости нейтродинирования, так как просачивание энергии через ее внутриэлектродную емкость практически отсутствует.

Пример схемы 2-каскадного передатчика на экранированной лампе приведен на рис. 262. Питание анодов ламп и экрани-

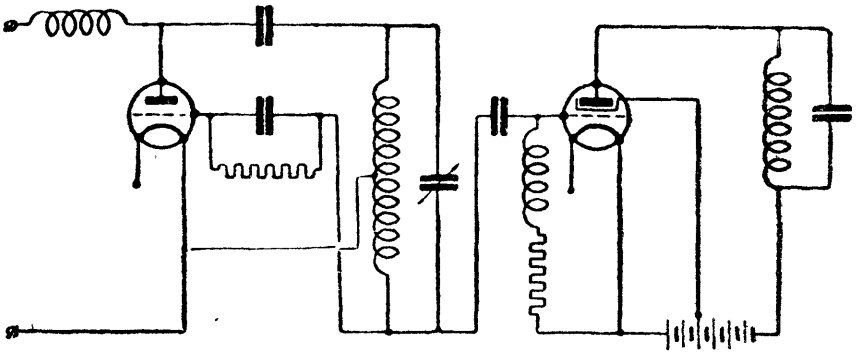


Рис. 262. Применение экранированной лампы для уничтожения влияния емкости анод — сетка лампы

рующей сетки может быть осуществлено от общей анодной батареи.

112. СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЕРЕДАТЧИКА

Стабилизация, т. е. постоянство излучаемой частоты, является одним из основных условий, которому должен удовлетворять всякий передатчик.

Необходимость стабилизации частоты диктуется большой распространенностью радиопередатчиков и, следовательно, насыщением эфира электромагнитными волнами.

Очевидно, что при отсутствии поддержания постоянства частоты передатчик выйдет из отведенного ему канала частот и займет полосу частот, отведенную другому передатчику, создавая одновременно помехи и своим корреспондентам и корреспондентам другого передатчика.

Большое влияние на постоянство частоты задающего генератора оказывают сеточные токи лампы генератора. Включение сопротивления в цепь сетки применяется теперь во всех без исключения передатчиках. Этим достигается не только повышение стабильности задающего генератора, но и повышение одновременно к. п. д. генератора. Достигаемая при этом стабильность частоты все же недостаточна для современных радиостанций.

В главе XI был изложен основной способ стабилизации колебаний в ламповых генераторах с помощью кварца, поэтому здесь мы не будем останавливаться на этом способе стабилизации. Укажем только, что кварцевые пластинки дают возможность стабилизовать как длинные, так и короткие волны с большой точностью. Однако, указанная точность стабили-

зации может быть обеспечена лишь при поддержании постоянной температуры кварца.

С изменением температуры меняется толщина пластинки, а следовательно, и частота колебаний. Если постоянство температуры будет предусмотрено, то применение кварцевой пластинки будет лучшим способом стабилизации. Кроме того, в отличие от всех других способов кварц имеет основное преимущество: он может не только поддерживать частоту, но и задавать ее. Частота колебаний генератора, стабилизованного кварцем, будет определяться только частотой кварца, которая всегда заранее известна.

При всякой генераторной схеме изменение напряжений на лампе ведет к изменению сопротивления участков анод — сетка — нить, которые, будучи включены параллельно колебательному контуру, влияют на частоту генератора. Поэтому поддержание напряжения накала и анодного напряжения постоянными является особенно важным.

Кроме напряжения, на частоту задающего генератора влияет также и изменение нагрузки в последующем каскаде. В этом случае может быть применен буферный промежуточный каскад, слабо связанный с задающим генератором. При этом колебания нагрузки будут передаваться, главным образом, на этот буфер, задающий же генератор будет работать независимо. Обычно для большей независимости задающего генератора от нагрузки мощность, отбираемую от него, делают наименьшей, а сетку следующего каскада смещают в отрицательную область таким образом, чтобы токи сетки в этом каскаде отсутствовали или были наименьшими.

Большое влияние на частоту оказывает смена ламп, внутриэлектродные емкости которых редко бывают одинаковыми. Уменьшение этого влияния достигается применением больших емкостей в колебательном контуре и специальным отбором ламп.

Все сказанное здесь по стабилизации может одинаково относиться к волнам от 10 *м* и больше.

Ультракоротковолновые передатчики в тех случаях, когда размеры и вес это позволяют, делают многокаскадными с последовательным умножением частоты. Первый каскад может быть стабилизован кварцем, турмалином[1] или одним из известных способов бескристальной стабилизации.

Существенной причиной, влияющей на постоянство частоты, является температура. С повышением температуры емкость конденсатора и коэфициент самоиндукции катушки изменяются вследствие расширения материалов катушки и конденсатора от тепла. Частота контура при этом изменяется также, и тем больше, чем резче повышение температуры.

С целью уменьшения влияния температуры на электрические данные колебательного контура (его емкость и самоиндукцию) применяют особые конструкции катушек и конденсаторов.

[1] Турмалин—пьезокристалл розового цвета, имеющий при той же толщине, что и кварц, более короткую волну. Последнее свойство позволяет применять его для стабилизации УКВ.

В таких деталях изменение геометрических размеров от повышения температуры не влечет за собой сколько-нибудь заметных изменений электрических данных этих деталей. Кроме того, могут применяться специальные переменные конденсаторы, управляющиеся автоматически.

Емкость этих конденсаторов меняется от температуры таким образом, что уравновешивает изменения частоты, которые происходят в результате прогрева всей схемы.

113. НАСТРОЙКА ПЕРЕДАТЧИКОВ

В передатчиках с резонансным усилением каждый отдельный контур требует настройки на заданную частоту. Такая настройка достигается в передатчиках небольшой мощности с помощью переменного конденсатора или вариометра. Для упрощения настройки часто управление двумя отдельными конденсаторами объединяется, т. е. конденсаторы сажаются на одну ось, и вращение подвижных пластин осуществляется от одной рукоятки. Очевидно, что конденсаторы должны быть подобраны однотипными по характеру изменения емкости от угла поворота подвижной их части.

Каждая отдельная волна диапазона, на которую рассчитан передатчик, нумеруется, а на шкалы настроек наносятся отметки с надписанными номерами волн.

Настройка ведется в следующей последовательности: ручка задающего генератора и усилителя устанавливается на заданный номер волны, включается накал и дается высокое напряжение.

Затем производится точная подстройка контуров усилителя с помощью верньерных ручек. В маломощных передатчиках включение накала и высокого напряжения производится одновременно.

При настройке следует избегать включения передатчика при расстроенном усилителе, так как в этом случае вся мощность, подводимая к лампе усилителя, рассеивается на аноде ее, почти совсем не передаваясь в контур, где колебания вследствие расстройки практически отсутствуют. Перегрев анода, особенно никелевого, может легко вывести лампу из строя.

Если диапазон волн достаточно широкий, т. е. отношение наибольшей частоты к наименьшей более 2, то перекрытие диапазона производится с помощью переключателя, изменяющего самоиндукцию колебательного контура. Переключение конденсаторов в маломощных радиостанциях почти не применяется. В мощных передатчиках включение анодного питания производится при пониженном значении напряжения, которое затем постепенно увеличивается и доводится до нормального.

В передатчиках с анодным питанием от динамомашины повышение напряжения производится регулировкой возбуждения: при наличии выпрямительного устройства в передатчике повышение напряжения производится специальными потенциалрегу-

ляторами, представляющими собой трансформаторы с переменными коэфициентами трансформации.

Включение накала мощных ламп рекомендуется производить также при пониженном напряжении, так как в холодном состоянии нить накала имеет значительно меньшее сопротивление, чем в накаленном; поэтому при включении полного напряжения накала через нить, хотя и кратковременно, проходит ток, превосходящий нормальный в 7—12 раз. Такие весьма сильные кратковременные токи создают большие мгновенные магнитные поля, под воздействием которых нить может изменить свою форму, коснуться других электродов и даже разрушиться.

114. УСТРОЙСТВО ПЕРЕДАТЧИКОВ

К передатчику предъявляется ряд требований в зависимости от его мощности, назначения и условий работы. Основными требованиями являются:

а) удобство и простота обслуживания;

б) безопасность во время работы;

в) устойчивость работы как в отношении генерируемой частоты, так и в отношении режима вообще;

г) возможность уменьшения мощности.

Выше уже было сказано, что для упрощения обслуживания настройка резонансных контуров осуществляется от одной ручки. Последнее достигается устройством у переменных конденсаторов общей оси.

Иногда настройка антенны (вариометр или конденсатор) объединяется с настройкой замкнутых контуров; с этой целью ось вариометра (конденсатора) антенны связывается с осью конденсаторов контуров специальной передачей.

Для предохранения обслуживающего передатчик состава от возможных электрических ударов при осмотре или ремонте цепей высокого напряжения и высокой частоты дверь для входа к схеме передатчика, или дверца для смены ламп, устраивается таким образом, чтобы при ее открывании выключались опасные напряжения.

Подобным же образом защищается и машина высокого напряжения, если условия работы с ней могут представлять опасность для жизни обслуживающего состава.

Для устойчивой работы передатчика должны быть обеспечены:

а) постоянство напряжения источников питания, так как изменение напряжений накала и анодного изменяет частоту, при больших же изменениях может повести к срыву колебаний;

б) достаточная электрическая прочность изоляции, которая надежно выдерживала бы продолжительную работу передатчика;

в) отсутствие взаимных влияний магнитных и электрических полей между катушками и конденсаторами в отдельных каскадах; для этого катушки (конденсаторы) или экранируются, или расставляются достаточно далеко одна от другой, чтобы свести указанные влияния к допустимому наименьшему значению;

г) тщательное нейтродинирование, если применены 3-электродные лампы.

В коротковолновых передатчиках обращают особенное внимание на экранировку отдельных каскадов, т. е. заключают каждый каскад в отдельный замкнутый металлический ящик, уменьшают токи сетки; последнее необходимо для устойчивой работы передатчика как в отношении частоты, так и в отношении неизменности режима работы. Не менее важным обстоятельством является тщательность монтажа, дающего наименьшие вредные связи и емкостные утечки токов. Монтаж должен быть достаточно прочным, что весьма существенно для передвижных радиостанций.

На радиостанциях нередко является необходимость работать передатчиком на уменьшенной мощности,—в случае, например, наличия корреспондентов, находящихся в небольшом удалении от передатчика. Регулировка энергии излучения имеет место почти в каждой рации.

Схемы регулировки мощности могут быть самые разнообразные: уменьшение анодного напряжения или накала, включение сопротивления в антенну, изменение величины сопротивления утечки в мощном усилителе, расстройка антенны и т. д., причем основным требованием к схемам является сохранение градуировки, т. е. излучение при уменьшенной мощности той же волны (частоты), что и при полной мощности.

Регулировка мощности обычно осуществляется с помощью отдельного переключателя, имеющего соответствующие пометки.

115. ПОНЯТИЕ О МОДУЛЯЦИИ

Если в нормально работающем передатчике произвести уменьшение напряжения на аноде усилителя, то очевидно, что мощность, отдаваемая передатчиком в антенну, будет уменьшаться. При этом определенному изменению анодного напряжения будет соответствовать вполне определенное изменение тока в антенне.

Можно так подобрать режим работы передатчика, что изменение тока антенны будет пропорционально изменению напряжения на аноде.

Подобная зависимость может быть осуществлена и в отношении напряжения на сетке усилителя мощности. Можно подобрать режим передатчика так, что ток в антенне будет прямо пропорционален напряжению на сетке. Если такие изменения напряжения на аноде или на сетке усилителя мощности производить с звуковой частотой, то величина тока в антенне передатчика будет меняться также в соответствии с этой частотой. Излучаемые передатчиком электромагнитные волны в этом случае будут нести с собой такие же изменения силы своего поля

Изменение тока в антенне передатчика в соответствии с той или иной звуковой частотой называется *модуляцией*, а колебания, получившиеся в результате модуляции, называются *модулированными колебаниями*. На рис. 263 показана простейшая схема связи с помощью радиотелефона: звуковые

колебания с помощью микрофона превращаются в электрические и в генераторе накладываются на ток в антенне, которая излучает модулированные электромагнитные волны, принимаемые на радиоприемниках.

Коэфициентом модуляции называется величина, показывающая, в какой мере изменяется амплитуда тока в антенне при модуляции. Численное выражение коэфициента модуляции:

$$M = \frac{v}{v_0},$$

где v — прирост амплитуды колебаний при наличии модуляции;

v_0 — амплитуда колебаний в антенне при отсутствии модуляции.

Коэфициент модуляции есть отвлеченное число и обычно выражается в процентах. Чем больше коэфициент модуляции, тем модуляцию принято считать более глубокой. От глубины модуляции зависит дальность передачи и громкость приема.

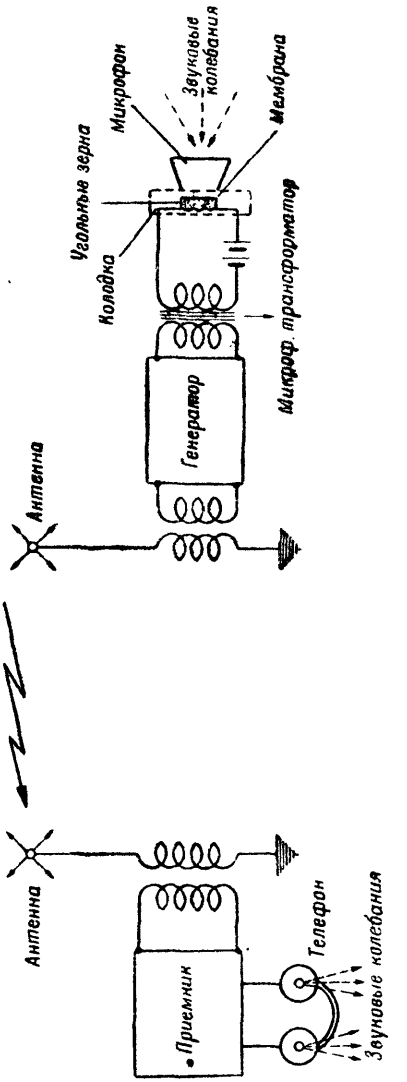


Рис. 263. Схема передачи и приема радиотелефона

116. МОДУЛЯЦИЯ НА АНОД

Рассмотрим работу схемы рис. 264. Правая часть схемы представляет собой обычный усилительный каскад передатчика, к сетке лампы которого (зажимы *1* и *2*) подведено переменное напряжение высокой частоты от задающего генератора.

Анод лампы питается от батареи через сопротивление *3*. На этом сопротивлении создается какое-то падение напряжения, обусловленное проходящим через него током. Пока ток, питающий лампы, постоянен, постоянно и напряжение на концах сопротивления *3*. Напряжение на лампах будет также постоянным и равным напряжению батареи за вычетом падения на сопротивлении *3*.

Теперь напряжение на сетке лампы *M* уменьшим с помощью батареи *Бс*; тогда ток через лампу *M* увеличится. Если ток

в лампе *М* увеличится, то падение напряжения на сопротивлении *3* также увеличится, и на лампу *У* придется меньшее напряжение, а следовательно, и ток в контуре *I* этой лампы уменьшится. Если, наоборот, напряжение на сетке лампы *М* увеличим, то это поведет к соответствующему увеличению тока в контуре *I*. Таким образом мы установили, что всякому изменению напряжения на сетке лампы *М* (модуляторной) будет соответствовать изменение падения напряжения на сопротивлении *3*, а следовательно, на лампе *У*, что поведет к соответствующему изменению тока в контуре *I*.

Роль переменной батареи *Бс* могут выполнить показанные на схеме микрофон с трансформатором. При разговоре перед микрофоном индуктируемая во вторичной обмотке трансформатора переменная э. д. с. будет менять напряжение сетки относительно нити лампы; падение напряжения будет на сопротивле-

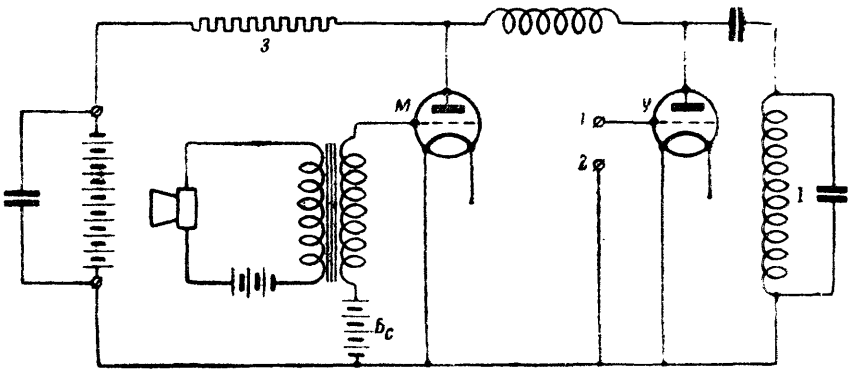


Рис. 264. Схема модуляции на анод с сопротивлением

нии *3* происходить в такт с речью; в соответствии с этим начнет изменяться и ток контура.

Очевидно, что без сопротивления *3* никакой модуляции не было бы, несмотря на присутствие модуляторной лампы *М*. Мы считаем, что анодная батарея не имеет сопротивления, т. е. при изменении нагрузки ее напряжение остается постоянным; но на самом деле это не так; сухая батарея может иметь сопротивление весьма значительным в зависимости от ее качества и степени разряда. Для того чтобы исключить влияние сопротивления батареи, она обычно шунтируется большой емкостью, представляющей ничтожное сопротивление для токов звуковой частоты.

Этот способ, называемый модуляцией на анод, мы взяли для удобства рассмотрения вопроса. На практике применение такого модуляционного сопротивления невыгодно, так как для получения достаточно хорошей модуляции это сопротивление потребуется сделать весьма большим; при этом в нем будет тратиться большая доля напряжения, в то время как модуляции нет или она мала (для некоторых звуков). В этом сопротивлении

на его нагрев проходящим током будет тратиться большая доля энергии, что, конечно, невыгодно, а потому способ модуляции с сопротивлением не применяется.

В качестве модуляционного сопротивления применяют большую самоиндукцию—дроссельную катушку с железом. Такая катушка, представляя весьма малое сопротивление для постоянного тока,

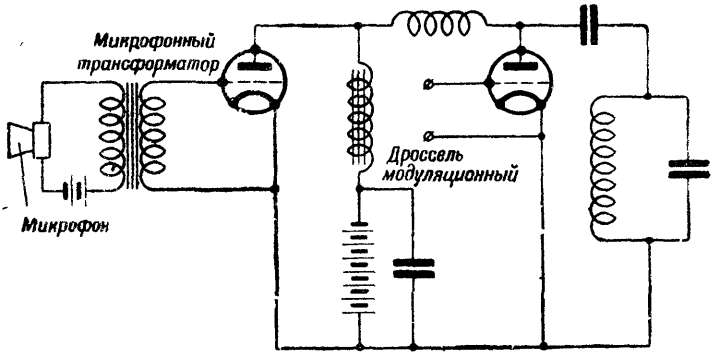


Рис. 265. Схема модуляции на анод с дросселем

имеет в то же время для токов звуковой частоты очень большое сопротивление.

