

Глава 1

ВВЕДЕНИЕ

§ 1.1. Предмет и задачи курса

Курс «Теоретические основы радиотехники» преследует две цели: во-первых, дать общее представление о радиотехнике с тем, чтобы при дальнейшем изучении различных ее разделов в специальных курсах, уже имелось представление о ней в целом и, во-вторых, дать теорию и описание основных процессов, широко используемых в радиотехнической аппаратуре.

В настоящее время радиотехника занимается очень широким кругом вопросов: беспроводной передачей телеграмм (радиотелеграфия), звука (радиотелефония и радиовещание), подвижных и неподвижных изображений (телевидение и фототелеграфия); передачей и приемом сигналов, позволяющих судну или самолету определить свое местоположение и курс следования (радионавигация); вопросами обнаружения в пространстве с помощью радиосигналов различных объектов, как например, самолетов, судов и подводных лодок (радиолокация); прогревом токами высокой частоты различных предметов в целях сушки, поверхностной закалки и плавки; использованием электрических колебаний высокой частоты в медицине и т. д.

Для предварительного ознакомления с радиотехникой в последующих параграфах этой главы дается краткое описание используемых в ней основных процессов.

§ 1.2. Первые попытки телеграфной передачи без проводов с помощью электричества

Развитие радиотехники началось с изобретения радиотелеграфии А.С. Поповым в 1895 г., чему предшествовало изобретение телеграфии по проводам и многочисленные безуспешные попытки осуществления телеграфной передачи без проводов с помощью электричества.

Первый электромагнитный телеграфный аппарат был изобретен в 1832 г. в России русским ученым Павлом Львовичем Шиллингом. Передача сообщений производилась путем посылки по проводам электрических токов разного направления, причем каждой букве алфавита соответствовала определенная комбинация посылаемых токов. На приемном пункте сигналы принимались по отклонению магнитной стрелки

под действием приходящего тока. Вслед за этим изобретением появились и другие телеграфные аппараты, использующие также магнитное действие тока.

Необходимость связывать место передачи с местом приема, хотя бы одним проводом (в качестве второго провода можно использовать землю), приносила много неудобств. Поэтому уже в сороковых годах XIX века начались попытки осуществить передачу телеграфных сигналов на расстояние без проводов. Естественно, возник вопрос, нельзя ли для этой цели воспользоваться электрическим или магнитным полем, создаваемым заряженными телами или электромагнитами. Однако простые рассуждения показывают, что это поле очень быстро убывает по мере удаления от источника и поэтому не может быть использовано для передачи сигналов на значительное расстояние. В самом деле, электрическое поле заряженного тела убывает обратно пропорционально квадрату расстояния. Кроме того, это поле будет еще дополнительно ослабляться влиянием земли. Действительно, как известно из основ электротехники, заряд, расположенный над землей, будет наводить на ее поверхности такой же заряд противоположного знака. В результате этого на большом расстоянии от этих зарядов будут создаваться почти одинаковые, но противоположные по направлению поля, что вызовет дополнительное ослабление результирующего поля. Расчет показывает, что это поле будет ослабляться при больших расстояниях примерно обратно пропорционально кубу расстояния от источника. Магнитное поле от магнитов и электромагнитов, поскольку они обязательно имеют полюсы противоположного знака, убывает столь же быстро.

Быстрое убывание напряженности электрического и магнитного поля (пропорционально кубу расстояния) привело к провалу многочисленных попытки передачи сигналов без проводов, с помощью таких полей, даже на сравнительно малые расстояния (порядка нескольких километров).

§ 1.3. Поле излучения

Осуществить передачу сигналов без проводов на большие расстояния оказалось возможным лишь после того, как на основании теоретического обобщения экспериментальных данных по электричеству и магнетизму было открыто электромагнитное поле излучения, напряженность которого убывает в свободном пространстве пропорционально первой степени расстояния от источника.

Как известно, перемещающееся в пространстве магнитное поле создает электрическое поле и наоборот. Действительно, пусть в поле магнита (рис. 1.1) находится проводник AB , расположенный перпендикулярно магнитным линиям индукции. Если этот проводник двигать

в направлении перпендикулярном его оси и магнитному полю со скоростью v , то в нем появится, как известно, эдс, которая будет равна ¹⁾

$$e = Bvl = \mu Hvl,$$

где v — скорость движения, B — индукция, H — напряженность магнитного поля, μ — магнитная проницаемость, l — длина части проводника AB , находящейся в магнитном поле.

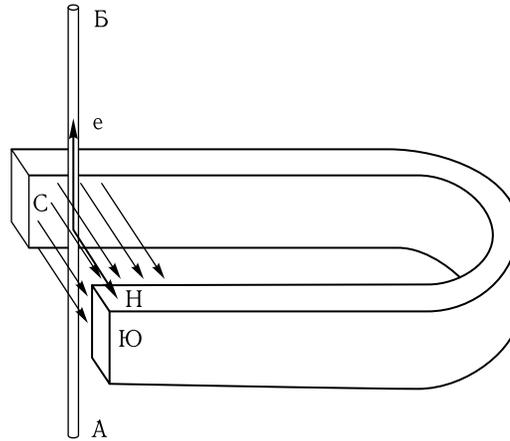


Рис. 1.1. Возникновение эдс e в проводе AB и электрического поля при движении магнитного поля

Направление эдс можно найти по правилу правой руки. Если предположить, что проводник будет двигаться влево, то эдс будет направлена вверх, как это показано на рис. 1.1 стрелкой.

Если теперь, наоборот, провод оставить неподвижным, а двигать магнит в обратную сторону (т. е. вправо), то, очевидно, в проводе будет наводиться та же эдс. Таким образом, заряд q , проходя по проводнику в сторону, обратную эдс, будет совершать работу

$$qe = q\mu Hvl$$

и, следовательно, на этот заряд будет действовать сила

$$\frac{qe}{l} = q\mu Hv,$$

а на единицу заряда придется сила

$$\boxed{E = \mu Hv.} \quad (1.1)$$

¹⁾ Здесь и ниже используется практическая система единиц. В некоторых, особо оговоренных, случаях в качестве единицы длины берется не метр, а сантиметр.

Но сила на единицу электрического заряда есть напряженность электрического поля. Таким образом, если магнитное поле движется в направлении, перпендикулярном его силовым линиям, то оно вызывает электрическое поле, перпендикулярное магнитному полю и движению. Напряженность этого поля будет определяться выражением (1.1), а направление указано на рис. 1.2 (он соответствует рис. 1.1).

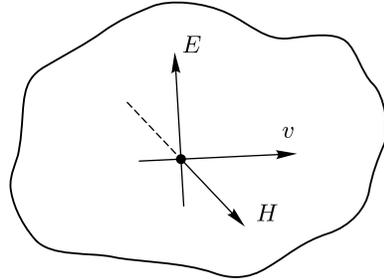


Рис. 1.2. Направление электрического поля E , возникающего при движении магнитного поля H в направлении v , и направление магнитного поля при движении электрического в том же направлении v

Рассмотрим теперь движение электрического поля. Пусть заряженный положительным электричеством бесконечный цилиндр (рис. 1.3) движется вдоль своей оси в направлении стрелки. Пусть заряд на единицу длины этого цилиндра будет q_1 . Тогда за единицу времени через сечение, перпендикулярное оси цилиндра, будет проходить количество электричества $q_1 v$, т. е. будет течь электрический ток, равный $i = q_1 v$.

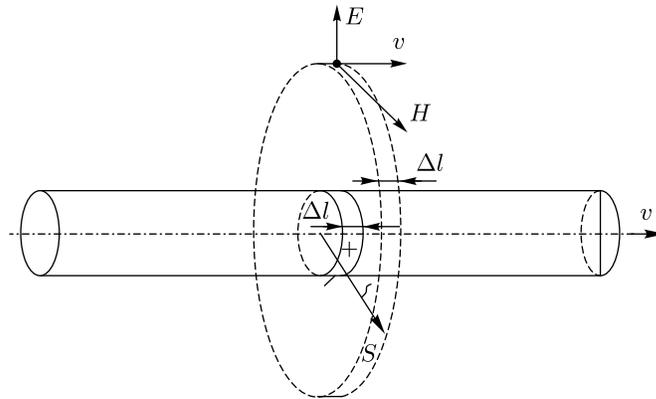


Рис. 1.3. Создание движущимся электрическим полем цилиндра магнитного поля

Напряженность магнитного поля на некотором расстоянии r от оси цилиндра может быть определена по закону полного тока на основании уравнения

$$2\pi r H = i = q_1 v,$$

откуда

$$H = \frac{q_1 v}{2\pi r}. \quad (1.2)$$

Направление H может быть найдено по правилу буравчика, оно показано на рис. 1.3 стрелкой. Число силовых линий электрического поля, выходящих из элемента длины цилиндра Δl , будет равно

$$\frac{q_1 \Delta l}{\varepsilon},$$

где ε — диэлектрическая проницаемость среды.

Эти силовые линии на расстоянии r от оси цилиндра дуг пересекают площадь

$$S = 2\pi r \Delta l,$$

откуда напряженность электрического поля на расстоянии r от оси цилиндра, равная числу силовых линий на единицу площади, будет равна

$$E = \frac{q_1 \Delta l}{\varepsilon 2\pi r \Delta l} = \frac{q_1}{\varepsilon 2\pi r}.$$

Подставляя это выражение в (1.2), получим

$$\boxed{H = \varepsilon E v}. \quad (1.3)$$

Можно предположить, что это магнитное поле не прямо вызвано током, т. е. движением заряда, а создается в каждой точке электрическим полем E , движущимся вместе с зарядом со скоростью v . Зависимость (1.3) мы установили на частном случае, однако, если считать, что магнитное поле всегда вызывается движением электрического поля, то эта зависимость должна сохраняться и в других случаях.

Следовательно, если электрическое поле движется в направлении, перпендикулярном его силовым линиям, то оно вызовет магнитное поле, перпендикулярное электрическому полю и направлению движения. Напряженность этого поля определяется ф-лой (1.3), а направление соответствует рис. 1.2. Таким образом, движущееся электрическое поле создает магнитное поле и, наоборот, движущееся магнитное поле создает электрическое.

Могут создаваться такие условия, при которых электрическое и магнитное поля, двигаясь в пространстве, будут поддерживать друг друга, существуя независимо от каких-либо электрических токов и зарядов. Действительно, если рассмотреть электромагнитное поле, изображенное на рис. 1.2, в котором электрические и магнитные составляющие перпендикулярны друг другу и перпендикулярны направлению их движения, и предположить, что в этом поле магнитная составляющая

поддерживается только движением электрической составляющей поля, то в соответствии с (1.3) ее напряженность будет равна:

$$H = \varepsilon E v.$$

Если теперь предположить, что электрическая составляющая поля поддерживается только движущейся магнитной составляющей поля, то в соответствии с (1.1)

$$E = \mu H v = \mu \varepsilon E v^2.$$

Сокращая это выражение на E , получим, что электрическая и магнитная составляющие поля могут существовать, поддерживая друг друга без внешних источников, если удовлетворяется равенство

$$1 = \mu \varepsilon v^2,$$

т. е., если они движутся со скоростью

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu \varepsilon}}. \quad (1.4)$$

Подсчитаем эту скорость при условии, что поле распространяется в вакууме.

Для вакуума:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 = 0,0886 \cdot 10^{-1} \frac{\text{Ф}}{\text{М}},$$

$$\mu = \mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Гн}}{\text{М}},$$

откуда

$$v = 2,998 \cdot 10^8 \frac{\text{М}}{\text{с}} = c, \quad (1.5)$$

т. е. скорость движения электромагнитного поля, в котором электрическая и магнитная составляющие взаимно поддерживают друг друга, должна равняться скорости света. Такое поле, созданное с помощью движения электрических зарядов, может существовать затем независимо от этих зарядов. Это электромагнитное поле называется полем излучения.