Схема модуляции, как она обычно осуществляется, показана на рис. 265. Она подобна рассмотренной схеме рис. 264, с той

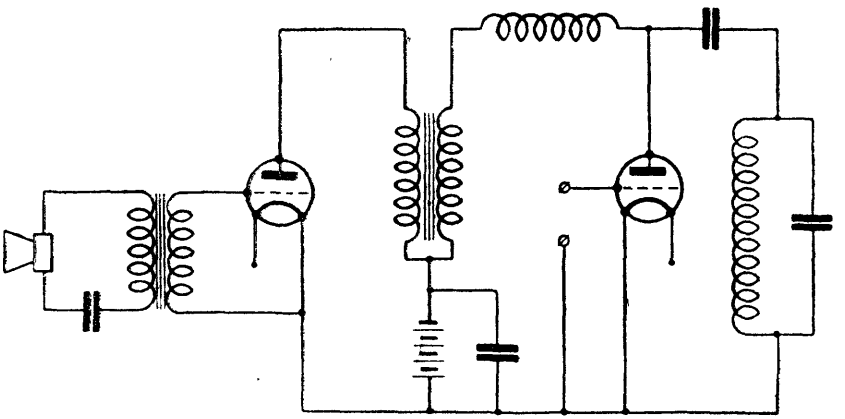


Рис. 266. Схема модуляции на анод с модуляционным трансформатором

разницей, что вместо сопротивления здесь поставлен модуляционный дроссель.

Микрофонный трансформатор обычно берется с отношением числа витков обмоток от 30 до 100, а микрофон питается от тех же батарей, что и накал ламп. Конденсатор, шунтирующий анодную батарею, поставлен с той целью, чтобы сама батарея не являлась модуляционным сопротивлением. При питании от

умформера или динамо этот конденсатор предохраняет машину от обязательных перенапряжений в ней при модуляции.

Часто в тех случаях, когда необходимо экономить на весе железа, применяют схему рис. 266. Отличие ее от предыдущей в том, что вместо дросселя поставлен трансформатор, одна обмотка которого включена в цепь модуляторной лампы, вторая—в цепь анода усилителя. В этом случае лампа усилителя питается двумя источниками э. д. с., включенными последовательно, из которых один — постоянного тока, а второй — переменного. Направление витков в обмотках выбирается таким, чтобы магнитные потоки в железе, создаваемые токами обеих ламп, взаимно уравновешивались и железо не было насыщено силовыми линиями этого потока. Качество модуляции от этого выигрывает, а количество железа может быть взято меньшее.

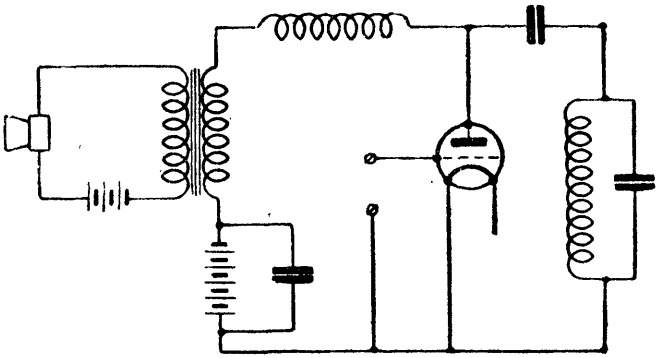


Рис. 267. Схема модуляции на анод без модуляторной лампы

В передатчиках весьма малой мощности модуляция может быть осуществлена и по схеме рис. 267, т. е. без модуляторной лампы.

Как видно, модуляторная лампа является простым усилителем звуковой частоты, нагруженным на каскад усиления мощности передатчика. В схеме рис. 267 такой усилитель звуковой частоты, усилитель мощности микрофона, отсутствует.

Для получения достаточной глубины модуляции мощность модуляторного устройства должна быть, примерно, равна мощности того каскада, на который это устройство работает. Для увеличения экономичности обычно на сетку модуляторной лампы дают отрицательное смещение, чтобы ток, идущий через модуляторную лампу, был небольшим и не разогревал анода лампы. В многокаскадных передатчиках модуляция осуществляется не менее, чем через 1 каскад от задающего генератора; в этом случае изменения нагрузки, происходящие во время модуляции, не будут сказываться на задаваемой частоте. Исходя из этого положения, в 2-каскадных и 3-каскадных передатчиках модуляцию производят на последний каскад.

117. МОДУЛЯЦИЯ НА СЕТКУ

Простейшая схема модуляции на сетку показана на рис. 268, где *М* — микрофон, включенный в первичную обмотку микрофонного трансформатора *Т*, вторичная обмотка которого зашунтирована конденсатором *2*. Последний выбирается такой величины, чтобы, обеспечивая прохождение тока высокой частоты, он имел достаточно высокое сопротивление для токов звуковой частоты. Батарея *Бс* дает смещение на сетку модулируемой лампы.

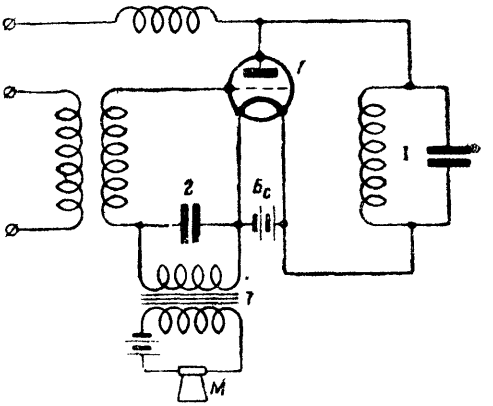


Рис. 268. Схема сеточной модуляции

При разговоре в микрофон звуковая частота накладывается на смещающее напряжение *Бс*, вследствие чего результирующее смещающее напряжение меняется; ток, идущий через лампу *Г*, тоже изменяется, увеличиваясь при малых значениях смещающего напряжения и уменьшаясь при большом смещении. Таким образом, колебания в контуре *I* тоже изменяются в соответствии со звуковой частотой.

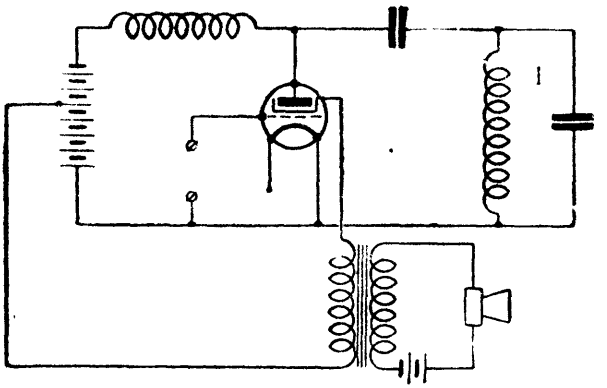


Рис. 269. Схема модуляции на экранирующую сетку

В передатчиках, где применены экранированные лампы, может быть применена модуляция на экранирующую сетку по схеме рис. 269. В этой схеме смещающее напряжение на экранирующую сетку берется положительным от того же источника, который питает и анод лампы.

Начальное смещающее напряжение на экранирующую сетку может быть выбрано настолько малым, что без разговора перед микрофоном ток в контуре *I* будет отсутствовать. При разговоре

напряжение на экранирующей сетке в некоторые моменты времени возрастает, и лампа начинает работать как усилитель мощности, причем величина тока в контуре будет зависеть от величины напряжения на экранирующей сетке.

Передатчики с подобной схемой могут применяться в дуплексных[1] радиостанциях, так как отсутствие тока в антенне, в то время как перед микрофоном не говорят, может быть использовано для приема корреспондента.

В результате модуляции передатчик, кроме основной, так называемой, несущей волны, на которую он настроен, излучает еще две боковые волны. Частота одной из этих волн будет меньше несущей частоты, второй—больше. Ширина диапазона, занимаемая каждой полосой, зависит от тех частот, которыми производится модуляция.

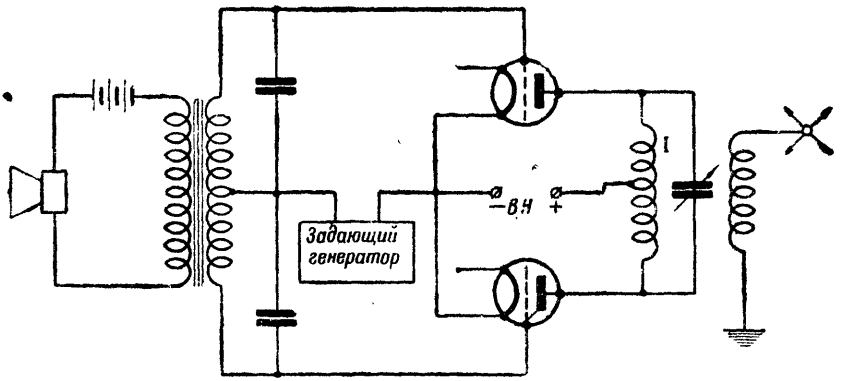


Рис. 270. Схема балансной модуляции

Для случая модуляции несущей частоты в 500 000 периодов частотой, например в 1 000 периодов, боковые частоты будут равны 501 000 и 499 000. Ширина каждой боковой полосы будет равна 1 000 периодов. Если модуляция производится целым рядом частот, что имеет место при разговоре, то в каждой полосе будет столько частот, сколько модулирующих. Таким образом, мощность, излучаемая передатчиком, распределится на ряд частот — основную и те, которые входят в боковые полосы. Мощностью, полезной для приема, является мощность обеих боковых полос, и эта мощность составляет сравнительно небольшую долю от всей излучаемой мощности передатчика. Таким образом, при радиотелефонии только небольшая часть принятой в приемнике энергии используется для воспроизведения звука, большая же часть тратится бесполезно; поэтому в последнее время начинают работать все чаще без несущей частоты.

На рис. 270 показано устройство, работающее без несущей частоты, так называемая схема балансной модуляции. Колебания

[1] Дуплексной называют радиостанцию, которая допускает встречный разговор, как в проволочном телефоне.

высокой частоты задаются на сетку двух ламп, являющихся одновременно усилительными и модуляторными. Звуковая частота подводится через микрофонный трансформатор. При отсутствии модуляции колебания высокой частоты в контуре *I* отсутствуют, так как сетки обеих ламп получают одинаковые по величине и по знаку возбуждающие напряжения, вследствие чего анодные токи обеих ламп, направленные в противоположные стороны, в контуре *I* взаимно уравновешивают друг друга.

При разговоре в микрофон сетки ламп получают равные по величине, но противоположные по знаку приращения напряжения, отчего равновесие в схеме нарушается, и в контуре *I* появляется модулированный ток высокой частоты, но без несущей волны. Излучается, таким образом, только мощность полезная, и, следовательно, при балансной модуляции отдача передатчика увеличивается. Для получения еще большей отдачи применяют передачу только одной боковой полосой частот, другая же боковая полоса устраняется с помощью фильтров. При приеме недостающая несущая частота накладывается от вспомогательного источника—гетеродина.

118. ТЕЛЕГРАФИРОВАНИЕ

Радиотелеграфирование может производиться как незатухающими колебаниями, так и тональными, т. е. колебаниями, модулированными звуковой частотой. Тональные модулированные колебания могут получаться с помощью тиккера, т. е. прерывателя постоянного тока, помещаемого рядом с коллектором высокого напряжения в умформере, с помощью зуммера, включаемого вместо микрофона, или путем специального звукового генератора, модулирующего передатчик. В телефонном передатчике для этой цели может быть использована модуляторная лампа путем соответствующего переключения схемы.

Передача сигналов при радиотелеграфировании осуществляется прерывистыми посылками электромагнитной энергии той или иной продолжительности. Управление продолжительностью таких посылок энергии производится с помощью ключа от руки или от автомата, называемого трансмиттером. Ручная скорость передачи обычно не превосходит 25 групп в минуту; от трансмиттера дается скорость до 100 слов и выше.

Включение ключа для управления возникновением и прекращением колебаний в передатчике может осуществляться различными способами.

В передатчиках небольшой мощности иногда применяют способ разрыва анодной цепи питания усилителя или питания всех ламп.

В месте разрыва вставляется ключ (рис. 271). В этом случае необходимо иметь короткозамыкающую вилку, которая при работе телефоном должна быть вставлена в гнезда ключа для обеспечения подачи анодного напряжения на лампы передатчика.

Иногда применяют схему (рис. 272) управления колебаниями с помощью отрицательного напряжения, подаваемого на сетку

лампы от сопротивления, включенного у нити лампы. При нажатом ключе сопротивление накоротко замыкается, и колебания происходят нормально; при размыкании ключа анодный ток

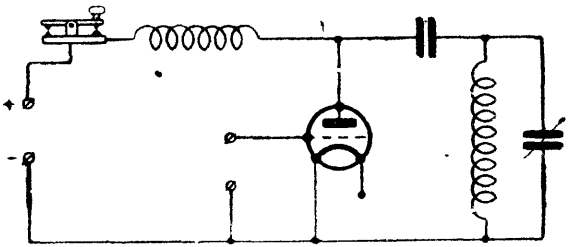


Рис. 271. Включение ключа в цепь питания анода

проходит через сопротивление, создавая на нем падение напряжения, минус которого попадает на сетку лампы *2* и запирает ее.

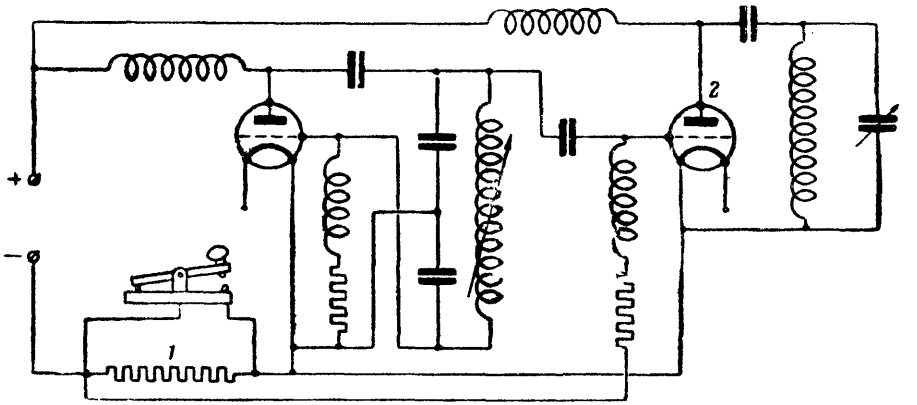


Рис. 272. Управление колебаниями с помощью отрицательного напряжения, подаваемого на сетку лампы от сопротивления *1*, замыкающегося ключом

При отжатии ключа лампа мощного каскада запирается, колебания в этом каскаде прекращаются, тогда как задающий генератор продолжает генерировать колебания, но последние в антенну не попадают.

119. ДУПЛЕКСНАЯ СХЕМА РАДИОПЕРЕДАЧИ

За последнее время большое распространение получают схемы, позволяющие радиотелефонный разговор вести так же, как это происходит при обычном телефонном разговоре, т. е. не требующие никаких переключений при переходе с передачи на прием и обратно. Этот переход происходит автоматически. Схемы, позволяющие вести работу такого рода, носят название дуплексных и самая связь — дуплексной, или двусторонней.

Для ознакомления с принципом работы дуплексной схемы обратимся к рис. 273. Здесь изображена схема радиотелефонного передатчика, состоящего из задающего генератора (лампа $Л_1$), усилителя ($Л_2$) и модулятора ($Л_3$), причем здесь применена анодная модуляция с модуляционным трансформатором $ТР_1$. Трансформатор $ТР_2$ — микрофонный. Для возможности работы дуплексом в схему введен трансформатор $ТР_3$, первичная обмотка которого включена в общий провод анодного питания, а две

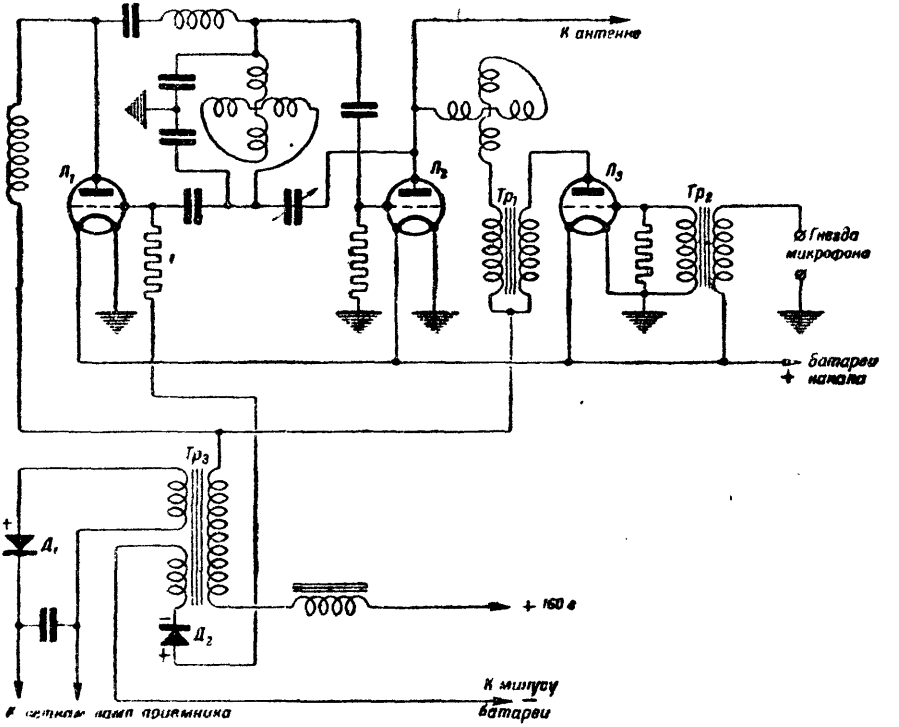


Рис. 273. Схема дуплексной приемопередачи

другие нагружены на выпрямители $Д_1$ и $Д_2$ (например, купроксные детекторы).

Действие схемы состоит в следующем. При включении питания на передатчик и приемник (на схеме приемник не изображен и предполагается находящимся в одной упаковке с передатчиком) на сетку лампы $Л_1$ задающего генератора через сопротивление *1*, выпрямитель $Д_2$ и обмотку трансформатора $ТР_3$ подается такое отрицательное смещение, что лампа $Л_1$ оказывается запертой, и передатчик не работает. В то же время приемник находится в нормальном режиме и на него можно производить прием, пользуясь одной и той же антенной.

Когда нужно ответить корреспонденту, то, не делая никаких переключений, перед микрофоном произносят требующуюся

фразу. При этом, вследствие изменения анодного тока, проходящего через первичную обмотку трансформатора TP_3, в его вторичных обмотках индуктируются напряжения, выпрямляемые детекторами $Д_1$ и $Д_2$. Выпрямленные напряжения включаются так, что с одного из детекторов $Д_2$ плюс выпрямленного напряжения, попадая в цепь сетки лампы $Л_1$, компенсирует имевшееся там отрицательное смещение; лампа $Л_1$ отпирается и передатчик начинает работать, излучая в эфир модулированные колебания. В то же время, с другого детектора $Д_1$ минус выпрямленного напряжения попадает на сетки ламп приемника и смещает рабочие токи так, что приемник запирается и не работает. Это нужно для того, чтобы на приемник не воздействовала своя же передача, прием которой из-за непосредственной близости передатчика и приемника был бы оглушающим для оператора.

Таким образом, кратко принцип работы дуплексом может быть охарактеризован так: во время приема передатчик заперт, приемник отперт и работает; во время передачи приемник заперт, передатчик отперт и генерирует. Переход от одного режима в другой происходит автоматически при разговоре в микрофон. Дуплексные схемы дают большое удобство в отношении обслуживания радиостанций, особенно в полевых условиях, так как позволяют вести непосредственный двусторонний разговор.

На практике работа с такими схемами требует преодоления следующих затруднений. Связь приемника с антенной должна быть подобрана так, чтобы, с одной стороны, приемник не отсасывал слишком много энергии от передатчика во время его работы (особенно при передаче и приеме на одной волне), а с другой стороны, получал бы достаточную мощность из антенны при приеме сигналов корреспондента. Далее, режим выпрямителей нужно установить таким, чтобы отпирание передатчика происходило при первом же слоге, произнесенном перед микрофоном, во избежание пропадания начала первого слова, а с другой стороны, передатчик не должен запираться в промежутке между слогами или словами одной фразы. Эта регулировка производится подбором соответствующего значения емкостей конденсаторов, блокирующих детекторы, и выбором самих детекторов.