Между напряженностями электрической и магнитной составляющих поля излучения в вакууме, как это следует из ф-л (1.1) и (1.4), существует зависимость

$$\frac{E}{H} = \mu c = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = 377 \frac{\text{В/М}}{\text{А/М}} = 377 \text{ Ом}. \quad (1.6)$$

¹⁾ Условные обозначения единиц, используемые в этой книге, см. в приложении 12.

Возможность существования таких полей была доказана Максвеллом в опубликованном в 1873 г. «Трактате по электричеству и магнетизму» на основании теоретического обобщения накопленного к тому времени экспериментального материала. Максвелл показал также, что свет является электромагнитным полем излучения.



Рис. 1.4.
Диполь

Работы Максвелла, касающиеся электромагнитного поля излучения, не получили широкого распространения, пока Г. Герц в 1888 г. не опубликовал свои, основанные на этих работах, исследования поля излучения диполя. Герц доказал теоретически и экспериментально, что если взять два металлических шарика (рис. 1.4), соединенных проводом (так называемый диполь), и быстро их перезарядить, то вокруг такого диполя образуется поле излучения. На рис. 1.5 изображены электрические силовые линии поля, образующиеся при перезаряде диполя по синусоидальному закону, для различных моментов времени¹⁾. По ним можно проследить образование поля излучения. На рис. 1.5 изображен в уменьшенном размере тот же диполь, что и на рис. 1.4. В момент времени, которому соответствует рис. 1.5а, по диполю начинает протекать синусоидальный ток, заряжающий верхний шарик положительным зарядом, а нижний — отрицательным. Эти заряды создают вокруг диполя электрическое поле, которое будет заполнять все большее и большее пространство вокруг диполя по мере увеличения заряда шариков (рис. 1.5а, б, в и г; рис. 1.5г соответствует максимальному заряду). Поскольку поле диполя симметрично, на рис. 1.5б, 1.5в и последующих изображена лишь одна четвертая часть пространства. На этих рисунках графически показана (кружочком на синусоиде) величина заряда на диполе в данный момент времени.

Зарядный ток и движущееся электрическое поле создают вокруг диполя магнитное поле, силовые линии которого представляют ряд концентрических окружностей с центрами на оси диполя. Сечение этих силовых линий плоскостью чертежа показано кружочками²⁾. Магнитное поле, заполняя пространство вокруг диполя, будет, как указано выше, влиять на образование электрического поля.

При уменьшении заряда диполя часть электрических силовых линий, находящихся вблизи диполя, будет стягиваться к нему, внешняя же часть, которая создается в основном движущимся магнитным полем, будет продолжать удаляться от диполя, поддерживая этим движением, в свою очередь, движущееся магнитное поле. В результате этого процесса при уменьшении заряда диполя в электрических

¹⁾ Эти рисунки взяты из работы КХ И. Лещанского (см. «Труды студенческого научно-технического общества МЭИ им. В.М. Молотова» 1948 г., вып. II).

²⁾ В тех случаях, когда магнитные силовые линии направлены от нас, они обозначаются крестиками, а когда к нам — точками.

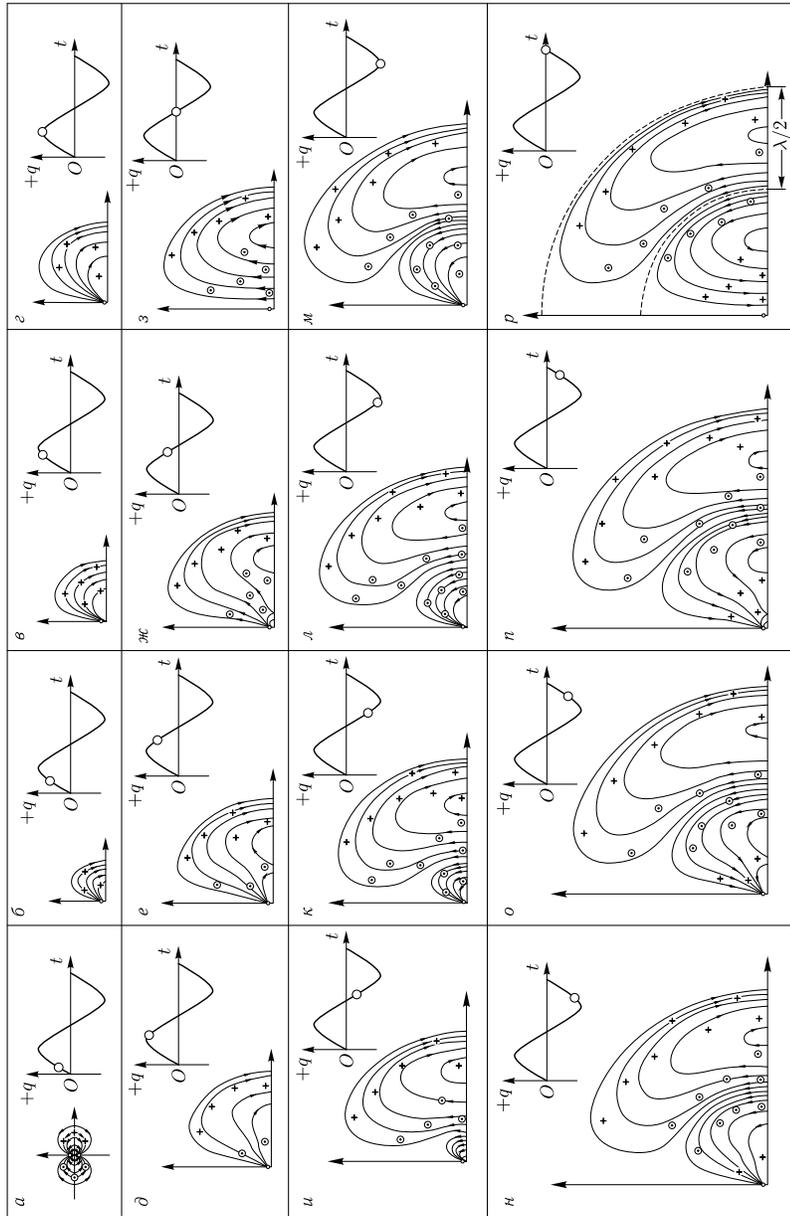


Рис. 1.5. Поле излучения диполя

силовых линиях образуются выемки (рис. 1.5*д*) в местах, в которых затем получается «отрыв» силовых линий (рис. 1.5*е*, 1.5*ж*). Появление выемок объясняется воздействием на электрическое поле движущегося магнитного поля, которое при разряде вблизи диполя меняет свой знак вместе с направлением тока, что в соответствии с рис. 1.2 будет создавать составляющую электрического поля, направленную вверх; эта составляющая и создаст выемку. Оторвавшиеся силовые линии продолжают вместе со связанным с ними магнитным полем удаляться от диполя, а силовые линии, оставшиеся у диполя, стягиваются к нему.