В настоящее время существует несколько схем, работающих дуплексом вполне удовлетворительно.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Укажите составные части радиопередатчика.
2. Где применяются однокаскадные передатчики?
3. Как осуществлено питание радиопередатчика энергией в батальонной и полковой радиостанциях?
4. Для чего нужна нейтрализация внутриэлектродных емкостей лампы?
5. Для чего нужна стабилизация колебаний и, следовательно, излучения?
6. Как надо настраивать передатчик?
7. Как надо нейтродинировать радиопередатчик?
8. Что такое модуляция?
9. Какие способы модуляции вы знаете?

10. Укажите, в каких станциях применена анодная модуляция.
11. В чем сущность модуляции на анод?
12. Как можно осуществить модуляцию на сетку?
13. Расскажите, как работает дуплексная схема.

ГЛАВА XIII

ЛАМПА КАК ДЕТЕКТОР

120. ПОНЯТИЕ О ДЕТЕКТИРОВАНИИ

Как мы уже знаем, для передачи разговорной речи высокочастотные колебания передатчика модулируют низкими частотами разговорной речи. В приемнике эти модулированные колебания можно усилить при помощи усилителя высокой частоты, но услышать их нельзя, так как ни наше ухо, ни телефон не

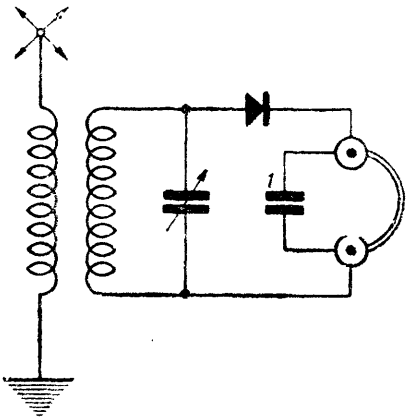


Рис. 274. Для обнаружения модулированных колебаний в схему контура включен кристаллический детектор

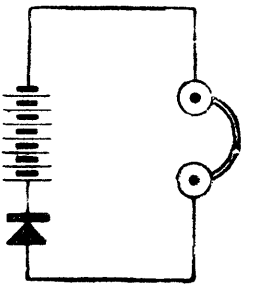


Рис. 275. Детектор хорошо проводит ток только в одном направлении

могут отзываться на такие колебания. Чтобы услышать в телефоне переданную разговорную речь, необходимо высокочастотные колебания превратить в колебания низкой частоты. Устройство, посредством которого в приемнике производятся эти преобразования, носит название детектора или выпрямителя, а сам процесс превращения высокочастотных колебаний в колебания более низкой частоты носит название детектирования, или выпрямления.

Для уяснения этого процесса соберем схему (рис. 274), соединив телефон параллельно с контуром через кристалл галена с опущенной на него медной проволочкой. Настроив контур на работающую радиотелефонную станцию, мы услышим передачу.

Кристалл галена вместе с опущенной на него медной проволокой выполняет в данном случае роль детектора.

Для проверки работы подобного детектора проделаем следующий опыт. Составим схему, изображенную на рис. 275.

Она состоит из батареи на 1—2 вольта, кристаллического детектора и телефона, соединенных последовательно. Включим батарею в схему так, чтобы положительный полюс батареи оказался соединенным с кристаллом детектора через телефон. Опустим проволочку на кристалл. Мы услышим в телефоне щелчок. Возьмем и переключим батарею так, чтобы отрицательный (минус) полюс батареи оказался соединенным с кристаллом детектора. Если мы вновь опустим проволочку детектора на кристалл, то в телефоне услышим более слабый щелчок, а при некоторых условиях щелчка не услышим совсем. Известно, что причиной щелчка является ток, который в момент замыкания цепи вызывает толчок мембраны в телефоне. Значит, в первом случае через телефон шел более сильный ток, а во втором случае ток был более слабым или его совсем не было. Значит, детектор пропускает ток в одном направлении значительно лучше, чем в другом, или, как говорят, детектор обладает односторонней проводимостью.

Предположим, что в схеме (рис. 274) высокочастотные токи, идущие в контуре, имеют вид, изображенный на рис. 276, *а*, т. е. сперва высокочастотные колебания не были модулированы, а потом, с некоторого момента времени, стали модулироваться какой-либо звуковой частотой. Так как детектор пропускает ток только в одном направлении, то, следовательно, в данном случае ток, идущий через детектор, будет иметь вид, изображенный на рис. 276, *б*, т. е. мы имеем пульсирующий с высокой частотой ток, причем в зависимости от модуляции величина этой пульсации будет больше или меньше. Такой пульсирующий ток состоит из трех токов: во-первых, из тока высокой частоты, во-вторых, из постоянного тока и, в-третьих, из тока низкой частоты.

Для тока высокой частоты телефон, вследствие его большой самоиндукции, представляет огромное сопротивление, поэтому, чтобы облегчить ему путь, параллельно телефону ставят конденсатор; следовательно, через телефон пройдут только постоянный и низкочастотный токи, которые вместе будут иметь вид, изображенный на рис. 276, *в*.

На постоянный ток телефон не отзывается, он будет отзываться только на ток низкой частоты, который и заставит звучать мембрану телефона.

121. СЕТОЧНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Из главы IX известно, что диод пропускает ток только в одном направлении; если на аноде диода положительное напряжение, то ток через диод проходит, если отрицательное, то тока нет.

Следовательно, такую лампу можно с успехом применить для детектирования высокочастотных колебаний. На рис. 277 изображена схема диодного детектора; эта схема ничем не отличается от схемы на рис. 274, за исключением только того, что

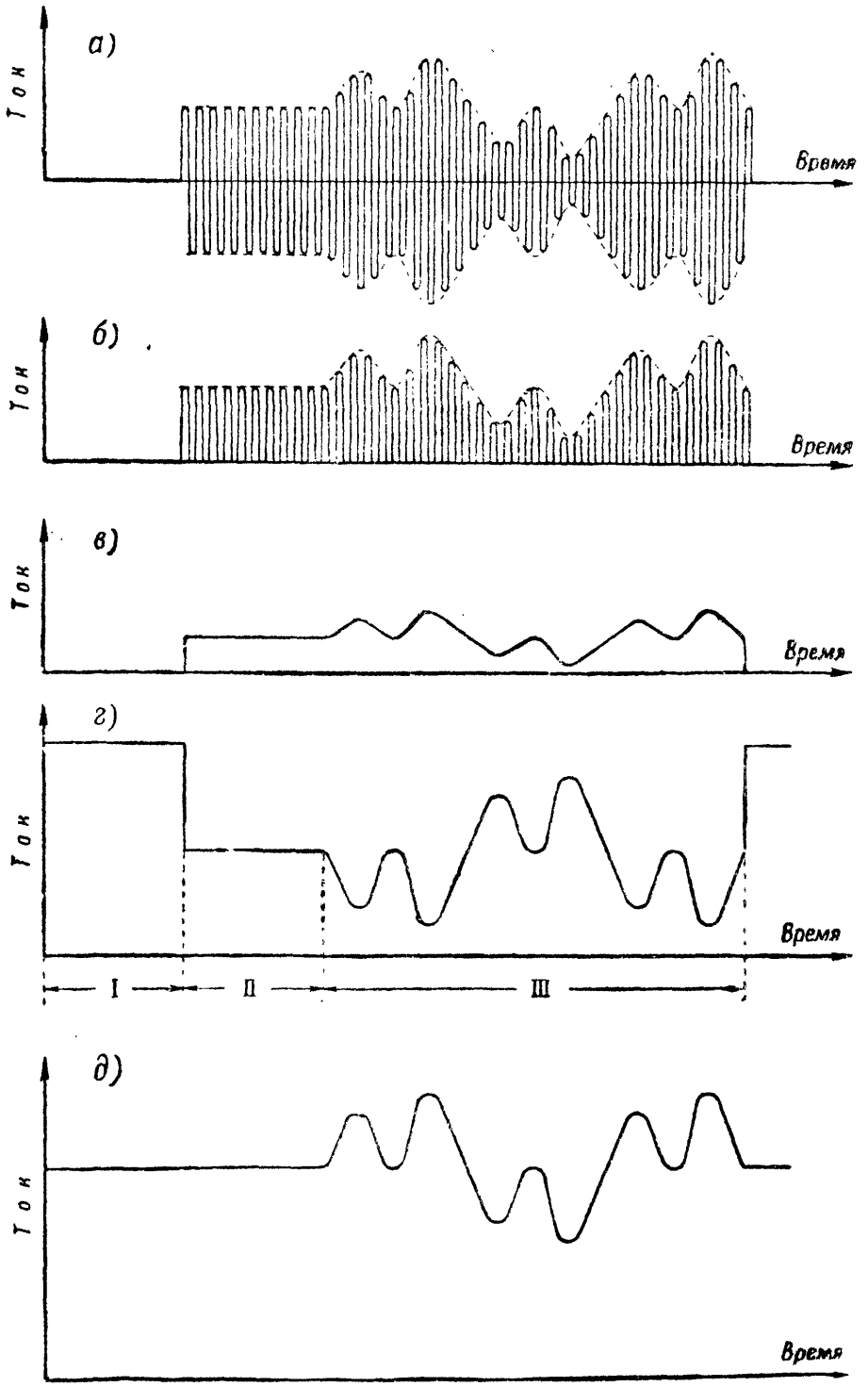


Рис. 276. Графическое изображение детектирования при различных схемах

вместо кристаллического детектора здесь имеется лампа-диод. Работа этой схемы точно такая же, как и схемы рис. 274.

По сравнению с кристаллом диод как детектор хотя и обладает несколько большей устойчивостью в работе, но его чувствительность недостаточна.

Значительно большей чувствительностью обладает схема так называемого сеточного детектирования.

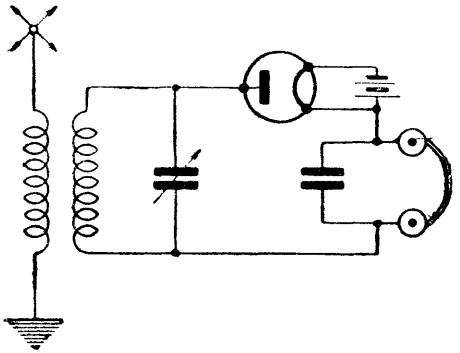


Рис. 277. Схема диодного детектора

Сеточное детектирование осуществляется обычно по схеме рис. 278 или 279; по существу, как увидим дальше, эти схемы одинаковы. Рассмотрим, как действует схема рис. 278. Сетку лампы, изображенной на этой схеме, мы можем рассматривать как небольшой анод. Тогда мы имеем замкнутую цепь: сетка в роли анода, конденсатор *1* с подключенным к нему параллельно сопротивлением *2*, колебательный контур *1*, минус батареи, нить накала и пространство внутри лампы, обладающее односторонней проводимостью от нити к сетке.

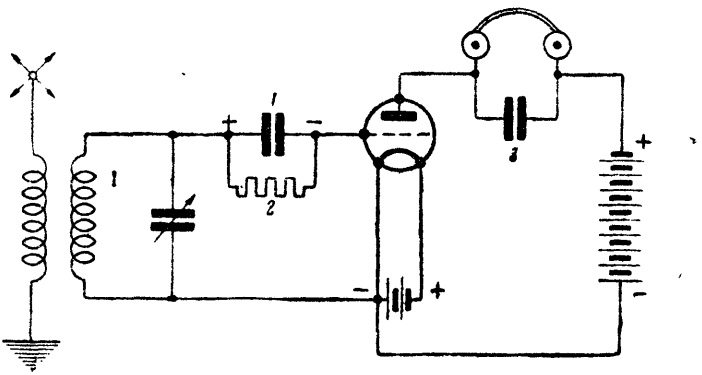


Рис. 278. Схема сеточного детектирования

Если сравнить эту часть схемы со схемой рис. 277, то увидим, что разница будет только в том, что на рис. 278 вместо телефона стоит сопротивление, роль которого выясним ниже.

Если в контуре *1* появятся высокочастотные колебания (рис. 276, *а*), то вследствие односторонней проводимости промежутка сетка — нить лампы в рассмотренной замкнутой цепи потечет пульсирующий ток (рис. 276, *б*). Высокочастотные составляющие этого тока пойдут через конденсатор *1*, а постоянный ток и низкочастотные составляющие (рис. 276, *в*) пройдут через сопротивление *2*. Так как лампа пропускает ток в направлении

от нити к сетке, то постоянный ток, появившийся в результате детектирования, пойдет от нити через катушку, далее через сопротивление *2* к сетке, следовательно, на левом конце сопротивления будет +, на правом —.

Предположим, сопротивление *2* равно 1 000 000 ом, а постоянный ток, появившийся в результате детектирования, равен 0,000002 ампера. Тогда напряжение на сопротивлении, как известно, будет

$$0{,}000002 \times 1\,000\,000 = \frac{2 \cdot 1\,000\,000}{1\,000\,000} = 2 \text{ вольтам.}$$

Таким же образом можем найти низкочастотное напряжение на этом сопротивлении; если низкочастотный ток равен 0,000001 ампера, то напряжение низкой частоты будет равно 1 вольту.

Рассмотрим теперь, что будет происходить в анодной цепи лампы. Так как на сетку лампы, при отсутствии приходящих

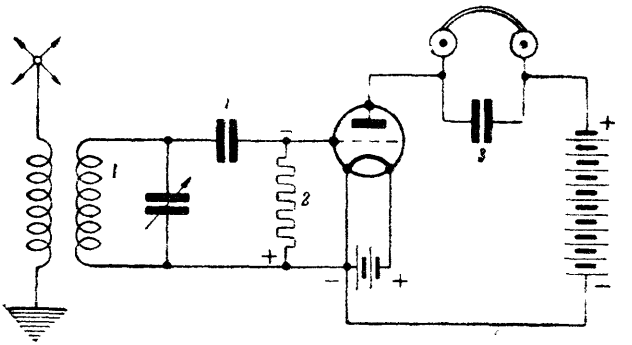


Рис. 279. Схема сеточного детектирования (другой вариант)

колебаний, не подается никакого смещения, то в анодной цепи будет итти через телефон ток, соответствующий нулю напряжения на сетке, что соответствует участку *I* диаграммы на рис. 276, *г*. Как только в контуре появятся высокочастотные колебания, на сопротивлении *2* создается рассчитанное в нашем примере постоянное напряжение в 2 вольта, которое, как нетрудно видеть, отрицательным полюсом направлено к сетке и положительным—через катушку к нити. Таким образом лампа получит отрицательное постоянное смещение, равное 2 вольтам; следовательно, анодный ток уменьшается на величину, которая соответствует отрицательному смещению в 2 вольта (рис. 276, *г*; участок *II*). В следующий момент времени, когда приходящие колебания будут модулированы низкой частотой, через сопротивление *2* пройдет и постоянный ток и ток низкой частоты. Тогда ток, идущий в анодной цепи через телефон, будет соответствовать участку *III* на рис. 276, *г*.

Следовательно, в телефоне мы услышим звук. Помимо постоянного тока и тока низкой частоты, в анодной цепи будет проходить еще ток высокой частоты, так как, поскольку к сетке

лампы подходят высокочастотные колебания, то лампа их усиливает; этот ток пройдет через блокировочный конденсатор *3*.

Посмотрим теперь, какой величины должны быть конденсатор *1* и сопротивление *2* в цепи сетки. Конденсатор *1* должен быть достаточно велик, чтобы свободно пропустить высокочастотные токи, и достаточно мал, чтобы самые высокие из токов низкой частоты шли не через него, а через сопротивление; практически величина этого конденсатора колеблется от 100 до 250 *см*. Сопротивление *2* должно быть достаточно велико по сравнению с внутренним сопротивлением промежутка сетка — нить, чтобы на сопротивлении получилось как можно больше выпрямленного напряжения; в то же время это сопротивление не должно быть очень велико, чтобы токи низкой частоты не прошли вместо него через конденсатор *1*. Практически величина сопротивления колеблется от 50 000 до 2 000 000 омов. На основании сделанных рассуждений нетрудно понять, что для детектирования схемы рис. 278 и 279 по существу одинаковы, так как в том и другом случае один конец сопротивления идет к сетке, а другой конец к нити, причем в первой схеме через катушку, а в другой — непосредственно к нити. По существу это безразлично, так как сопротивление катушки для постоянного и низкочастотного тока по сравнению с сопротивлением *2* ничтожно мало.

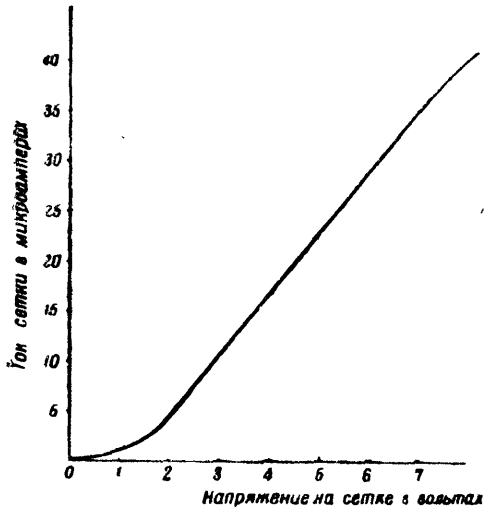


Рис. 280. Характеристика тока сетки лампы *УБ-107*

Из всего изложенного ясно, что при сеточном детектировании мы имеем, во-первых, выпрямление приходящих колебаний в цепи сетки, т. е. диодное выпрямление, и, во-вторых, усиление этих колебаний в анодной цепи лампы. Следовательно, лампа выполняет роль детектора и усилителя низкой частоты. Очевидно, что лампа будет работать тем лучше, чем больше крутизна сеточной и анодной характеристик этой лампы.

Поскольку мы работаем на нижнем сгибе сеточной характеристики, мы должны для лучшего выпрямления стать на точку наибольшего изменения крутизны. На рис. 280 изображена характеристика тока сетки; мы видим, что она имеет такой же вид, как и характеристика диодной лампы. Из этой характеристики видно, что около нуля напряжения на сетке крутизна характеристики очень небольшая, далее при некотором положительном напряжении она резко возрастает и потом переходит в прямолинейный участок. Следовательно, для лучшего детек-

тирования необходимо давать небольшое положительное напряжение на сетку. Практически это делается так: между плюсом и минусом накала ставится постоянный потенциометр и сопротивление *2* приключается не к минусу накала, а к средней точке потенциометра (рис. 281).

Благодаря тому, что при сеточном детектировании одновременно имеют место и выпрямление и усиление, этот способ детектирования отличается большой чувствительностью и наиболее распространен в войсковых радиоприемниках. Главный недостаток сеточного детектирования заключается в его сравнительно малой мощности, вследствие того, что при работе анодный ток в лампе, как мы видели, уменьшается. Поэтому при сильных приходящих колебаниях, когда уменьшение анодного тока происходит не только по прямой части характеристики,

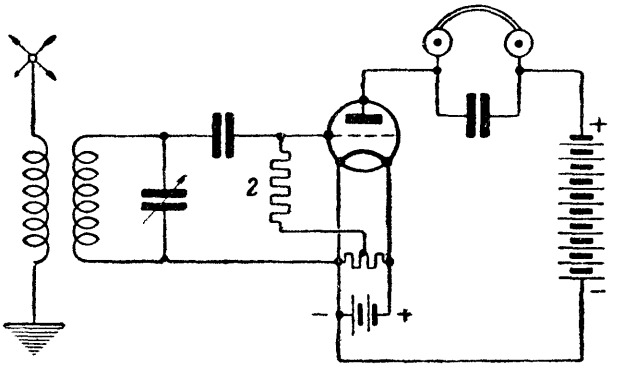


Рис. 281

а по нижнему ее сгибу, получаются большие искажения. На рис. 281 детектированные колебания воздействуют непосредственно на телефон; на практике такой случай встречается редко, обычно колебания низкой частоты усиливаются, т. е. вместо телефона ставится первичная обмотка трансформатора низкой частоты или сопротивление, после чего колебания подводятся к сетке и нити следующей лампы.

На рис. 282 изображена схема радиостанции с двумя каскадами усиления. Элементы детектирования обведены толстыми линиями.

122. АНОДНОЕ ДЕТЕКТИРОВАНИЕ

Соберем схему из лампы *УБ-107* и контура с антенной (рис. 283), настроив контур на прием радиотелефона; затем будем менять величину напряжения батареи в сетке *Бс*, пока не получим наилучшей слышимости. Измерив с помощью вольтметра величину отрицательного напряжения батареи *Бс* при наилучшей слышимости станции, получим 5 вольт. Если обратиться к характеристике лампы *УБ-107*, то увидим (рис. 284), что при анодном напряжении в 80 вольт величина отрицательного сеточного смещения в 5 вольт соответствует тому месту

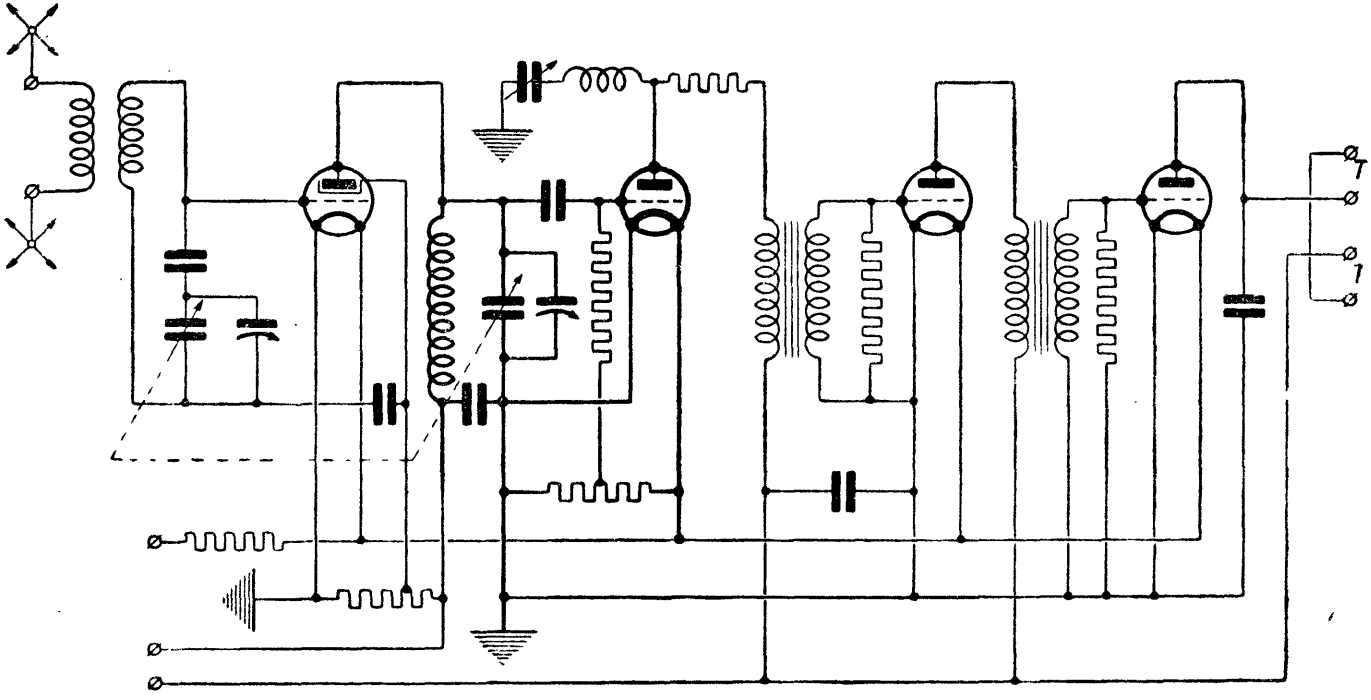


Рис. 282. Схема детектора (толстыми линиями) в рации с двумя каскадами усиления

характеристики, где она претерпевает наибольший изгиб (крестик на рис. 284). Точку, в которой характеристика претерпевает наибольший изгиб, называют рабочей точкой анодного детектирования. Из рассмотрения характеристики видно, что и в этом случае лампа выпрямляет приходящие токи высокой частоты, так как ток в аноде вызывается только по-

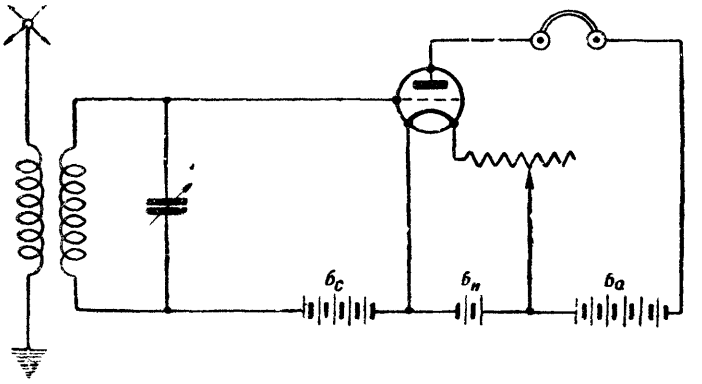


Рис. 283. Схема анодного детектирования

ложительным полупериодом. По характеристике катодной лампы легко определить величину смещения, которое необходимо дать на сетку лампы, чтобы получить односторонний ток анода.

Возьмем несколько катодных ламп различных типов. Вставляя их поочередно в ламповые гнезда детекторного приемника и подбирая для каждой из них наивыгоднейшие смещения на сетку, определим, какие из них детектируют лучше и какие хуже. Если затем мы обратимся к характеристике этих ламп, то увидим, что именно те лампы, которые обладают большей крутизной, детектируют лучше. Происходит это потому, что при одинаковой величине переменного напряжения на сетке различных детекторных ламп лампы с большей крутизной характеристики дают больший анодный ток, чем лампы с меньшей крутизной. Поэтому в качестве ламп для анодного детектирования выбирают лампы с большой крутизной характеристики.

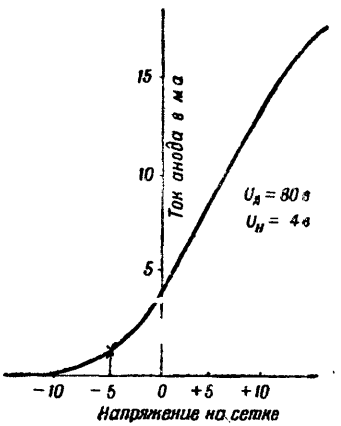


Рис. 284. Характеристика лампы *УБ-107*

Если на приемник, собранный по схеме рис. 282, прослушать работу нескольких радиотелефонных станций, то легко заметить, что одни станции слышно слабо, другие громко. Это значит, что переменные напряжения на сетке детекторной лампы

неодинаковы. При приеме слабо слышимых станций амплитуды этого напряжения не превышают десятых долей вольта, в то время как амплитуды напряжения хорошо слышимых станций измеряются вольтами и даже десятками вольт.

Отсюда мы можем сделать вывод, что при слабых сигналах анодное детектирование невыгодно. Поэтому анодное детектирование применимо лишь в приемниках, предназначенных для приема местных или мощных, хорошо слышимых станций.

В тех случаях, где задачей ставится прием маломощных или значительно удаленных радиостанций, применяется детектирование сеточное.

123. ДЕТЕКТИРОВАНИЕ ПРИ ПОМОЩИ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ ЛАМП

Двумя видами лампового детектирования для преобразования высокочастотных колебаний в колебания низкой частоты (диодным и анодным), вообще говоря, и исчерпываются все виды детектирования при помощи катодной лампы. Сеточное детектирование, как мы видели, есть по существу диодное детектирование с последующим усилением выпрямленных колебаний той же лампой. Сеточное детектирование, являясь высокочувствительным способом детектирования, обладает существенным недостатком — маломощностью.

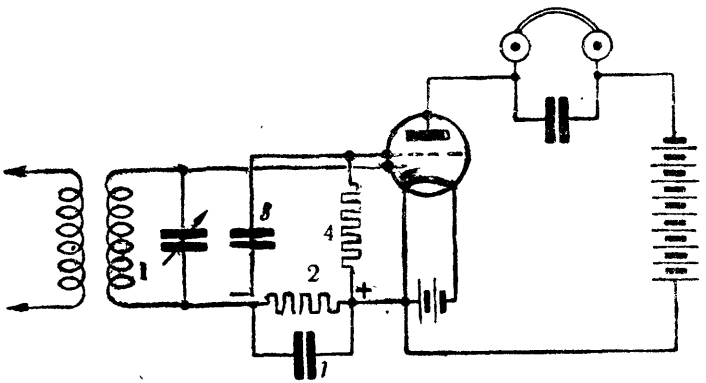


Рис. 285. Схема детектирования с помощью лампы диод-триод

Для устранения этого недостатка применяются лампы: диод-триод, двойной диод-триод, диод-пентод и т. д. На рис. 285 изображена принципиальная схема детектирования при помощи лампы диод-триод.

Рассмотрим, как происходит детектирование и усиление выпрямленных токов звуковой частоты. Высокочастотные колебания из антенны или от усилителя высокой частоты попадают в контур *1*. Так как контур с одной стороны присоединен через конденсатор *1* к нити, а с другой — к дополнительному аноду,

то будет иметь место диодное детектирование. Следовательно, на сопротивлении *2* будет напряжение постоянного тока и тока звуковой частоты. Один конец этого сопротивления, как видно из схемы, присоединен через конденсатор *3* к сетке лампы, а другой конец — к нити.

Напряжение звуковой частоты, после его усиления в анодной цепи лампы, будет действовать на телефон. Что касается отрицательного постоянного напряжения, которое имеется на сопротивлении *2*, то оно на сетку лампы не попадет вследствие наличия конденсатора *3*. В этом основное отличие детектора диод-триод от сеточного детектора; так как отрицательное смещение на лампу не попадет, то какой бы силы приходящий сигнал ни был, анодный ток в лампе уменьшаться не будет. На рис. 276, *д* изображен анодный ток в лампе диод-триод. Лампа диод-триод может принимать и выпрямлять мощные колебания без искажений, т. е. этот вид детектирования имеет все преимущества сеточного детектирования и лишен его недостатков. Сопротивление *4* служит для того, чтобы отвести падающие на сетку электроны к нити. Лампа диод-пентод, по существу, работает на таком же принципе.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Зачем применяют детектирование при радиоприеме?
2. Какой прибор называется детектором?
3. Чем отличается кристаллический детектор от обычного проводника тока?
4. Какой лампе при анодном детектировании следует отдать предпочтение — пологой или с круто поднимающейся характеристикой — и почему?
5. Какова роль конденсатора сетки в схеме сеточного детектирования?
6. Объясните, как происходит прием радиотелефонной станции?
7. Каково назначение сопротивления утечки?
8. Когда следует пользоваться анодным детектированием и когда сеточным?
9. Как происходит детектирование в лампе диод-триод?

ГЛАВА XIV

ЛАМПОВЫЕ ПРИЕМНИКИ

124. РАДИОПРИЕМ МОДУЛИРОВАННЫХ И НЕЗАТУХАЮЩИХ КОЛЕБАНИЙ

Из главы XIII знаем, что при приеме радиотелефонной передачи достаточно приходящие колебания продетектировать, чтобы получить слышимый звук в телефоне. Что касается телеграфной передачи незатухающими колебаниями, то одного детектирования недостаточно. Необходимы другие меры, чтобы сигналы в телефоне были слышны.

Задача приема незатухающих радиотелеграфных сигналов решается с помощью гетеродинного приема.

Рассмотрим, как происходит прием в этом случае (рис. 286).

Предположим, что в цепи сетки детекторной лампы мы имеем высокочастотные колебания, идущие от антенны. Свяжем цепь

сетки лампы с местным источником высокочастотных колебаний—генератором, который обычно носит название гетеродина. Частоту колебаний гетеродина выберем таким образом, чтобы она отличалась от частоты колебаний, приходящих в антенну, на 1000 периодов. Тогда в цепи сетки детекторной

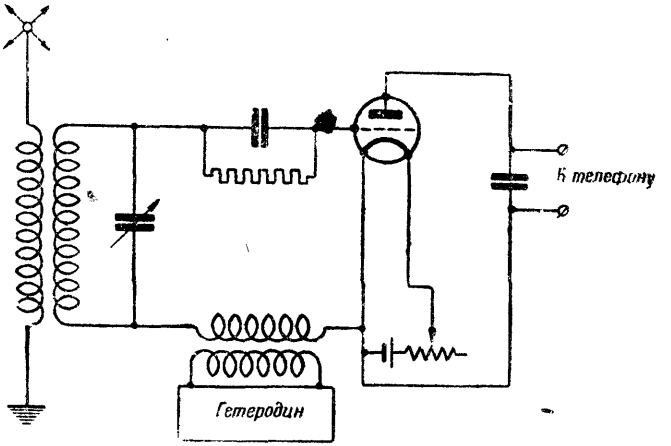


Рис. 286. Схема гетеродинного приема

лампы будут колебания двух частот: одна частота приходящих колебаний от антенны, другая—от гетеродина. Эти два вида колебаний наложатся одно на другое, и в результате наложения мы

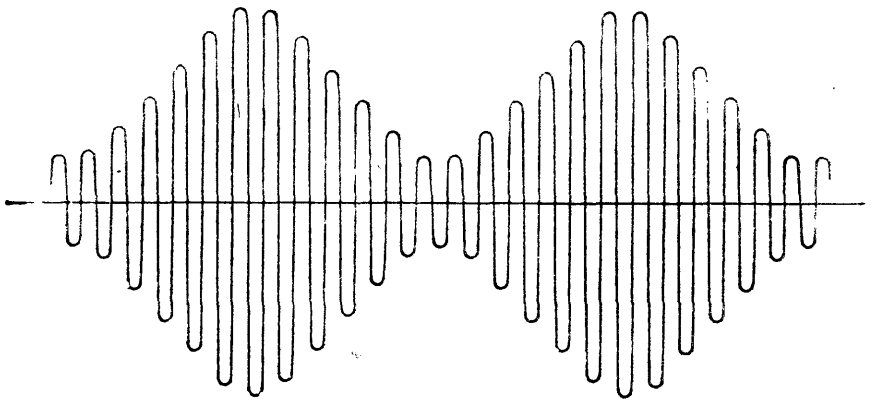


Рис. 287. Графическое изображение биений

получим на сетке детекторной лампы сложные колебания, изображенные на рис. 287. Такие сложные колебания называют биениями.

Если в детекторной лампе выпрямить (продетектировать) эти сложные колебания, то в телефоне услышим звук, частоту которого называют частотой биений; в данном случае звук будет иметь 1000 периодов. Меняя частоту гетеродина, мы по

своему желанию можем получить любую частоту биений, а значит, и звук любого тона в телефоне.

Из изложенного ясно, что для приема телеграфной передачи при незатухающих колебаниях необходим местный источник незатухающих колебаний — гетеродин.

В том случае, если передача телеграфных сигналов производится при помощи модулированных незатухающих колебаний (тональных), местный гетеродин не является необходимым.

125. ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ И ИЗБИРАТЕЛЬНОСТЬ ПРИЕМНИКОВ

Ламповые приемники, как было указано раньше, не только принимают, но и усиливают приходящие от передающей радиостанции сигналы.

Способность усиливать сигнал есть одно из основных характеризующих приемник свойств. Если мы возьмем два приемника и при одинаковой антенне будем слушать одну и ту же радиостанцию, то может оказаться, что на одном из приёмников эта станция слышна громче, на другом—слабее. Это будет означать, что первый приемник усиливает приходящий сигнал в большее количество раз, чем второй, или первый приемник имеет больший коэфициент усиления, или бо́льшую чувствительность.

Коэфициентом усиления называется количественная величина, показывающая, во сколько раз усиливается принимаемый сигнал.

Например, если говорят, что данный приемник имеет коэфициент усиления 1 000 000, то это значит, что этот приемник усиливает приходящий сигнал в 1 000 000 раз.

Кроме коэфициента усиления, одной из основных характерных для приемника величин является его избирательность.

Ламповый приемник состоит из одного или нескольких колебательных контуров. Как уже известно, каждый колебательный контур имеет свою резонансную кривую.

На рис. 288 изображены две кривые резонанса, из которых первая относится к контуру с меньшим затуханием. Из этой кривой *I* видно, что разные волны по-разному принимаются контуром. Так, при волне 200 получается ток в контуре, равный 10, а при волне 205 — 1, т. е. волна 205 по сравнению с волной 200 дает в 10 раз меньший ток.

Чем меньше затухание контура, тем сильнее будут ослабевать волны, на которые не настроен контур, по сравнению с волной, на которую он настроен (для данного примера волна настройки—200). Из кривой *II* (рис. 288) видно, что волна 205 ослабла по сравнению с волной 200 только в 5 раз.

Таким образом, контур как бы избирает только ту волну, на которую он настроен; все другие волны будут в большей или меньшей степени ослаблены.

Следовательно, всякий контур, настроенный на определенную волну, будет принимать и другие волны меньшей и большей

длины, но сила сигналов других волн будет тем меньше, чем меньше затухание контура.

Свойство контура—выбирать только ту волну, на которую он настроен, и в большей или меньшей степени ослаблять другие волны, называется избирательностью.

Из рис. 288 видно, что избирательность контура *I* больше, чем контура *II*, а так как контур *I* имеет меньшее затухание, то, следовательно, избирательность тем больше, чем меньше затухание.

Присоединим колебательный контур, имеющий резонансную кривую *I*, к сетке—нить катодной лампы и с анодной цепью этой лампы свяжем другой колебательный контур, имеющий такое же затухание, как и первый контур. Положим, что лампа усиливает приходящие к ней колебания в 5 раз; тогда в анодной цепи лампы для волны 200 будет ток, а следовательно, напряжение, $5 \cdot 10 = 50$ и для волны $205 - 5 \cdot 1 = 5$. Если второй контур имеет такую же кривую резонанса, как и первый, т. е. волна 200 усиливается в 10 раз больше, чем волна 205, то напряжение на втором контуре для волны 200 будет равно $50 \cdot 10 = 500$ и для волны 205 будет равно $5 \cdot 1 = 5$, т. е., следовательно, ослабление волны 205 по сравнению с волной 200 будет уже не в 10 раз, как мы имеем при одном контуре, а в 100 раз. Если мы возьмем не 2 контура, а 3, точно настроенных на волну 200 и имеющих одинаковое затухание, то разница в усилении волны 200 по сравнению с 205 будет уже в 1 000 раз, и т. д.

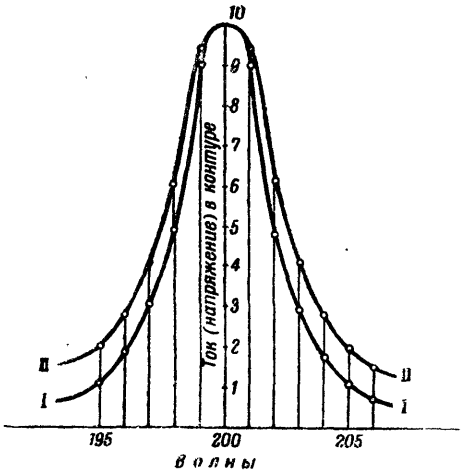


Рис. 288. Кривые избирательности

Следовательно, избирательность приемника будет тем больше, чем меньше затухание каждого из контуров приемника и чем большее число контуров имеет приемник.