Когда заряд диполя станет равным нулю, электрических силовых линий, связанных с диполем, не останется (рис. 1.5*з*). Оставшиеся линии будут поддерживаться движущимся магнитным полем. В следующую четверть периода, когда диполь будет заряжаться с обратной полярностью, вокруг него снова образуются силовые линии; при этом линии, «оторвавшиеся» ранее, будут продолжать удаляться от диполя (рис. 1.5*и*, *к*, *л*, *м*). Далее, когда диполь будет разряжаться, снова будет происходить «отрыв» силовых линий (рис. 1.5*н*, *о*, *п*, *р*) и т. д.

Процесс образования новых партий «оторвавшихся» силовых линий будет происходить каждые полпериода изменения заряда диполя. «Оторвавшиеся» силовые линии являются полем излучения. Они также называются радиоволнами или электромагнитными волнами.

Минимальное расстояние между двумя точками, удаленными от диполя, в которых напряженность поля электромагнитной волны имеет одну и ту же фазу, называется длиной волны (рис. 1.5*р*). Последняя обычно обозначается буквой λ . Длина волны в вакууме связана с частотой f и периодом T изменения тока в диполе формулой:

$$\lambda = \frac{c}{f} = cT,$$

где

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ м/с} — \text{ скорость света.}$$

Чем больше размеры диполя и чем больше частота, с которой перезаряжается диполь, тем при том же токе диполя будет больше мощность создаваемого им электромагнитного поля излучения.

Неподвижные заряды и постоянный ток поля излучения не создают. Оно появляется лишь при изменении тока, когда поля, создаваемые им, начинают двигаться в пространстве. Эксперимент и теоретические исследования показывают, что излучение становится практически существенным, если размеры диполя будут соизмеримы с длиной волны колебания. Так, для того, чтобы иметь хорошее излучение на частоте промышленного тока в 50 Гц, которой соответствует длина волны

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{50} = 6 \cdot 10^6 \text{ м} = 6000 \text{ км,}$$

необходимо было бы иметь диполь размером в тысячи километров. В то же время на частоте $10\,000\text{ МГц} = 10^{10}\text{ Гц}$, что соответствует длине волны

$$\frac{3 \cdot 10^8}{10^{10}} = 0,03\text{ м} = 3\text{ см},$$

хорошее излучение может быть получено от диполя длиной в несколько сантиметров.

Напряженность электромагнитного поля излучения убывает пропорционально первой степени расстояния от его источника, а энергия поля в единице объема убывает пропорционально квадрату расстояния (так же, как и при распространении световых колебаний). Этим электромагнитное поле излучения выгодно отличается от электростатического и магнитостатического поля, напряженность которых, как было указано, убывает пропорционально кубу расстояния, а энергия — пропорционально шестой степени расстояния.

Сказанное можно пояснить следующим образом. Возьмем элемент поля излучения, занимающий объем (рис. 1.6)

$$dV_1 = r_1 d\varphi r_1 d\psi dr = r_1^2 d\varphi d\psi dr.$$

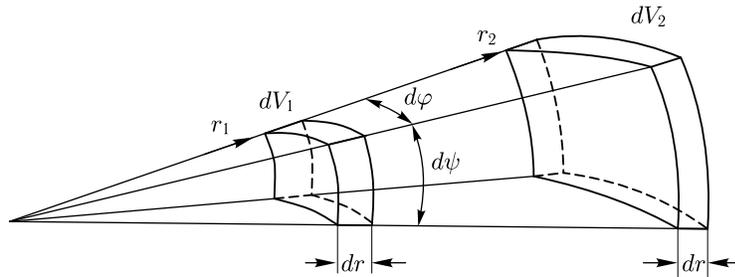


Рис. 1.6. Ослабление поля излучения с расстоянием

Энергия поля в нем будет равна:

$$dW_1 = \left(\frac{\varepsilon E_1^2}{2} + \frac{\mu H_1^2}{2} \right) r_1^2 d\varphi d\psi dr,$$

где E_1 и H_1 — напряженности электрической и магнитной составляющей поля излучения. Учитывая (1.6), получим

$$dW_1 = \varepsilon E_1^2 r_1^2 d\varphi d\psi dr.$$

Через некоторое время, двигаясь со скоростью света, это поле займет объем dV_2 , причем энергия его должна остаться той же. Поэтому

$$dW_2 = \varepsilon E_2^2 r_2^2 d\varphi d\psi dr = dW_1 = \varepsilon E_1^2 r_1^2 d\varphi d\psi dr,$$

где E_2 — напряженность электрической составляющей поля в объеме dV_2 . Из этого равенства с учетом (1.6) следует

$$\frac{E_2}{E_1} = \frac{H_2}{H_1} = \frac{r_1}{r_2},$$

где H_2 — напряженность магнитного поля в объеме dV_2 . Таким образом, напряженность поля излучения будет убывать обратно пропорционально расстоянию.

Вследствие сравнительно слабого уменьшения напряженности электромагнитного поля излучения с расстоянием, для передачи сигналов без проводов в радиотехнике используют исключительно это поле. Так как это поле практически хорошо создается лишь при высоких частотах, в радиотехнике для создания поля излучения используют колебания с частотами в диапазоне от $3 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^{10}$ Гц.

Применение столь широкого диапазона частот обуславливается еще и тем, что это облегчает, как мы увидим дальше, разделение в приемном устройстве колебаний большого числа одновременно работающих радиостанций.

§ 1.4. Изобретение радио А.С. Поповым. Первая радиотелеграфная связь

Хотя Герц и доказал экспериментально существование полей излучения, однако он не пошел дальше исследования электромагнитного поля в пределах одной комнаты. После Герца многие ученые повторяли его опыты, однако никто из них не смог создать приборов, пригодных для передачи сигналов электромагнитным полем излучения на сколько-нибудь значительное расстояние. Причиной этого являлись большие трудности в создании достаточно чувствительного и устойчиво работающего прибора для обнаружения поля излучения на значительных расстояниях от излучателя.

Изобретение радио и первые в мире радиотелеграфные аппараты были сделаны русским ученым Александром Степановичем Поповым. А.С. Попов родился в 1859 г. В 1882 г. он блестяще окончил университет и в 1883 г. начал работать преподавателем Минной школы в Кронштадте, где и проводил свои работы по созданию радио. Уже в 1889 г. Александр Степанович Попов оценил возможности, которые открывает использование поля излучения. Он тогда же высказал следующую мысль: «Человеческий организм не имеет еще такого органа чувств, который замечал бы электрические волны в эфире; если бы изобрести такой прибор, который заменил бы нам электромагнитные чувства, то его можно было бы применить к передаче сигналов на расстояние».

Испробовав различные методы обнаружения электромагнитных волн, А.С. Попов совместно со своим сотрудником П.Н. Рыбкиным создал прибор для обнаружения слабых электромагнитных полей излучения. Прибор регистрировал электромагнитное поле излучения

грозовых разрядов на значительных расстояниях и был назван «грозо-отметчиком». 7 мая 1895 г. на заседании Русского физико-химического общества А.С. Попов продемонстрировал это устройство, т.е. первый в мире радиоприемник, используемый в дальнейшем в практической радиосвязи. День 7 мая 1895 г. и считается днем изобретения радио.

24 марта 1896 г. на заседании того же общества А.С. Попов продемонстрировал первую в мире радиотелеграфную связь на расстоянии 250 м. Усовершенствуя свою аппаратуру, А.С. Попов довел в 1899 г. дальность передачи до 45 км.

В начале 1900 г. радиосвязь была впервые применена практически в работах по снятию севшего на камни у о. Гогланд броненосца «Адмирал Апраксин». Во время этой операции благодаря радио удалось спасти жизнь группе рыбаков, находившихся на льдине, которую оторвало около о. Лавен-Сари.

А. С. Попову за его приборы была присуждена Большая золотая медаль на Международной электротехнической выставке в Париже в 1900 г.

Схема радиопередатчика А.С. Попова изображена на рис. 1.7. Рассмотрим процессы в этом радиопередатчике. При замыкании ключа K начинает работать индукционная катушка T . Проходящий при этом по ее первичной обмотке ток от батареи B будет намагничивать сердечник C . Это вызовет притяжение якоря $Я$ и размыкание им цепи, что поведет к прекращению тока в первичной обмотке и быстрому исчезновению магнитного поля. Затем якорь $Я$ отойдет обратно, цепь первичной обмотки замкнется и процесс повторится. Он будет повторяться до тех пор, пока замкнут ключ K . Каждый раз при быстром исчезновении магнитного поля, во вторичной обмотке, имеющей большое количество витков, возникает значительная эдс, которая будет заряжать провод A , подвешенный на некоторой высоте над землей (так называемую антенну), и шар $Ш_1$ до тех пор, пока не произойдет пробой между шарами $Ш_1$ и $Ш_2$ (шар $Ш_2$ соединен с землей). При этом шары замкнутся ионизированным каналом искры и произойдет разряд накопившихся в антенне и земле взаимно противоположных зарядов.

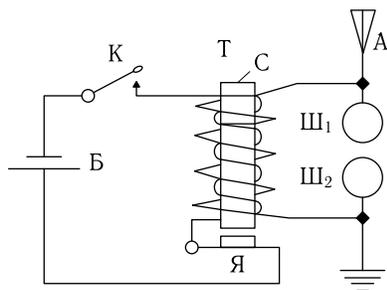


Рис. 1.7. Радиопередатчик А.С. Попова

Этот разряд имеет такой же колебательный характер, как и разряд конденсатора через катушку индуктивности. В данном случае роль конденсатора выполняет емкость между проводами антенны, а катушки индуктивности — индуктивность этих проводов. Частота колебаний разряда определяется индуктивностью и емкостью проводов антенны. В передатчике А.С. Попова она имела порядок нескольких мегагерц. Индуктивность индукционной катушки не влияет на частоту колебаний, так как она в это время оказывается замкнутой искрой.

Пока замкнут ключ и работает индукционная катушка, в антенне существуют периодически появляющиеся (при каждом разрыве первичной обмотки индукционной катушки) затухающие колебания. Происходящее при этом изменение заряда антенны во времени показано на рис. 1.8.

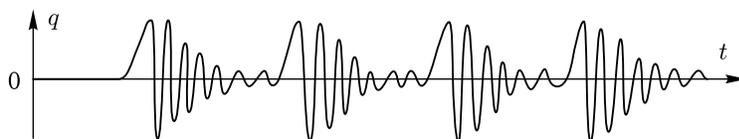


Рис. 1.8. Колебания заряда в антенне передатчика А.С. Попова

Так как частота колебаний получается большой, то вокруг антенны создается поле излучения. Такие радиопередатчики получили название искровых.