Практическое значение избирательности приемника—это возможность радиоприема без помех со стороны других радиостанций, передающих на соседних волнах.

126. ПРИЕМНИК С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Простейшим ламповым приемником будет ламповый детектор с настраивающимся контуром в цепи сетки, связанным с антенной и телефоном в анодной цепи. При помощи такого приемника можно слушать только модулированную передачу (радио-

телефонную или тональную). Чувствительность и избирательность такого приемника будут очень невелики.

Как было указано выше, для приема чистых, незатухающих колебаний нужно еще гетеродинирование. Практически очень часто явления детектирования и гетеродинирования совмещают в одной лампе. Такие приемники носят название приемников с обратной связью, или регенеративных приемников.

Для уяснения работы приемника с обратной связью рассмотрим действие схемы, изображенной на рис. 289. Приходящие от принимаемой радиостанции высокочастотные колебания индуктируют в настроенном на них колебательном контуре в цепи сетки лампы токи высокой частоты; эти токи усиливаются лампой и вновь воздействуют из анодной цепи лампы при по-

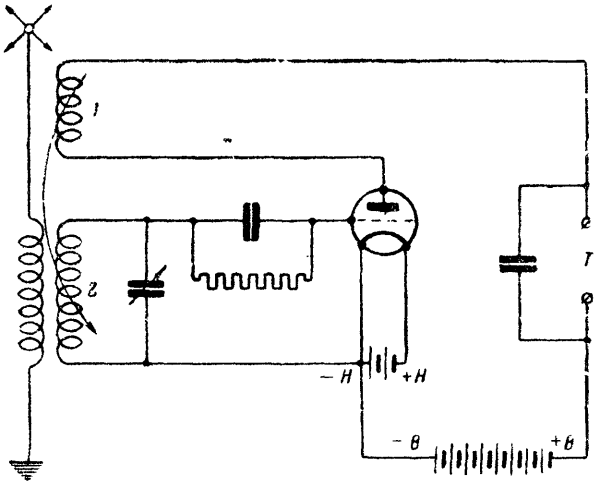


Рис. 289. Схема регенерации при индуктивной обратной связи

мощи катушки *1* на колебательный контур сетки, индуктируя в нем токи такой же частоты. В колебательном контуре сетки эти токи складываются, создавая усиление колебаний.

Таким образом, энергия из анодной цепи лампы переходит обратно в контур сетки лампы, вследствие чего воздействие на сетку лампы усиливается по сравнению с воздействием от приходящих сигналов.

Катушка *1* должна быть присоединена таким образом, чтобы индуктируемые этой катушкой в катушку сетки *2* колебания совпадали по направлению с колебаниями, приходящими из антенны, так как в противном случае может получиться, что токи, индуктируемые в катушку *2* из антенны и из катушки *1*, будут итти в разных направлениях и уничтожать друг друга.

Таким образом, усиленные лампой колебания подаются обратно к сетке (отсюда и название катушки *1*—обратная связь) и вновь усиливаются. Может возникнуть мысль, что усиление

таким образом можно продолжать без предела. На самом деле этого не получается, так как при определенной величине обратной связи между катушками *1* и *2* мы возмещаем часть потерь, имеющих место в контуре сетки, и схема будет действовать как обычная усилительная схема, только с значительно меньшей величиной потерь в контуре сетки, следовательно, с бо́льшим усилением.

Чем больше будет величина обратной связи, тем больше будет уменьшаться величина потерь в контуре сетки и тем больше будет усиление. При сильно уменьшенном сопротивлении усиление не будет беспредельным, так как анодный ток лампы не может быть больше тока насыщения. Если еще более будем увеличивать обратную связь, то энергия, переходящая из анодной цепи лампы в контур сетки, заставит лампу генерировать, т. е. при отсутствии приходящих колебаний мы будем иметь свои незатухающие колебания (ламповый генератор). Та точка, после которой начинается генерация, носит название критической точки, или порога генерации, а величина обратной связи, необходимая для подхода к критической точке, носит название критической обратной связи. Понятно, что точно стать на критическую точку практически невозможно, так как слишком неустойчив будет режим лампы. Обычно величину обратной связи берут как максимум 0,7—0,9 от критической обратной связи.

При величинах обратной связи, близких к критической, для слабых станций можно получить очень большие усиления (порядка 1 000 и выше): чем слабее сигнал от принимаемой станции, тем больше он будет усиливаться.

При приеме очень сильных сигналов обратная связь практически ничего не дает в смысле усиления.

До сих пор мы разбирали действие обратной связи в отношении получения возможно большего усиления. Регенеративный приемник дает возможность не только усиливать, но детектировать, что позволяет слушать при помощи телефона приходящие сигналы, будь то радиотелефон или радиотелеграф, на незатухающих колебаниях.

На рис. 289 изображена одна из наиболее распространенных схем регенеративного приемника. Как видно из схемы, в цепи сетки включено сопротивление с конденсатором, назначение которого то же, что и в ламповом детекторе с сеточным детектированием. Конденсатор, включенный параллельно телефону, служит для того, чтобы через него проходил ток высокой частоты, так как без этого конденсатора токи высокой частоты были бы заперты.

Регенеративным приемником можно принимать как радиотелефонную, так и радиотелеграфную передачи. В первом случае величина связи не должна доходить до критической точки, во втором—величина обратной связи должна быть больше критической. В последнем случае в цепи сетки лампы мы будем иметь колебания двух частот: частоту принимаемых колебаний и частоту регенератора, т. е. частоту приемника с обратной

связью, приведенного в состояние генерации. В результате биений этих частот и последующего детектирования мы получим низкую частоту.

Так как частота, на которой будет генерировать регенератор, будет определяться настроенным контуром в цепи сетки лампы, то отсюда следует, что для приема сигналов радиотелеграфа на незатухающих колебаниях этот контур всегда должен быть несколько расстроен. Последнее обстоятельство является одной из причин того, что при приеме незатухающих колебаний на коротких волнах регенератор всегда более усиливает, чем на волнах длинных, так как при короткой волне разница, т. е. расстройка, между приходящими колебаниями и колебаниями собственными относительно невелика.

Самое главное достоинство регенератора—его большая чувствительность к слабым приходящим сигналам. Ранее мы установили, что обратная связь уменьшает затухание контура сетки лампы до очень малой величины. Известно, что чем меньше сопротивление (декремент) контура, тем больше его селективность (избирательность). Регенеративный приемник при величине обратной связи, близкой к критическому значению, имеет очень острую кривую избирательности. Эта особенность регенератора может быть расценена как положительная для телеграфного режима и как отрицательная для телефонного режима, так как в последнем случае в регенераторе могут иметь место искажения.

К достоинствам регенеративного приемника нужно отнести его исключительно малые размеры и простоту управления им.

Там, где нужно легко и быстро обнаружить желаемого корреспондента, регенеративный приемник незаменим. Основные недостатки регенеративного приемника могут быть сведены к двум:

а) неустойчивость приемника в его наиболее чувствительном режиме: малейшее изменение в схеме (колебания антенны, прикосновение к приемнику рукой, небольшое изменение напряжения в батареях и т. д.) может повести к полному исчезновению приема;

б) невозможность одновременного приема одной передачи на близко расположенные друг к другу приемники, так как регенераторы, излучая свою частоту, могут создать помеху для других приемников.

Кроме схемы рис. 289, где уменьшение или увеличение обратной связи производится за счет приближения или удаления катушки *1* от катушки контура сетки *2*, существует целый ряд других схем, имеющих ту или другую особенность в способе получения переменной обратной связи. Рассмотрим некоторые наиболее распространенные схемы.

На рис. 290 изображена схема Рейнарца. В этой схеме катушка *1* не меняет своего положения относительно катушки *2*, но имеется конденсатор переменной емкости *3*. Действие схемы таково: усиленные лампой высокочастотные колебания имеют возможность пройти только через конденсатор *3* и катушку, так как дроссель *4* подбирается таким, чтобы его сопротивление высокочастотному току было велико по сравнению с конденсатором *3*.

Уменьшая или увеличивая емкость конденсатора *3*, мы будем увеличивать или уменьшать сопротивление высокочастотному току, т. е. уменьшать или увеличивать обратную связь.

Существует еще ряд других схем, обеспечивающих так или иначе переменную обратную связь.

Основные требования, которые предъявляются к схеме приемника с обратной связью, могут быть сведены к двум:

а) возможность как можно плавнее менять величину обратной связи для того, чтобы ближе подойти к критической обратной связи, и

б) изменение обратной связи не должно влиять на настройку основного контура.

С точки зрения этих требований схема, изображенная на рис. 290, будет менее удовлетворительной, чем схема рис. 291,

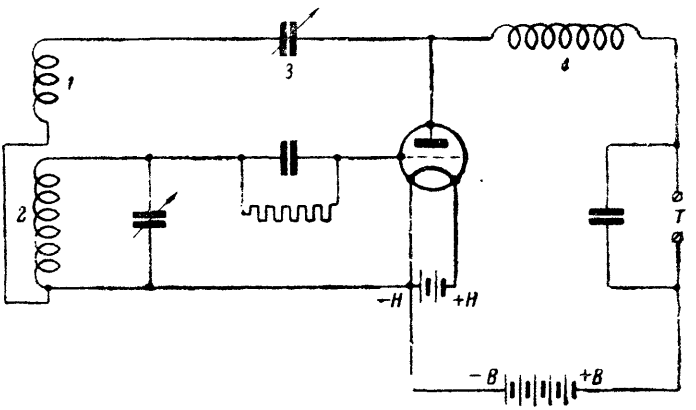


Рис. 290. Регенеративный приемник с переменной емкостной обратной связью

которая считается одной из наиболее совершенных. В этой последней схеме применен диференциальный конденсатор.

Диференциальный конденсатор в отличие от обыкновенного конденсатора переменной емкости имеет не два ряда пластин (одни подвижные, а другие неподвижные), а три: два ряда неподвижных и один ряд подвижных.

Неподвижные пластины помечены цифрами *2* и *3*, а подвижные — *1*. При вращении подвижных пластин они сперва при крайнем левом положении целиком входят в неподвижные пластины *2*, потом постепенно начинают выходить из пластин *2* в неподвижные пластины *3* и, наконец, целиком входят в пластины *3*. Следовательно, когда пластины *1* целиком находятся внутри пластин *2*, емкость между ними будет наибольшей, а между пластинами *2* и *3* — практически равной нулю, и наоборот.

Расстояние между пластинами *2* и *3* очень невелико; при вращении подвижных пластин *1* общая емкость, равная емкости между пластинами *1* и *2*, плюс емкость между пластинами *1* и *3*,

не меняется, так как если уменьшается емкость *1—2*, то увеличивается емкость *1—3*, и наоборот.

Действие этого конденсатора таково: когда пластины *1* находятся внутри пластин *2*, токи высокой частоты, пришедшие из антенны и усиленные лампой, с анода лампы могут пройти на нить только через емкость *1—2*, так как пройти через катушку *1* и далее в конденсатор *1—3* они не могут ввиду того, что емкость *1—3* равна нулю, а через дроссель *D* токи высокой частоты не пройдут, следовательно, обратной связи между катушками *1* и *2* не будет. В том случае, когда пластины *1* целиком введены в пластины *3*, токи высокой частоты могут пройти на нить только по цепи: катушка *1*, емкость *1—3* и нить. В этом

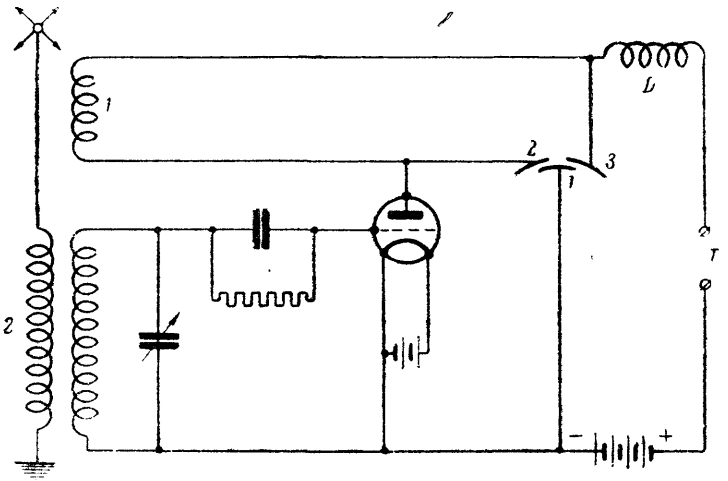


Рис. 291. Регенеративный приемник с емкостной обратной связью, осуществленной при помощи диференциального конденсатора

случае обратная связь между катушками *1* и *2* будет наибольшей, т. е. все токи высокой частоты из анодной цепи пройдут катушку *1*. Следовательно, вращая подвижные пластины диференциального конденсатора, мы можем менять обратную связь в любых пределах. Подход к генерации в этой схеме получается очень плавный, так как путь для токов высокой частоты на нить лампы все время имеет одинаковое сопротивление: через емкость *1—2*, через катушку *1* и емкость *1—3* или через тот и другой путь одновременно.

Приемники с обратной связью без предварительного усиления принимаемых от радиостанций сигналов в настоящее время встречаются редко, так как такие приемники имеют недостаточную чувствительность и избирательность.

Обычно перед детектором современный войсковой приемник с обратной связью имеет от одного до трех каскадов усиления высокой частоты. Такие приемники имеют настройку ка-

скадов высокой частоты и детектора, осуществляемую при помощи одной ручки, вследствие чего значительно упрощаются обслуживание и пользование приемником. Применение экранированной лампы позволяет получить значительное усиление токов высокой частоты.

127. СУПЕРГЕТЕРОДИННЫЕ ПРИЕМНИКИ

Рассмотренные нами схемы приемников с усилением высокой частоты и с регенеративным детектором на коротких волнах обладают сравнительно небольшой степенью чувствительности; максимальное усиление приходящего сигнала в телеграфном режиме не превышает 2 000 000. Избирательность этих приемников также невелика.

С целью получения большего усиления и большей избирательности, особенно на коротких волнах, применяют супергетеродинные приемники. При рассмотрении вопроса о гетеродинировании незатухающих колебаний мы видели, что при нало-

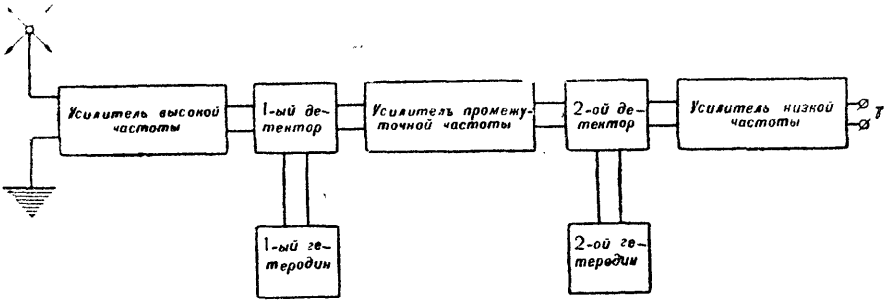


Рис. 292а. Схема супергетеродина

жении на принимаемые незатухающие колебания местных колебаний от гетеродина в результате биений этих двух колебаний и последующего детектирования получаются колебания низкой частоты, которые мы можем слушать посредством телефона.

Допустим, что мы выбрали частоту местного генератора такой, что в результате биения и детектирования мы получили не низкую частоту, а частоту, называемую промежуточной, которая меньше принимаемой, но выше низкой. Понятно, раз мы имеем какую-то частоту, мы можем ее усилить, после усиления создать биения между этой частотой и частотой местного гетеродина (второго) и в результате биений и детектирования получить низкую частоту.

В данном случае в таком приемнике будем иметь усиление не двух частот (высокой и низкой), а трех (высокой, промежуточной и низкой). Такие приемники носят название супергетеродинов.

Таким образом в супергетеродине принимаемые им колебания высокой частоты преобразуются в колебания промежуточной частоты. Далее эти колебания промежуточной частоты усили-

ваются, детектируются. После детектирования усиливаются по низкой частоте и принимаются на телефон.

Составными частями супергетеродина являются:

а) усилитель высокой частоты (рис. 292а);

б) первый детектор, где приходящие и усиленные колебания детектируются;

в) первый гетеродин, т. е. местный генератор колебаний, которые подаются на первый детектор;

г) усилитель промежуточной частоты;

д) второй детектор, в котором выпрямляются колебания промежуточной частоты;

е) второй гетеродин, колебания которого накладываются на второй детектор с целью преобразования их в звуковую частоту при приеме незатухающих колебаний;

ж) усилитель низкой звуковой частоты.

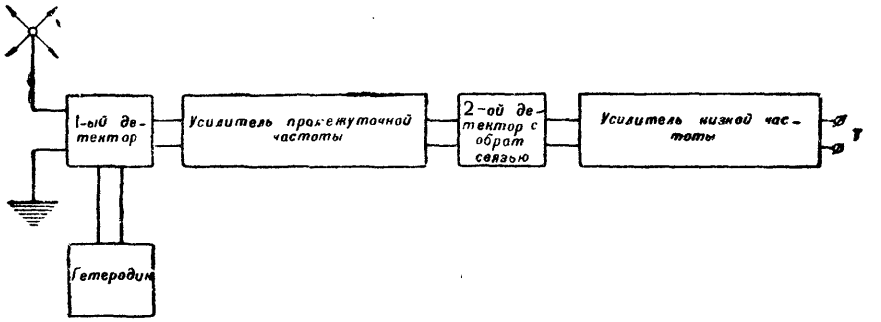


Рис. 292б. Схема супергетеродина при отсутствии усиления по высокой частоте

Усилитель высокой частоты в супергетеродине иногда может отсутствовать; тогда приходящие колебания из антенн поступают прямо на первый детектор (рис. 292б). Второй гетеродин иногда совмещают со вторым детектором, который в этом случае должен иметь обратную связь, от анода к сетке, для приема незатухающих колебаний.

Во всех супергетеродинах усилитель промежуточной частоты имеет неизменяющуюся настройку контуров. Эта настройка производится при изготовлении приемника и после ни в коем случае не изменяется.

Основные преимущества супергетеродинных приемников перед приемниками с обратной связью заключаются: в большей избирательности, в большей чувствительности и в большей простоте управления, так как у приемников с обратной связью неизбежна дополнительная регулировка — обратная связь. Преимущества супергетеродинов в первых двух случаях особо сильно сказываются при работе на коротких волнах.

Для сравнения избирательности супергетеродина и приемника с обратной связью на рис. 293 изображены две кривые избирательности: кривая *I* относится к приемнику, схема которого изображена на рис. 282, кривая *II* относится к супергетеродину,

схема которого изображена на рис. 294. Из сравнения обеих кривых видно, что кривая супергетеродина имеет более широкую вершину, благодаря чему уменьшаются искажения принимаемой станции, и значительно более узкое основание, благодаря чему воздействие мешающих станций сильно ослабляется.

Для примера пусть мешающая станция расстроена от принимаемой на 12 килогерц, тогда в случае приемника с обратной связью мешающее воздействие будет слабее принимаемых сигналов в отношении $\frac{100}{5} = 20$, т. е. в 20 раз; для супергетеродина это же мешающее воздействие будет слабее в отношении $\frac{100}{0{,}5} = 200$, т. е. в 200 раз.