Схема радиоприемника А.С. Попова изображена на рис. 1.9. В этом приемнике использовался так называемый когерер — стеклянная трубка, наполненная металлическими опилками, в которую введены два электрода. Сопротивление опилок, находящихся между электродами, весьма велико, поскольку контакты между опилками плохие. Однако, если к электродам когерера приложить напряжение высокой частоты,

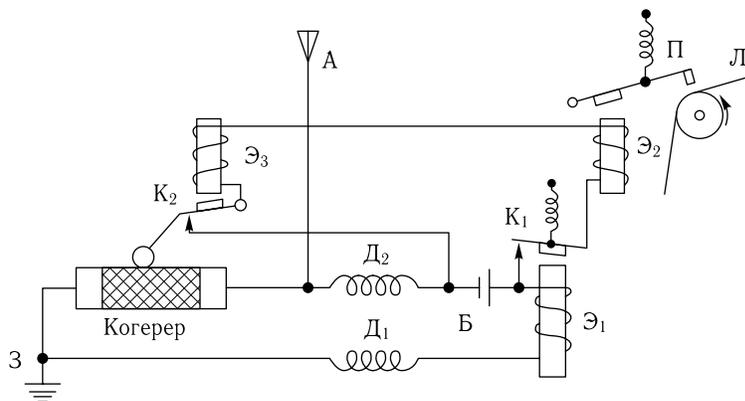


Рис. 1.9. Приемник А. С. Попова

то сопротивление опилок постоянному току резко падает, оставаясь малым и по прекращении действия высокочастотного напряжения, так как под действием колебания высокой частоты происходит пробой тонких изоляционных пленок между опилками и, возможно, их сваривание. Для восстановления большого сопротивления когерер необходимо встряхнуть.

Приходящие электромагнитные колебания создают в приемной антенне (проводах, расположенных над землей) ток высокой частоты, который протекает через антенну A и когерер в землю Z . В остальные цепи приемника этот ток не отвлекается, так как дроссели (катушки индуктивности) D_1 и D_2 представляют для тока высокой частоты большое реактивное сопротивление. Сопротивление когерера при протекании через него тока высокой частоты становится малым, вследствие чего по цепи от левой клеммы батареи B , через дроссель D_2 , когерер, дроссель D_1 , обмотку электромагнита \mathcal{E}_1 к правой клемме батареи B пойдет ток. Электромагнит \mathcal{E}_1 замыкает с помощью контакта K_1 цепь от правой клеммы батареи B , через электромагнит \mathcal{E}_2 , электромагнит \mathcal{E}_3 и контакт K_2 к деовой клемме батареи B . Электромагнит \mathcal{E}_3 работает как электрический звонок, ударяя молоточком по когереру и восстанавливая его высокое сопротивление. При этом ток в цепи когерера прерывается, но возникает вновь, если высокочастотные колебания продолжают действовать на антенну. Проводимость этой цепи не восстанавливается только по прекращении действия колебаний высокой частоты. При этом прекращается ток через электромагнит \mathcal{E}_1 , последний разрывает контактом K_1 цепь электромагнита \mathcal{E}_3 , и молоточек перестает ударять по когереру.

При замыкании контакта K_1 ток протекает через электромагнит \mathcal{E}_2 , который притягивает рычажок с пером P на конце. Это перо, прижимаясь к движущейся бумажной ленте L , чертит на ней линию, длина которой будет пропорциональна времени, в течение которого замкнут контакт K_1 . Таким образом, нажимая ключ K передатчика (рис. 1.7) на большее или меньшее время, мы будем вызывать этим запись линий большей или меньшей длины на ленте L приемника.

Буквы и знаки передавались с помощью комбинаций коротких и длинных линий (длинная линия равна трем коротким) по так называемой азбуке Морзе. Так например, букве A соответствовала комбинация короткой и длинной линии. На рис. 1.10 дана запись по этой азбуке слова «Москва».

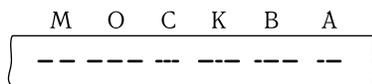


Рис. 1.10. Запись слова «Москва» по азбуке Морзе

Таким образом, А.С. Попов первый открыл возможности, раскрывающиеся перед техникой при использовании электромагнитного поля

излучения, и практически реализовал их, создав первые в мире приборы для беспроволочной связи.

Величие открытия Попова подчеркивается еще и тем, что исследованием электромагнитного поля излучения занимались такие известные ученые, как Герц, Бранли, Лодж и др. Однако ни один из них не считал возможным вынести свою аппаратуру за пределы лаборатории и применить электромагнитные волны для целей беспроволочной связи. Только гений великого русского ученого А.С. Попова смог поставить такую задачу и блестяще разрешить ее. Для этого А.С. Попову пришлось провести огромную работу. В частности, он усовершенствовал когерер, являвшийся до этого примитивным и неустойчивым лабораторным прибором, и сделал его надежным и весьма чувствительным приспособлением для обнаружения колебаний высокой частоты. А.С. Попов впервые применил автоматическое встряхивание когерера для восстановления его сопротивления. Он изобрел антенну, позволявшую усилить поле излучения передатчика и увеличить энергию, захватываемую из этого поля приемником; изобрел схему, позволявшую принимать и записывать слабые колебания высокой частоты. Много труда затратил А.С. Попов на усовершенствование конструкции радиопередатчика в целях увеличения мощности излучаемых им колебаний.

Осуществив первую радиосвязь, А.С. Попов заложил основы и дал повод для многочисленных дальнейших исследований, приведших к современному развитию радиотехники.

В дальнейшем А.С. Попов продолжал усовершенствовать свои передатчик и приемник, добиваясь увеличения дальности действия и повышения надежности радиосвязи.

В 1901 г. А.С. Попов был назначен профессором Электротехнического института в Петербурге (теперь Ленинградский электротехнический институт им. В.И. Ленина). В 1905 г. он был избран директором этого института. Умер А.С. Попов в 1906 г.

В дореволюционной России великое изобретение А.С. Попова не получило должного внимания и развития. Царское правительство из-за своей недалекости и косности не развивало собственную радиопромышленность, а сдавало заказы на производство радиоаппаратуры иностранным фирмам. Иностранные фирмы, оценив важность этого великого открытия и выгоды, которые сулит им организация производства радиоаппаратуры, приглашали А.С. Попова работать у них, за границей, но Александр Степанович, будучи патриотом своей Родины, ответил:

«Я русский человек и все свои знания, весь свой труд, все свои достижения я имею право отдавать только моей Родине. Пусть меня здесь не понимают, пусть некоторые даже глумятся надо мной, все же я горд тем, что родился русским. И если не современники, то может быть потомки наши поймут, сколь велика моя преданность нашей Родине и как счастлив я, что не за рубежом, а в России открыто новое средство связи».