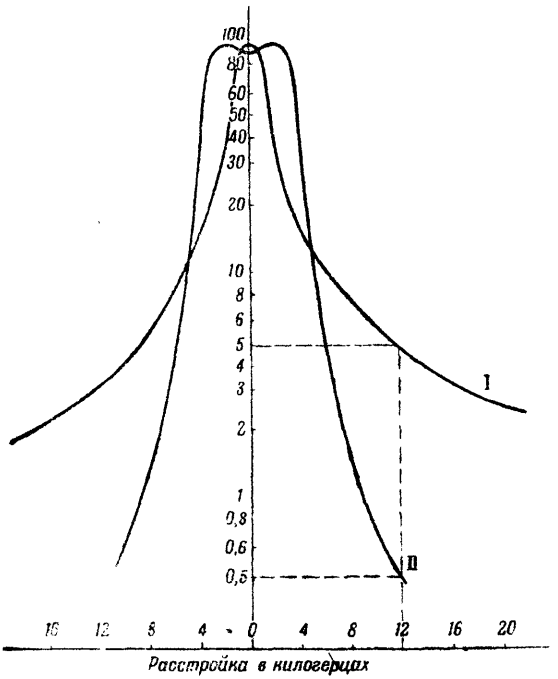


Рис. 293. Кривые избирательности супергетеродина — *II* и приемника с обратной связью — *I*

Однако супергетеродинные приемники имеют и недостаток. Ранее мы установили, что промежуточная частота получилась в результате биений между принимаемой частотой и частотой первого гетеродина.

Промежуточная частота может быть получена двумя способами: во-первых, когда частота гетеродина больше частоты принимаемых сигналов, и, во-вторых, когда частота гетеродина меньше частоты принимаемых сигналов. В обоих случаях может быть одна и та же промежуточная частота. Действительно, пусть частота принимаемых сигналов равна 1 000 000 периодов, усилитель промежуточной частоты настроен на 100 000 периодов; тогда частота гетеродина должна быть:

1 000 000 — 100 000 = 900 000 периодов, или 1 000 000 + 100 000 = = 1 100 000 периодов.

Следовательно, одну и ту же принимаемую станцию мы можем слышать при двух настройках гетеродина. Разница между этими настройками в нашем случае равна $2 \times 100\,000 = 200\,000$ периодов, т. е. равняется удвоенной промежуточной частоте.

То обстоятельство, что принимаемая станция слышна при двух настройках гетеродина, является существенным недостатком, так как создает возможность помех от других радиостанций.

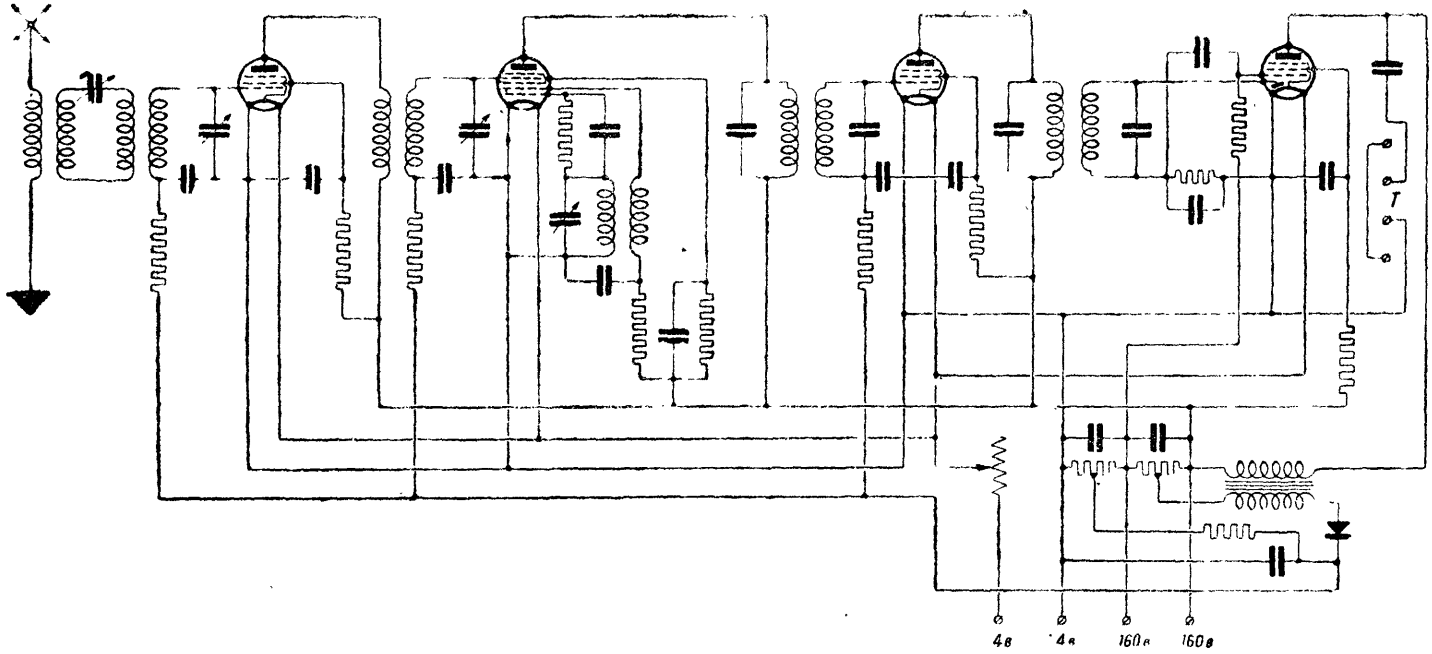


Рис. 294. Схема супергетеродина на многоэлектродных лампах

Положим, мы принимаем радиостанцию, работающую с частотой, равной 1 000 000 периодов. Настройка промежуточного усилителя сделана на 100 000 периодов. Тогда частота гетеродина должна быть 100 000 + 1 000 000 = 1 100 000 периодов.

Допустим, что в это время работает другая радиостанция и ее частота равна 1 200 000 периодов, т. е. больше частоты первой радиостанции на 100 000 периодов (на величину нашей промежуточной частоты). В нашем супергетеродине эта частота другой радиостанции, наложившись на частоту гетеродина, создает биения в 1 200 000 — 1 100 000 = 100 000 периодов. Другими словами, частота новых биений будет равна промежуточной частоте нашего приемника, что создает помехи приему нужной нам радиостанции.

Отсюда мы видим, что усилитель промежуточной частоты будет принимать не только нужную станцию, но любую другую станцию, если она отличается от принимаемой на удвоенную промежуточную частоту. Если в супергетеродине применено усиление высокой частоты, то помехи от других станций значительно уменьшаются.

Существенным недостатком супергетеродина является также сравнительно большое количество ламп, что увеличивает возможность неисправностей приемника и ухудшает вследствие сложности монтажа возможность быстрого исправления повреждения.

Эти недостатки в старых типах супергетеродинных приемников настолько существенны, что в значительной степени снижали преимущества супергетеродинов, и до последнего времени наибольшее распространение имели приемники с прямым усилением и с обратной связью.

После того как были разработаны и выпущены промышленностью новые типы ламп —пентагриды, пентоды высокой частоты, двойные диоды-триоды и т. д. — стало возможным делать супергетеродинные приемники с очень большим усилением при малом количестве ламп, следовательно, и малом габарите. Благодаря этому ряд недостатков супергетеродинного приемника отпал, и преимущества этого приемника перед приемниками с прямым усилением резко возросли. За последнее время большинство вновь разрабатываемых приемников имеют схему супергетеродина.

Особо большую роль в развитии супергетеродинных приемников сыграли многоэлектродные лампы — пентагрид, октод и триод-пентод. Пентагрид в супергетеродинах выполняет работу двух ламп: 1-го детектора и 1-го гетеродина, поэтому стало возможным в значительной степени уменьшить габарит и улучшить конструкцию и электрические качества приемника. На рис. 295 изображена схема включения пентагрида; на этом рисунке левый контур *I* настроен на приходящие колебания, он включен между управляющей сеткой и нитью. Правый контур *II* вместе с катушкой обратной связи является местным гетеродином. Управляющей сеткой местного гетеродина служит сетка *1*, анодом—сетка *2*. В случае триода-пентода местный

гетеродин приключается к триодной части лампы. Колебания от местного гетеродина и приходящие колебания складываются и детектируются внутри лампы, так что в анодной цепи получаются колебания промежуточной частоты, на которую и настроен контур *III*.

На рис. 294 изображена схема супергетеродинного приемника на новых лампах. Как видно из схемы, мы имеем только четыре лампы; несмотря на это, усиление получается больше 3 000 000. Первая лампа (пентод высокой частоты) служит для усиления приходящих колебаний высокой частоты, вторая лампа (пентагрид) преобразовывает высокую частоту в промежуточную, третья лампа (пентод высокой частоты) усиливает промежуточную частоту и четвертая лампа детектирует промежуточную частоту и усиливает низкую. С выходной цепью последней лампы связано

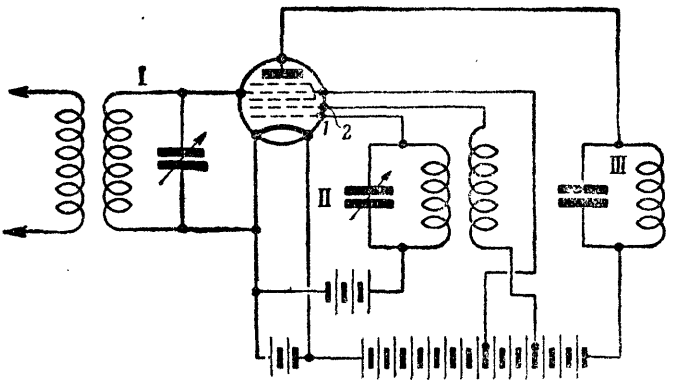


Рис. 295. Схема включения пентагрида в качестве детектора и гетеродина

устройство, включающее купроксный выпрямитель; это устройство служит для автоматической регулировки громкости.

128. ЭКРАНИРОВАНИЕ

Одной из причин, приводящей усилитель к самовозбуждению, являются паразитные индуктивные связи между отдельными элементами усилителя. Чем сложнее приемник, чем больше число каскадов в усилителе высокой или промежуточной частоты (если имеем дело с супергетеродином), тем существеннее будут сказываться паразитные индуктивные связи. В технике приемного дела существует ряд способов, позволяющих свести к достаточно малой величине паразитные индуктивные связи. Эти способы следующие:

а) расположение тех элементов приемника, индуктивная связь между которыми нежелательна, на возможно большие расстояния друг от друга;

б) специальная намотка катушки колебательного контура (восьмеричная, тороидальная и т. д.), позволяющая уменьшить их внешнее поле;

в) рациональное расположение монтажа;
г) экранирование.

Экранирование на практике получило самое широкое распространение.

Рассмотрим, в чем заключается сущность экранирования. Если мы возьмем какую-либо катушку самоиндукции, пропустим через нее ток высокой частоты (например, катушка гетеродина или передатчика) и поднесем к ней другую катушку, то во второй катушке при помощи специального измерительного прибора мы обнаружим ток той же частоты, что и в первой катушке.

Такое влияние одной катушки на другую носит, как известно, название взаимоиндукции. Теперь, если мы между катушками поместим металлический лист, например алюминиевый, то ток во второй катушке уменьшится во много раз; если же одну из катушек, а еще лучше обе, поместим в разные металлические чехлы, то взаимоиндукция между катушками практически исчезнет.

Устранение индуктивного влияния отдельных катушек друг на друга при помощи металлических листов и чехлов носит название экранирования, а металлические чехлы и листы называются экранами.

Наилучшей способностью экранирования при высокой частоте обладают металлы с наибольшей удельной проводимостью (например, красная медь, алюминий); при низкой частоте лучше всего действует железо. Кроме того, экранирование будет тем лучше, чем толще и плотнее (отсутствие зазоров, дыр и т. д. между отдельными стенками экрана) сделан экран.

129. АМОРТИЗАЦИЯ

Каждому, кому приходилось слушать на ламповый приемник, известно, что при механическом сотрясении приемника (например, если по приемнику слегка ударить рукой) в телефоне будет слышен характерный звон, который может быть иногда настолько сильным, что заглушает прием корреспондента даже при хорошей слышимости. Нетрудно установить, ударяя по-очереди лампы приемника, что этот звон исходит, главным образом, от детекторной лампы и несколько меньше от лампы низкой частоты. Можно также определить, что некоторые из ламп звенят больше, некоторые меньше, но особо будет заметна разница в силе звона, если перейти с одного типа ламп на другой. Лампы типа *УБ-107* и *УБ-110* звенят значительно меньше, чем лампы старого типа *ПТ-2*. Лампы с подогревом звенят еще меньше.

Что будет происходить с электродами лампы, если ударить по ее баллону пальцем? Прежде всего нить лампы, натянутая между двумя стерженьками, будет колебаться, как колеблется струна в музыкальном инструменте. Вполне понятно, что при колебании в каждый данный момент нить будет менять свое положение по отношению к сетке. Это обстоятельство сейчас же скажется на величине анодного тока; при каждом новом положении нити по отношению к сетке будет несколько иная величина анодного тока, так как величина анодного тока зависит

от расположения нити по отношению к сетке. При толчке нить колеблется с определенной частотой, величина анодного тока будет изменяться с той же частотой. Эта частота будет порядка тысячи и менее колебаний в секунду, т. е. ее хорошо можно услышать в телефоне.

Теперь станет понятным, почему удар по детекторной лампе вызывает наибольший эффект в телефоне, включенном в анодную цепь последней лампы низкой частоты: колебания нити детекторной лампы не только будут изменять величину анодного тока этой лампы, но будут усиливаться усилителем низкой частоты.

Описанное явление носит название микрофонного эффекта.

Подогревные лампы почти не имеют микрофонного эффекта, так как при толчке взаимное расположение электродов не меняется.

Единственным целесообразным путем, уменьшающим микрофонный эффект до желаемой малой величины, является путь амортизации (смягчения) от механических толчков. Этот путь целесообразен еще потому, что он предохраняет лампу и монтаж от повреждения или даже разрушения от механических толчков, которые в некоторых условиях работы, например, в автомобиле, двуколке, самолете и танке, могут быть чрезвычайно сильны.

Обычно в этих случаях амортизуют все приемное устройство в целом или ламповую панель, и для ламп отдельной амортизации не делают.

В качестве материала для амортизации применяют или резину, или пружины из стали. Конструкции с резиной всегда более просты и более надежны, хотя резина обычно высыхает и теряет свои пружинящие свойства. Поэтому резиновые амортизаторы меняют ежегодно.

Для приемников чаще всего применяются такие способы амортизации:

а) опорная амортизация; в этом случае приемник устанавливается на резиновые или пружинные опоры;

б) подвесная амортизация; приемник подвешивается на стальных пружинах или резиновых тяжах;

в) комбинированная амортизация (подвесная и опорная); этот вид амортизации наиболее совершенный.

130. ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА КОРОТКОВОЛНОВЫХ ПРИЕМНИКОВ И ПРИЕМНИКОВ УКВ

Вследствие очень высоких частот, с которыми мы имеем дело в приемниках коротковолновых, в особенности в приемниках ультракоротковолновых (УКВ), становятся особо важными следующие вопросы:

1. Возможность плавного изменения настройки, так как даже при незначительном изменении емкости конденсатора чрезвычайно сильно изменяется частота, что может сильно затруднить настройку на желаемого корреспондента. Для преодоления

этого затруднения емкость конденсатора настройки делают очень небольшой и, кроме того, на ось конденсатора устанавливают замедляющее ход конденсатора приспособление — верньер. Коэфициент замедления верньера обычно применяют порядка $^1/_{100}$—$^1/_{20}$. Сделать коэфициент замедлений бо́льшим, чем $^1/_{100}$, чрезвычайно трудно, так как неизбежно появляющийся в таких случаях так называемый мертвый ход может свести к нулю все преимущества большого замедления.

2. Постоянство частоты при определенном положении ручек настройки. Выше было указано, что незначительное изменение емкости конденсатора настройки ведет к сильному изменению частоты; то же можно сказать и по отношению к катушке самоиндукции. Поэтому устройство конденсаторов и катушек самоиндукции делается особо жестким. Конденсатор выполняется без всякой слабины и качания пластин. Катушка самоиндукции монтируется жестко, витки катушки обеспечиваются от сдвигания, прогиба и вообще от всякого изменения своего положения. Монтаж делается особенно прочным. Устранение случайного изменения емкости конденсатора за счет внешних причин (поднесение руки и т. д.) достигается хорошей экранировкой; в некоторых случаях рукоять настройки конденсатора удлиняют, чтобы избежать влияния поднесенной руки.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Почему радиостанция, работающая незатухающими колебаниями, будет неслышна на приемнике, в котором нет собственных незатухающих колебаний?
2. Какие основные схемы обратной связи вы можете назвать?
3. Каковы преимущества и недостатки приемников с обратной связью?
4. Можно ли сделать супергетеродин с промежуточной частотой, которая будет больше, чем принимаемая?
5. По каким признакам можно определить схему супергетеродина?
6. В чем преимущества супергетеродина перед приемником с обратной связью?
7. Для чего нужна экранировка в приемниках?
8. Для чего нужна амортизация приемника?
9. Почему в последнее время применяют в супергетеродинах новые многоэлектродные лампы?
10. Укажите особенности устройства приемников УКВ.

ГЛАВА XV

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ТОКОВ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

131. ВОЛНОМЕР

Для измерения частоты передатчика и приемника служит волномер. Различают два основных типа волномеров: резонансный волномер и гетеродинный волномер.

Первый из них применяется для измерения частоты передатчика, а второй—для градуировки приемников и разных радиотехнических измерений. Резонансный волномер (рис. 296, *а*) пред-

ставляет собой простой колебательный контур *1*, состоящий из конденсатора переменной емкости *1* и катушки самоиндукции *2*. Вращением рукоятки конденсатора настраивают контур на частоту передатчика. Момент резонанса узнается по наибольшему отклонению стрелки прибора *А*, которым снабжается волномер. В качестве прибора применяют или термогальванометр, включаемый непосредственно в колебательный контур, или вспомогательный ненастроенный контур (рис. 296, *б*), состоящий из небольшой катушки самоиндукции и детектора, соединенного последовательно с микроамперметром постоянного тока. Катушка вспомогательного контура жестко связывается с катушкой колебательного контура. Катушки самоиндукции *2* выполняются на различные длины волн в зависимости от назначения волномера.

Волномер градуируется на заводе в килогерцах или в длинах волн.

Градуировка наносится или в виде ряда кривых, или в форме таблиц, в которых каждому градусу конденсатора соответствует определенная частота в килогерцах.

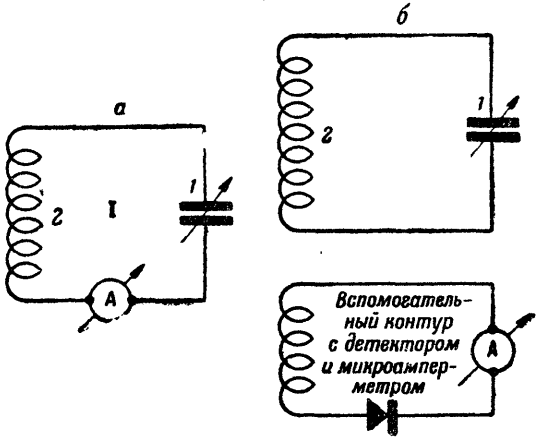


Рис. 296. Схема резонансного волномера: справа — с вспомогательным контуром и слева — с термогальванометром

Волномеры различаются между собой по точности, с которой они измеряют частоту. Обычно точность выражают в процентах к измеряемой частоте. Когда мы говорим, что волномер обладает точностью, равной 1%, это значит, что, измеряя, например, частоту 1 000 килогерц, мы может получить величину 990 килогерц или 1 010 килогерц. В обоих случаях ошибка равна 10 килогерцам, которая к измеряемой частоте составляет:

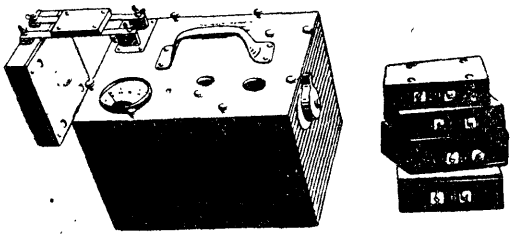


Рис. 297. Резонансный волномер

$$\frac{10 \text{ килогерц}}{1\,000 \text{ килогерц}} = \frac{1}{100}, \text{ или } 1\%.$$

Волномеры, применяемые в РККА, имеют точность в $^1/_4\%$ и $^1/_{10}\%$. Точность волнометра зависит от постоянства конструкции конденсатора и катушек; она ухудшается под влиянием

резких колебаний температуры, так как при этом изменяются размеры катушек и конденсатора. Рис. 297 изображает волномер, обладающий точностью в $^1/_4\%$, с термогальванометром. Справа показаны катушки. Для измерения частоты передатчика волномер располагают вблизи передатчика и, вращая плавно конденсатор, добиваются наибольшего отклонения стрелки прибора. Заметив соответствующее этому отклонению деление шкалы конденсатора, находят по таблице градуировки частоту настройки. Связь волномера с передатчиком следует выбирать такой, чтобы наибольшее отклонение стрелки было немногим больше половины шкалы прибора. При более сильной связи волномер будет влиять на частоту передатчика и, кроме того, может сжечь прибор, если таковым служит термогальванометр.