§ 1.5. Распространение радиоволн различной длины

Радиоволны в однородном пространстве должны распространяться так же, как световые волны, т. е. прямолинейно, лишь слегка огибая препятствия вследствие дифракции. Поэтому в начальный период развития радиотехники считалось, что из-за кривизны земной поверхности радиоволны не могут служить для передачи сигналов на большие расстояния. Однако эксперименты вскоре показали несостоятельность этой теории; оказалось, что с помощью радиоволн удается передавать сигналы далеко за горизонт. Теорию пришлось дополнить, предположив, что где-то в атмосфере имеются электропроводящие слои (так называемая ионосфера), в которых имеются ионы и свободные электроны, и что эти слои могут преломлять и отражать радиоволны обратно на землю, позволяя им таким образом огибать земную поверхность. Последующие исследования подтвердили правильность этого предположения.

Наличие ионосферы обусловлено, главным образом, солнечным излучением, вызывающим образование свободных электронов и ионов в стратосфере. Плотность электронов и ионов на разных расстояниях от земли неравномерна: на определенных высотах наблюдаются слои, обладающие значительно большей концентрацией электронов и ионов, чем смежные с ними слои атмосферы.

Наибольшее значение имеют два слоя: так называемый слой *E*, находящийся на высоте 100–130 км от земной поверхности, и слой *F* на высоте 200–400 км (рис. 1.11). Высота этих слоев и степень их ионизации зависят от освещенности солнцем земли и, следовательно, претерпевают изменение в течение суток, при изменении времени года, а также с изменением солнечной активности, меняющейся примерно с одиннадцатилетним периодом. Днем, летом и в период максимальной активности солнца ионизация слоев, как правило, сильнее.

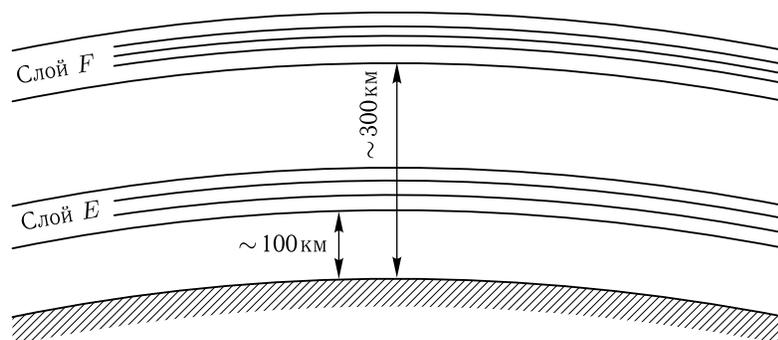


Рис. 1.11. Ионизированные слои

Под действием проходящей электромагнитной волны находящиеся в ионосфере свободные электроны и ионы приходят в колебательное движение. Создаваемое ими электромагнитное поле излучения взаимодействует с первоначальным полем, вызывая изменение направления движения волны, т.е. ее преломление и отражение. В ионосфере наблюдается также поглощение энергии волны, обусловленное столкновением колеблющихся электронов и ионов с частицами газа, которым они отдают свою энергию, полученную от электромагнитного поля. Эта энергия превращается в энергию беспорядочного движения молекул, т.е. в тепло. Чем больше ионизация, тем сильнее преломляются, отражаются и поглощаются радиоволны. Чем короче длина волны (больше частота), тем меньше амплитуда колебания электронов и ионов (благодаря их инерции) и тем меньше преломление и поглощение этих волн в ионосфере.

Рассмотрим распространение волн различной длины.

Используемый в радиотехнике диапазон волн условно подразделяется следующим образом:

- 1) длинные волны: $\lambda > 3000$ м ($f < 100$ кГц);
- 2) средние волны: 3000 м $\geq \lambda \geq 200$ м (100 кГц $\leq f \leq 1,5$ МГц);
- 3) промежуточные волны: 200 м $\geq \lambda \geq 50$ м ($1,5$ МГц $\leq f \leq 6$ МГц);
- 4) короткие волны: 50 м $\geq \lambda \geq 10$ м (6 МГц $\leq f \leq 30$ МГц);
- 5) ультракороткие волны:
 - а) метровые волны: 10 м $\geq \lambda \geq 1$ м (30 МГц $\leq f \leq 300$ МГц);
 - б) дециметровые волны: 1 м $\geq \lambda \geq 0,1$ м (300 МГц $\leq f \leq 3000$ МГц);
 - в) сантиметровые волны: 10 см $\geq \lambda \geq 1$ см (3000 МГц $\leq f \leq 30000$ МГц);
 - г) миллиметровые волны: 10 мм $\geq \lambda \geq 1$ мм (30000 МГц $\leq f \leq 300000$ МГц).

Чем меньше угол, под которым электромагнитная волна приходит к поверхности ионосферы, тем сильнее волна должна преломиться, чтобы вернуться обратно на землю.

Длинные и средние волны возвращаются обратно на землю при любых углах падения α на поверхность ионосферы, поскольку они испытывают в ионосфере сильное преломление (рис. 1.12). Однако волны этой длины, возвратившиеся обратно, бывают сильно ослаблены и рассчитывать на их прием можно лишь ночью, когда ионизация уменьшается. Днем эти волны распространяются за горизонт, огибая земную поверхность за счет диффракции, которая, усиливаясь с удлинением волны, на этих волнах влияет намного сильнее, чем на волнах более коротких.

Короткие волны преломляются ионосферой в меньшей степени, поэтому на землю возвращаются лишь те волны, которые падали на нее под достаточно большим углом α (рис. 1.13). Волны, падающие под малым углом, будут лишь несколько изменять направление своего движения и уйдут за пределы земной атмосферы.