132. ГЕТЕРОДИННЫЙ ВОЛНОМЕР

Гетеродинный волномер представляет собой маломощный генератор незатухающих колебаний, состоящий из колебательного контура, возбуждаемого небольшой лампой.

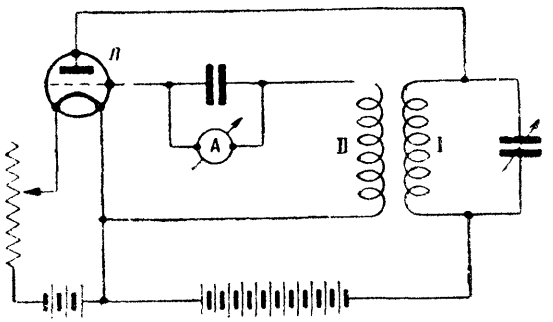


Рис. 298. Схема гетеродинного волномера

На рис. 298 изображена одна из схем гетеродинного волномера, в которой колебательный контур *I*, сделанный так же, как в резонансном волномере, включен в цепь анода лампы *Л*. Контур *I* связан с катушкой *II* сетки лампы *Л*. В цепь сетки включен миллиамперметр *A*, параллельно которому стоит конденсатор для пропускания токов радиочастоты.

При возникновении колебаний через миллиамперметр *A* проходит постоянный ток сетки лампы. Если такой гетеродин связать с каким-нибудь колебательным контуром, частоту которого желательно измерить, и вращать конденсатор, то в момент настройки волномера на частоту измеряемого контура прибор *A* покажет резкое спадение тока. Настройка при этом получается весьма острой. Для того чтобы это спадение тока было резким и отчетливым, необходимо подобрать связь между волномером и контуром.

Гетеродинный волномер служит для градуировки приемника. Градуировка производится следующим образом. Приемник с помощью обратной связи заставляют генерировать и связывают его слабо с гетеродином. При некотором положении конденсатора гетеродина в телефоне приемника будет слышен высокий звук, частота которого будет понижаться по мере того, как частота гетеродина будет приближаться к частоте,

генерируемой приемником. В некоторый момент в телефоне не будет ничего слышно, но достаточно повернуть конденсатор гетеродина в ту или иную сторону от этого положения, как звук будет вновь появляться, начиная с низкого тона и переходя в высокий. Исчезновение звука в телефоне приемника будет иметь место в момент настройки гетеродина в резонанс с приемником и носит название нулевого биения. Заметив градус конденсатора гетеродина, соответствующий нулевому биению, находят по графику частоту настройки приемника. Следует отметить, что частота излучаемых приемником колебаний зависит от величины обратной связи. Поэтому при градуировке приемника следует ставить обратную связь на наименьшее значение, при котором возникают колебания.

Градуировка гетеродина производится при определенной величине накала и анодного напряжения, и при измерении необходимо соблюдать предписанные градуировкой напряжения накала и анода. Перед измерением необходимо дать гетеродину поработать в течение нескольких минут для установления режима и постоянства частоты.

В качестве гетеродинного волномера может служить любой регенеративный приемник, в точности настройки которого нет сомнения, например батальонная радиостанция. Пользуясь этим приемником, можно, например, градуировать любой передатчик с тем же диапазоном волн. Для этого приемник с отключенной антенной устанавливают на определенную волну и запускают передатчик, связав его возможно слабее с приемником. Затем настраивают передатчик на нулевое биение с приемником, слушая исчезновение звука в телефон приемника. Градусы настройки передатчика записывают. Затем устанавливают приемник на следующую волну и проделывают такое же измерение и т. д. При этом нужно следить, чтобы передатчик не забивал приемник, иначе нулевое биение будет иметь место на широком участке шкалы настройки приемника, и градуировка будет неверной. Равным образом следует устанавливать обратную связь, как было указано выше, на наименьшее значение.

133. ТЕПЛОВЫЕ ПРИБОРЫ И ТЕРМОАМПЕРМЕТРЫ

Для измерения силы токов высокой частоты служат тепловые приборы и термоамперметры. Обычные приборы, применяемые для измерений переменного тока порядка 50 периодов, непригодны для высокой частоты, так как обладают большой самоиндукцией и емкостью, вследствие чего они изменяют свое сопротивление в зависимости от частоты измеряемого тока и дают большие ошибки. Тепловые приборы состоят из тонкой проволоки, соединенной посредством особого приспособления со стрелкой. Измеряемый ток протекает через проволоку и разогревает ее, благодаря чему она удлиняется и приводит в движение стрелку (глава II). Тонкая проволока обладает ничтожной самоиндукцией и емкостью, и поэтому ее удлинение почти не зависит от частоты тока. Обычно применяют про-

волоку из сплава платины с иридием толщиной от 0,03 до 0,35 *мм*.

Приборы этого типа с одной проволокой строятся на токи от 60 миллиампер до 1 ампера. Приборы на большой ток строятся с шунтами. Так как удлинение нити происходит от нагревания проволоки, а нагревание зависит от квадрата силы тока, то тепловые приборы имеют неравномерную шкалу: тесную вначале и расширяющуюся к концу. Начальный отсчет обычно равен $^1/_{10}$ от наибольшего деления шкалы. Так, прибор на 5 ампер имеет начальный отсчет, равный 0,5 ампера. Точность тепловых приборов — около 1%. Тепловые приборы выдерживают кратковременную тройную перегрузку от наибольшего деления шкалы.

Действие термоамперметра основано на явлении термоэлектричества. При нагревании места спая двух разнородных металлов, например железа и меди, в нем появляется э. д. с. определенного направления. Эта э. д. с. называется термоэлектродвижущей силой, а спаянные разнородные металлы называются термопарой.

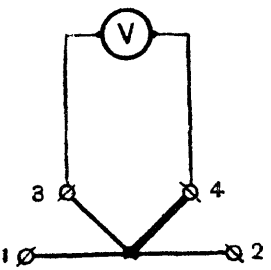


Рис. 299. Схема термопары

Термоэлектродвижущая сила весьма мала. Она измеряется миллионными долями вольта и неодинакова для разных термопар. Применяя для нагревания термопары электрический ток, мы можем судить о его силе по величине термоэлектродвижущей силы, даваемой термопарой. Величина термоэлектродвижущей силы зависит от степени подогрева термопары. Можно при одной и той же силе тока, нагревающего термопару, получить значительно бо́льшую термоэлектродвижущую силу, поместив термопару в стеклянный баллон, из которого выкачан воздух.

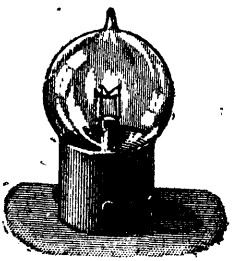


Рис. 300. Термопара в стеклянном баллоне

Для измерительных целей термопара осуществляется в виде так называемого термоэлемента. Он состоит из короткой тонкой проволоки *1—2* (рис. 299), в центре которой припаяна термопара в форме очень маленького шарика. Концы от термопары выведены к зажимам *3—4*. Проволока *1—2* включается в цепь измеряемого тока, а термоэлектродвижущая сила измеряется вольтметром, приключенным к зажимам *3—4*. Этот вольтметр градуирован в тысячных долях вольта и называется милливольтметром.

Термоэлемент помещается в маленькую стеклянную колбу с вакуумом. Концы проводов *1—2* и *3—4* выводятся к наружным контактам. Рис. 300 изображает термоэлемент описанного типа.

Термоэлементы строятся на ток от 2 миллиампер до 1 ампера. Даваемая ими э. д. с. колеблется от 2,5 до 7 милливольт.

Термоприбор представляет собой милливольтметр, к которому термоэлемент присоединяется отдельно. Иногда термоэлемент располагается внутри милливольтметра. Начальный отсчет шкалы термоприбора обычно равняется 0,2 наибольшего деления шкалы. Термоприбор в противоположность тепловому прибору не выдерживает значительной перегрузки, и термопара перегорает. Наибольшая допустимая перегрузка составляет 50% от наибольшего деления шкалы. Термоэлемент хрупок и боится резких толчков и ударов. Эти недостатки искупаются большой точностью (до $^1/_4$%), устойчивостью и большой чувствительностью.

Обычно в термоприборах применяются особого рода термоэлементы, в которых отсутствует контакт между проволокой, по которой проходит измеряемый ток, и термопарой.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Каких типов бывают волномеры?
2. Как измерить волномером волну передатчика?
3. Как гетеродинным волномером проверяют градуировку приемника?
4. Как получается термоэлектродвижущая сила?
5. Что называют термопарой?
6. Расскажите об устройстве измерительного прибора — амперметра с термопарой.

ГЛАВА XVI

ПОМЕХИ РАДИОСВЯЗИ В АВИАЦИИ И МОТОМЕХЧАСТЯХ

134. ПОНЯТИЕ О ПОМЕХАХ

Радиосвязь между самолетами и между танками должна обеспечиваться независимо от того, стоит ли машина или находится в движении.

Радиосвязь на стоянке машины может быть обеспечена достаточно легко. Работе же радиостанции в полете или на ходу машины препятствует ряд мешающих воздействий (помех) как от шума мотора, так и от электрооборудования. Последнее является необходимой принадлежностью каждой машины и служит для целей зажигания, освещения, пуска мотора и т. д. Первый вид помех от шума мотора и механизмов называют акустическими, или звуковыми, помехами, а второй — от электрооборудования — называют электрическими помехами. Радиоприем при наличии этих помех без дополнительных устройств в электрооборудовании и в радиоаппаратуре является часто невозможным.

Вопрос о необходимости борьбы с электрическими и акустическими помехами впервые возник при установке радиостанций на самолетах и автомашинах. Тогда же были предприняты попытки изучения природы помех, выработаны меры борьбы с ними, и в настоящее время все необходимые приспособления

для подавления помех изготовляются промышленностью и находят все более широкое распространение.

Задача борьбы с помехами является весьма существенной, так как от ее решения зависит возможность радиосвязи.

Каковы же основные принципы устройства электрооборудования автомашин. Электрооборудование обычно состоит из двух основных частей: системы зажигания и динамомашины с потребителями электрической энергии. Задачей системы зажигания является получение тока высокого напряжения, что и выполняется с помощью магнето, а в батарейной системе зажигания—с помощью индукционной катушки. Переменный ток высокого напряжения, полученный от магнето или от катушки, с помощью распределителя подается по магнетным проводам к свечам зажигания на цилиндрах двигателя внутреннего сгорания. В нужный момент этот ток дает искру в свечах и производит вспышку горючего. Магнето и батарейная система зажигания с помощью катушки получили достаточно широкое распространение и известность; их описание можно найти в любом курсе автомобиля.

Вторая часть электрооборудования — динамомашина, приводимая во вращение от двигателя, — вырабатывает постоянный ток, обычно небольшого напряжения: 6 или 12 вольт, реже 24 вольта. Этим током заряжается аккумуляторная батарея того же напряжения. К аккумулятору подключаются все потребители электрической энергии: стартер, т. е. электродвигатель для запуска двигателя внутреннего сгорания, осветительные приборы, гудок и т. д.

Динамомашина, вращаемая от двигателя, вместе с ним меняет число оборотов. В двигателях внутреннего сгорания на движущихся повозках число оборотов меняется в очень значительных пределах: от 400 до 2 400 оборотов в минуту и выше. Известно, что напряжение динамо пропорционально числу оборотов. Поэтому, чтобы поддерживать его постоянным, применяют автоматическую регулировку. Такая регулировка достигается с помощью третьей щетки, как например в автомобиле ГАЗ, или с помощью вибрационного регулятора напряжения, который применяется в аппаратуре АТЭ.

Регулятор напряжения в простейшем его осуществлении состоит из электромагнита, обмотки которого включены в цепь динамо (рис. 301). В нерабочем состоянии якорь с помощью пружины *12* оттянут и замыкает контакты *1* и *2*, которые замыкают накоротко сопротивление *3* в цепи возбуждения динамо. При увеличении числа оборотов напряжение динамо возрастает, возрастает и намагничивающий ток, идущий по обмоткам регулятора. Электромагнит притягивает якорь, при этом контакты *1* и *2* размыкаются, и в цепь возбуждения включается сопротивление *3*. Вследствие наличия сопротивления в цепи возбуждения напряжение на динамо падает, уменьшается намагничивание электромагнита регулятора и якорь вновь оттягивается пружиной в первоначальное положение, после чего все явления повторяются.

При резком возрастании напряжения, а следовательно, и резком намагничивании электромагнита регулятора, якорь притягивается сильнее и замыкает контакты *4* и *5*, которые замыкают накоротко обмотку возбуждения динамо.

Напряжение динамо при этом падает почти до нуля, и якорь, лишаясь притяжения, оттягивается пружиной и замыкает контакты *1* и *2*, включающие цепь возбуждения. Далее весь цикл повторяется снова.

Регулятор напряжения подобного типа дает от 25 до 50 размыканий в секунду, вследствие чего ток, заряжающий аккумулятор, имеет пульсирующий характер с тем же числом периодов. Контакты *1* и *2*, а также *4* и *5*, производящие разрыв тока,

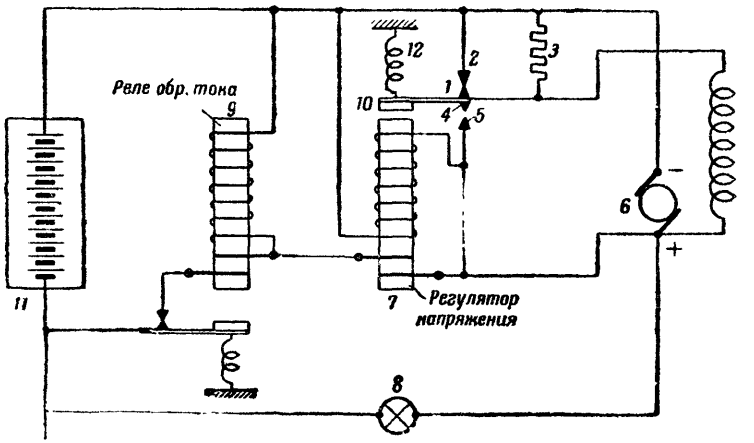


Рис. 301. Схема вибрационного регулятора напряжения:

1 и *2* — контакты, *3* — сопротивление, *4* и *5* — контакты, *6* — динамо, *7* — электромагнит, *8* — потребители электрической энергии (лампочка), *9* — реле обратного тока, *10* — якорь реле, *11* — аккумуляторная стартерная батарея, *12* — пружина якоря электромагнита

при этом слегка искрят, что является, как увидим впоследствии, серьезным источником помех.

135. АКУСТИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ

Современные автомобили на ходу почти бесшумны, поэтому говорить об акустических помехах работе радиостанций, установленных на автомобилях, не приходится. На самолете акустической помехой является рев моторов и винтов; в танке же, кроме грохота мотора, создаются шумы от работы гусениц и стрельбы. Радиопередача в таких условиях с помощью обыкновенного микрофона и радиоприем на обычный телефон являются затруднительными, а часто невозможными. Обычный микрофон одновременно с речью передает и все шумы, которые в большинстве случаев заглушают речь. Очевидно, необходим такой микрофон, мембрана которого была бы не чувствительна к шумам и вместе с тем позволяла бы передавать речь.

Микрофоны, обеспеченные от воздействия на них посторонних шумов, имеются, и их действие основано на следующем явлении. Известно, что при разговоре наше горло, а также некоторые кости лица (верхняя челюсть, височная кость и др.) приходят в колебательное состояние; при этом их колебания происходят с частотой и амплитудой, соответствующей произносимым звукам. Следовательно, если приложить мембрану микрофона к горлу или к одной из упомянутых выше костей, то при разговоре колебания горла или кости будут передаваться мембране микрофона, где и будут превращаться из колебаний механических в колебания электрические.

Микрофоны, работающие от колебаний горла, называют ларингофонами, от латинского слова „ларингеус" — горловой. Микрофоны, работающие от колебаний какой-либо лицевой кости, называют остеофонами, от латинского слова „остеус" — костный.

Как ларингофоны, так и остеофоны нечувствительны к шумам, так как для приведения их мембраны в колебательное состояние давления звуковых волн недостаточно, и только непосредственное соприкосновение мембраны с вибрирующим (колеблющимся) горлом или костью создает достаточное давление и приводит мембрану в колебательное состояние. Устройство ларингофонов и остеофонов такое же, как и устройство микрофона, т. е. угольные зерна помещаются между мембраной и колодкой и представляют собой сопротивление, величина которого изменяется в зависимости от степени давления на мембрану. Как ларингофоны, так и остеофоны, давая защиту от шумов, хорошей ясности передачи не обеспечивают.

Кроме ларингофонов и остеофонов с целью уменьшения воздействия акустических помех применяют антишумовые микрофоны. Отличительной особенностью таких микрофонов являются узкое отверстие амбушура и капиллярные трубки (напомним, что капиллярными трубками называются трубки весьма малого диаметра), расположенные перпендикулярно к мембране. При таком устройстве мембрана микрофона может быть приведена в колебательное состояние только теми звуковыми волнами, которые направлены строго вдоль капиллярных трубок. Звуковые волны, попадающие в трубки под углом, будут оказывать тем меньшее влияние на мембрану, чем больше угол между их направлением и осью трубок.

Практически, если говорить в такой микрофон, поместив его не против рта, а несколько сбоку, передачи не происходит; точно так же шумы, попадающие на поверхность трубок под самыми разнообразными углами, на микрофон не воздействуют; от прямого же попадания шумов вдоль трубок защищает рот говорящего. Очевидно, что говорить перед таким микрофоном необходимо так, чтобы звуки голоса были направлены вдоль трубок.

На рис. 302 показан диференциальный микрофон. У него мембрана находится между двумя колодками; в промежутках по обе стороны мембраны насыпан угольный порошок. Для воз-

действия на мембрану центр последней с помощью тяги соединен с коническим рупором, в который поступают звуковые волны. Амбушур микрофона имеет очень узкое устье с капиллярными трубками. Схема включения микрофона показана на рис. 303, из которого видно, что микрофон включается тремя точками: точка *а* — к мембране и точки *б* и *в* — к двум колод-

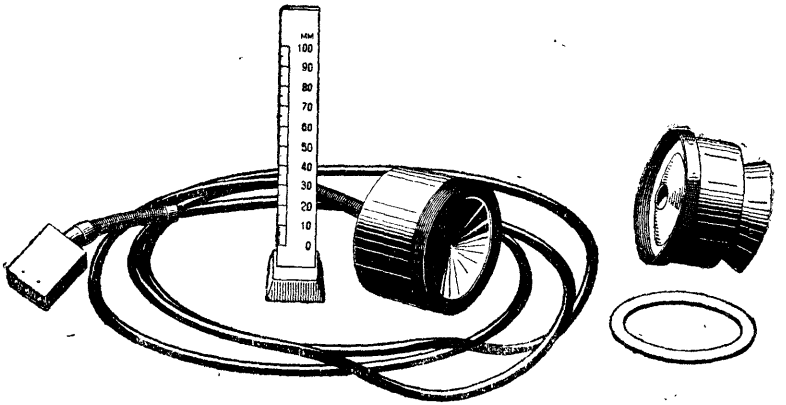


Рис. 302. Антишумовой диференциальный микрофон

кам. В соответствии с этим и микрофонный трансформатор имеет 3 вывода.

Для уменьшения мешающего действия шумов применяются шлемы, в специальные карманы которых и заделываются теле-

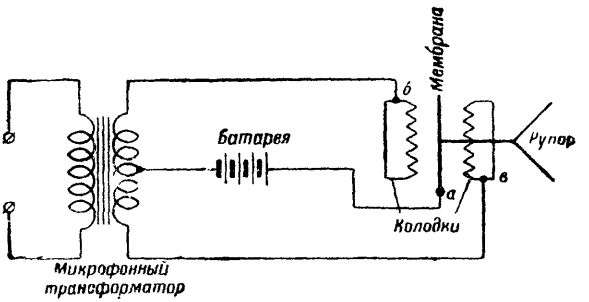


Рис. 303. Схема включения диференциального микрофона

фоны для слухачей. Корпус телефонов заключается в пробковую оболочку, а для более плотного и вместе с тем безболезненного прилегания телефонов к ушным раковинам применяют кольцевые подкладки из губчатой резины.

Основным условием возможности радиоприема при наличии акустических помех является громкая слышимость сигналов, так как, несмотря на защиту уха шлемом или накладками, шумы все же воздействуют на слуховой аппарат человека через зубы, кости лица и мешают отличать нужные сигналы.

При радиосвязи на сближенных расстояниях сила и громкость приема, естественно, возрастут и могут быть настолько большими, что вызовут болезненные ощущения в ушах слухача; поэтому регулятор громкости должен предусматриваться во всех приемниках, предназначенных для работы в условиях акустических помех.

Нить накала в лампах приемника обычно представляет собой тонкую проволоку, натянутую между двумя стойками. При тряске и толчках, а также от сильных шумов, она начинает колебаться, что вызывает резкие трески и звон в телефонах приемника, мешающие приему. Получается *микрофонный эффект*. В тех приемниках, где применяется гетеродин (например в супергетеродинах), микрофонный эффект, помимо колебаний нити, может создаваться за счет тряски (вибраций) переменного конденсатора в контуре гетеродина. Мерами борьбы с этими явлениями служат соответствующая амортизация приемника в целом и применение конденсатора гетеродина жесткой конструкции (фрезерованного или литого).

136. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПОМЕХИ

В отличие от помех акустических, затрудняющих как прием, так и передачу, электрические помехи, создаваемые работой электрооборудования, воздействуют только на радиоприемник. Независимо от системы электрооборудования природа этих помех одинакова — искровые разряды, происходящие в системе зажигания мотора и в цепях динамомашины. Такие искровые разряды происходят:

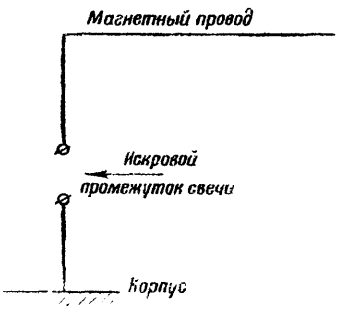


Рис. 304. Искровое возбуждение магнетного провода, являющегося антенной, в случае проскакивания искры в свече

а) в свечах зажигания;

б) в высоковольтном распределителе и в плохо контактирующих вводах цепи высокого напряжения;

в) в прерывателе низкого напряжения магнето или катушки, а также в вибрационном регуляторе напряжения динамомашины;

г) в щетках динамомашины, в особенности, когда они искрят.

Магнетные провода, подводящие напряжение к свечам, провода, идущие от щеток динамомашины и контактов вибрационного регулятора напряжения, представляют собой антенны, возбуждаемые искровыми разрядами (рис. 304).

Энергия электромагнитного поля проводов излучением и по индукции воздействует на антенну и питающие провода приемника, создавая в телефонах последнего ритмические громкие трески, тем более частые, чем выше обороты мотора внутреннего сгорания. Радиоприем при наличии этих треском становится невозможным. Характер электромагнитных полей, создаваемых искровыми разрядами, чрезвычайно сложен и зависит от особен-

ностей пространственного размещения проводов и корпуса машины. Получающееся электромагнитное поле изменяется от зажигания каждого цилиндра и притом неодинаково. Иногда искровой разряд индуктирует в соседнем близлежащем проводе или в его металлической оплетке напряжение, достаточное, чтобы создать вторичную искру, которая в свою очередь является источником помех. Корона (короной называется вредное явление свечения проводников, несущих ток высокого напряжения), возникающая на проводах магнето, также может быть источником помех.

Частота (длина волны) создающих помехи электромагнитных волн определяется величинами распределенной емкости и самоиндукции проводов, имеющих искровой промежуток. При коротких и хорошо изолированных проводах эти распределенные постоянные волны очень малы и частота помех достаточно высокая — 30 000—60 000 килогерц, т. е. длина волны — порядка 5—10 *м*. Поэтому мешающее действие зажигания более всего сказывается при радиоприеме ультракоротких волн. Однако и на более длинных волнах мешающее действие оказывается достаточно сильным вследствие сравнительно большой мощности излучения и искрового характера этого излучения. Длина волны радиопомех от зажигания автомобиля ГАЗ не превосходит 5 *м*.

Уровень помех от электрооборудования, характеризующийся силой мешающих треском в телефонах приемника, зависит от ряда причин. Главными из них являются:

а) степень усиления, даваемая радиоприемником, т. е. чем большее усиление дает приемник, тем громче будут прослушиваться помехи;

б) чувствительность приемника к помехам: очевидно, чем ближе будет диапазон частот радиоприемника к частоте помех, тем сильнее будут помехи; восприимчивость приемника к помехам зависит также от его схемы;

в) расстояние между приемником и источником помех: очевидно, что антенну приемника и все провода питания необходимо удалять, насколько возможно, от источников помех;

г) система зажигания и система регулировки напряжения у динамомашины: магнето, имеющее щеточный, постоянно контактирующий распределитель, дает меньшие помехи, чем распределитель с искровым воздушным промежутком, так как в последнем случае этот искровой промежуток является источником добавочных помех; при регулировке напряжения динамомашины с помощью третьей щетки наблюдаются меньшие помехи, чем в случае наличия вибрационного регулятора напряжения;

д) состояние естественного экрана магнето и динамо, определяемое их конструкцией и размещением в машине: при плотном, замкнутом со всех сторон экране электромагнитное поле помех ограничивается объемом экрана, не распространяясь далее и не причиняя помех;

е) состояние изоляции магнетных проводов: появление короны при плохой изоляции усиливает помехи;

ж) состояние щеток и коллектора, пригонка щеток к коллектору: выше уже отмечалось, что искрение щеток усиливает помехи.

Однако при всех благоприятных условиях состояния электрооборудования помехи от него являются достаточными, чтобы в той или иной степени затруднить возможность радиоприема.

137. ПОДАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОМЕХ

Наиболее действительным средством подавления помех от электрооборудования является экранирование, т. е. заключение всей системы зажигания и электрооборудования в металлический экран высокой проводимости, который область распростране-

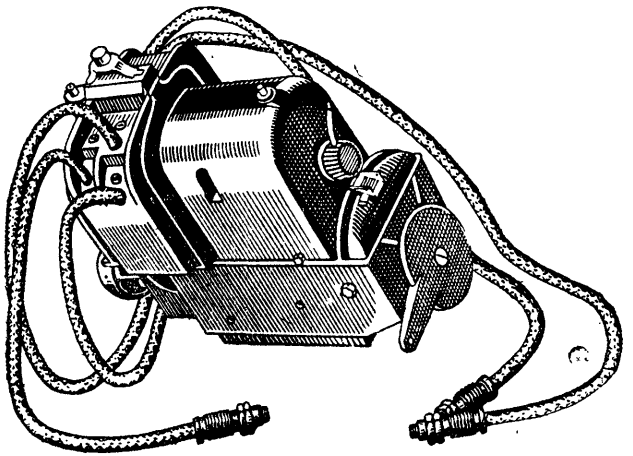


Рис. 305. Экранированное магнето АТЭ с присоединенными к нему магнетными проводами и свечами, тоже экранированными

ния электромагнитного поля помех ограничивает только внутренним объемом экрана и не допускает воздействия их на радиоприемник.

В основу надежного экранирования должны быть положены следующие требования:

а) полное устранение помех радиоприему;

б) механическая прочность экранирующих устройств, т. е. экранирование с течением времени не должно нарушаться;

в) применение экранирования не должно уменьшать надежности действия системы зажигания и электрооборудования, а также не должно усложнять его обслуживания, осмотра, ремонта и замены;

г) отдельные части экранирующей системы должны быть просты и дешевы в производстве.

Экранирование выполняется в виде красномедных или железных кожухов, надеваемых на те детали электрооборудования и зажига-

ния, которые являются источником помех. В случае применения железных кожухов они должны быть предохранены от ржавчины.

Форма кожухов определяется той деталью, на которую такой кожух надевается. Если деталь или отдельная часть электрооборудования имеет наружный металлический корпус, контактирующий с землей или корпусом всей машины, то экранирующий кожух устанавливается только на открытых местах детали; при этом плотность соприкосновения экрана с корпусом и их электрический контакт должны быть максимальными. Обычно экранируются свечи, магнетные провода и щеки магнето, как основного, так и пускового, если последнее имеется.

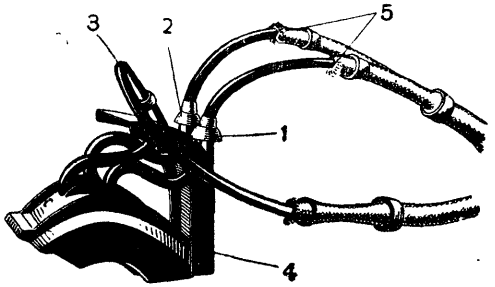


Рис. 306. Экранировка щеки магнето:
1, 2 и 3 — наконечники для присоединения экранированных магнетных проводов, 4 — экран на щеку магнето и 5 — оплетка магнетного провода

Для экранировки магнетных проводов поверх них надевается металлический плетеный чулок, плотно подсоединяемый с помощью двух конических втулок и гайки к экрану магнето с одного конца и к экрану свечи с другого конца.

На рис. 305 показано экранирование магнето АТЭ с подключенными к нему магнетными проводами и экранированными свечами.

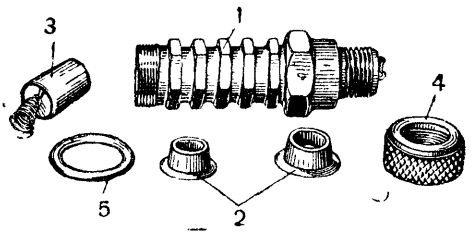


Рис. 307. Экранированная свеча:
1 — экранированный корпус свечи, 2 — втулки для закрепления оплетки магнетных проводов, 3 — изолятор и контактная шайба с пружиной, 4 — гайка и 5 — уплотняющее кольцо под свечу

На рис. 306 экранировка щеки магнето показана отдельно.

Свечи экранируются с помощью колпачков, надеваемых на обыкновенную свечу, или же выполняются экранированными.

На рис. 307 показана экранированная свеча. От обычной свечи она отличается тем, что поверх изоляции имеет ребристый металлический корпус. Через отверстие в верхнем обрезе корпуса присоединяется магнетный провод к контактной шайбе с пружиной. Оплетка проводов зажимается между двумя втулками.

Весьма важно, чтобы ток от свечи к магнето проходил не через массу мотора, а по металлическому экрану магнетного провода; для этого экран должен иметь надежный контакт как с корпусом магнето, так и с корпусом свечи.

Емкость каждого отдельного магнетного провода в приведенных выше экранирующих устройствах составляет 160 микрофарад, что по сравнению с неэкранированным проводом, имеющим емкость 80—100 микрофарад, составляет незначительное

увеличение. Такое увеличение емкости, как показывает практика, не может существенно повлиять на надежность зажигания.

Экранирование системы зажигания обходится сравнительно дорого, поэтому весьма часто в автомобилях применяют другой способ борьбы с помехами радиоприему: включение сопротивления в цепь, создающую помехи.

Действительно, если в цепь зажигания у свечи и у распределителя включить сопротивление по 20 000—30 000 омов, то, рассматривая магнетный провод как антенну, можно утверждать, что колебания в нем возникнуть не могут, так как цепь вследствие большого сопротивления из колебательной сделалась апериодической (неколебательной).

Практически такие сопротивления делаются на 20 000—30 000 омов и выполняются в виде наконечника, соединяющегося с одного конца с магнетным проводом и с другого — со свечей.

Такой наконечник может разбираться, и в случае неисправности сопротивления последнее может быть заменено. Сопротивления делаются или из проволоки, или из массы; цилиндрический корпус их изготовляется из изолирующего теплостойкого материала. Выполненное таким образом сопротивление получило название с о п р э с о р а, т. е. глушителя помех.

Величина сопротивления 20 000—30 000 омов, обеспечивая подавление помех, несколько уменьшает напряжение зажигания.

Однако такой способ подавления помех применим только в автомобилях. В танках же и самолетах надежность зажигания не должна быть уменьшаема, поэтому экранирование является единственным способом борьбы с помехами для танков и самолетов.

Необходимость избавления от электрических помех автомобиля является важной, так как автомобили, проходящие по дороге мимо приемника, расположенного вблизи, будут сильно мешать приему, особенно на коротких и ультракоротких волнах. Поэтому при расположении приемника вблизи шоссе или места, где часто ходят автомобили, наименьшим допустимым удалением приемника от дороги будет 0,33—0,5 *км*. На этом расстоянии, как показал опыт, помехи автомобиля не сказываются.

Для устранения помех от коллектора динамо на зажимы последней ставится фильтр из конденсаторов. Конструкция динамомашин, применяющихся на самолетах, автомобилях и танках, обычно такова, что полностью экранирует всю внутреннюю токонесущую часть их. Однако полное экранирование динамомашины недостаточно, так как помехи могут причиняться идущими от нее проводами. Поэтому делают экранировку всех проводов с помощью металлической оплетки — чулка, надеваемого на провода. Оплетка проводов должна подсоединяться к корпусу машины (заземляться), чтобы все индукционные токи могли уходить на корпус, не давая вторичной искры. Вибрационный регулятор напряжения, дающий искру во время работы, также должен быть экранирован, равно как и провода, которые к нему подходят. Подобная же экранировка должна быть на

всех переключателях как высокого, так и низкого напряжения.

Иногда для устранения помех от коллектора динамомашины или умформера применяют фильтры. Назначение фильтра — задерживать мешающие воздействия от коллектора и отводить их на землю (корпус). Такой фильтр представляет собой две катушки самоиндукции (без железа) *1* и *2*, включенные в цепь проводов, идущих от динамо (рис. 308). Коэфициент самоиндукции катушки берется обычно в пределах 80 000—100 000 *см*. Вход фильтра подключается к зажимам динамо проводами не длиннее 200 *мм*. На выходе фильтра ставятся два конденсатора *3* и *4* по 0,2—0,5 микрофарады. Общая точка этих конденсаторов присоединяется к металлическому ящику-экрану, в котором монтируются упомянутые катушки и конденсаторы.

Ящик-экран выполняется обычно из листового железа и имеет открывающуюся крышку для доступа к монтажу. На боковых

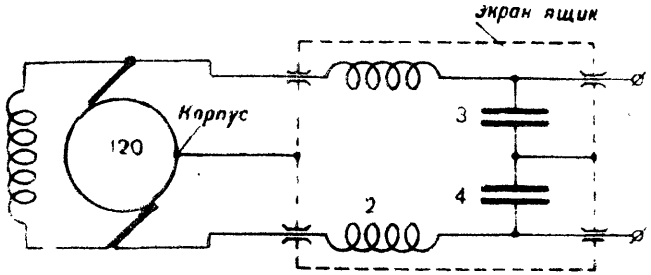


Рис. 308. Фильтр для устранения помех от динамомашины

стенках ящика-экрана помещаются зажимы, изолированные от ящика с помощью втулок. Два из этих зажимов подсоединяются к динамо, два другие идут к потребителю. Непременным условием хорошей работы такого фильтра является электрический контакт между корпусом динамо и ящиком-экраном. Такой контакт достигается припайкой провода с одной стороны к станине динамо и с другой—к ящику-экрану.

Для устранения влияния магнитного поля одной катушки на другую их разделяют железным экраном, соблюдая при этом условие, чтобы расстояние между экраном и катушкой было не менее 20 *мм*. Такое расстояние выдерживается и от наружных стенок ящика-экрана до катушек.

Только при весьма тщательном выполнении всех экранирующих устройств и при присоединении их к корпусу машины (заземление) помехи могут быть устранены полностью. Особое внимание должно быть обращено на надежность и постоянство контакта между экранирующей покрышкой (экраном) и корпусом экранируемого прибора, например в свече контакт между колпачком и металлическим корпусом свечи с одной стороны — между оплеткой магнетного провода и металлическим кожухом колпачка — с другой. Контакт должен быть по-

стоянным и не должен нарушаться при тряске и толчках, иначе возникает в этом месте вторичная искра от наведенной в экране э. д. с. и будут помехи приему.

Для предупреждения появления вторичной искры рекомендуется экранированные магнетные провода через каждые 250 *мм* присоединять к корпусу машины (заземлять) с помощью скоб или коротких голых медных проводов, обмотанных вокруг оплетки магнетного провода и присоединенных под ближайшую гайку корпуса.

Хорошо выполненное экранирование отнюдь не понижает надежности зажигания, но, как и всякий прибор, требует постоянного ухода и заботливого обслуживания.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Какие помехи радиоприему вы знаете?
2. В чем состоит сущность звуковых помех?
3. Укажите природу электрических помех от зажигания и электрооборудования в самолетах и автомашинах.
4. Какие меры принимаются для защиты от звуковых помех при радиопередаче и радиоприеме?
5. Для чего необходимо экранирование системы зажигания?
6. Как экранируются магнетные провода?
7. Какими двумя способами экранируются свечи зажигания?
8. Как экранируется магнето?
9. Почему экранированная система зажигания перестает мешать радиоприему?
10. Каковы меры борьбы с электрическими помехами от динамомашины?
11. Каково устройство фильтров от помех динамомашины?

Сдано в производство 17.X.37.
Подписано к печати 27.XII.37.
Формат бумаги 62×90/16.

Объем 20 п. л., 22,692 авт. л.
В бум. листе 95.300 знаков.

Уполном. Главлита № Г—7524. Изд. № 393. Зак. № 3930.

Цена книги 3 руб., переплета 60 коп.
Текст отпечатан на бумаге Окуловской ф-ки.

Адрес изд-ва: Москва, Орликов пер., д. 3.

Отпечатано во 2-й типографии Государственного военного изд-ва НКО СССР имени К. Ворошилова. Ленинград, улица Герцена, 1.

БЕСПЛАТНЫЕ УЧЕБНИКИ ВРЕМЕН СССР

БОЛЬШАЯ БИБЛИОТЕКА

НА САЙТЕ

«СОВЕТСКОЕ ВРЕМЯ»

SOVIETIME.RU

СКАЧАТЬ