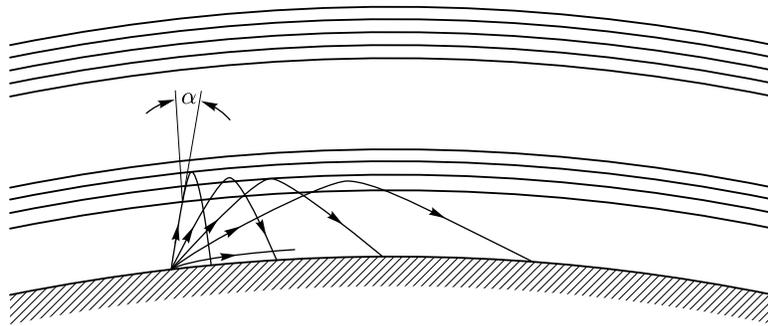


Рис. 1.12. Отражение от ионосферы длинных и средних волн

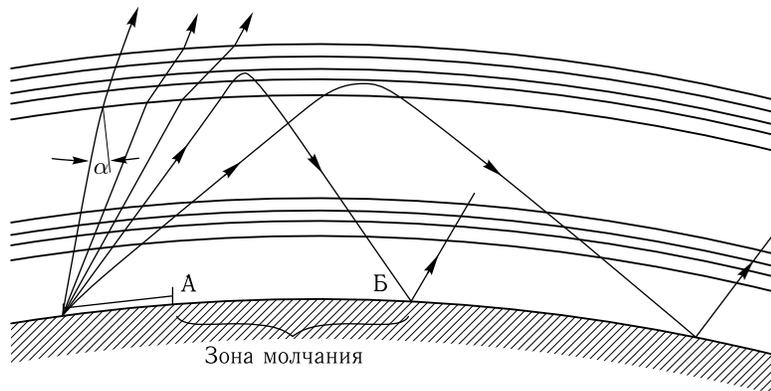


Рис. 1.13. Отражение от ионосферы коротких волн

В результате этого, как видно из рис. 1.13, на некотором расстоянии от радиостанции, где волны, идущие вдоль земной поверхности, сильно ослабнут (точка *A*), прием прекратится и окажется снова возможным лишь на некотором значительном расстоянии (точка *B*), куда будут приходить волны, отраженные от ионосферы. Участок *AB* называется зоной молчания. Чем короче волны, тем хуже они огибают земную поверхность за счет дифракции и тем ближе к радиостанции будет граница прекращения приема (точка *A*). С другой стороны, более короткие волны хуже преломляются ионосферой и поэтому граница возобновления приема (точка *B*) будет отодвинута дальше от станции. Таким образом, с укорочением волны зона молчания будет расширяться (сравните рис. 1.13 и соответствующий более короткой волне рис. 1.14). Зона молчания будет также расширяться при уменьшении ионизации (например ночью).

С укорочением волны уменьшается поглощение в ионосфере, поэтому при передаче сигналов на большое расстояние стараются выбирать

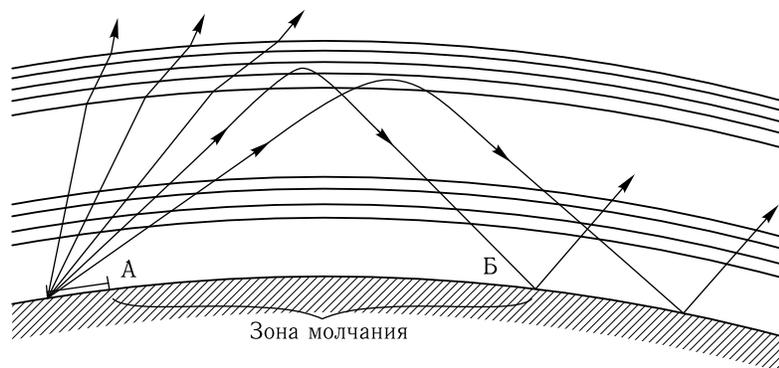


Рис. 1.14. Отражение от ионосферы коротких волн (более коротких, чем на рис. 1.13)

наиболее короткую волну из тех, которые, отразившись от ионосферы, наверняка будут приходить в точку приема.

Вначале дальность действия радиостанции определяли по границе, где кончается прием радиоволн (точка А на рис. 1.13 и 1.14), предполагая, что прием не возобновится при дальнейшем увеличении расстояния от радиостанции. При этом оказывалось, что чем длиннее волна, тем больше радиус действия радиостанции. По этой причине короткие волны, как мало эффективные, были переданы радиолюбителям. Последние вскоре обнаружили, что с помощью коротких волн можно передавать сигналы на очень большие расстояния при незначительных мощностях передатчиков. Это дало повод провести специальные исследования, которые показали и объяснили наличие зон молчания.

Ультракороткие (метровые, дециметровые и сантиметровые) волны преломляются ионосферой настолько мало (рис. 1.15), что обычно обратно на землю не возвращаются. Передача на этих волнах может

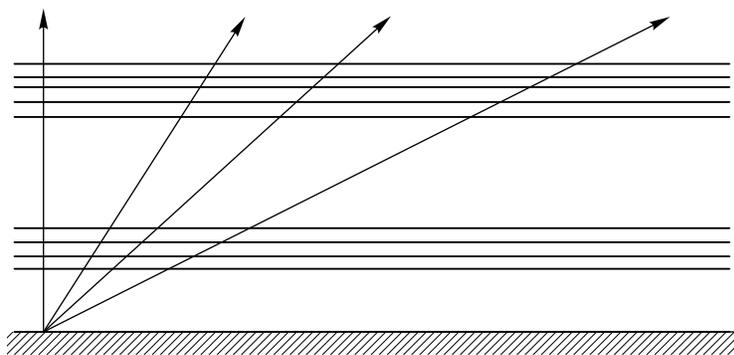


Рис. 1.15. Прохождение ультракоротких волн через ионосферу

осуществляться лишь в пределах прямой видимости с небольшим огибанием земной поверхности и встречных предметов, т. е. в пределах горизонта или несколько далее.

§ 1.6. Радиотелеграфия с применением электронных ламп

Искровые передатчики широко использовались до и во время Первой мировой войны. В настоящее время они почти не применяются. В современной радиотехнике для передачи и приема радиоволн применяются устройства, использующие электронные лампы.

На рис. 1.16 изображена схема простейшего усилителя электрических колебаний высокой частоты на трехэлектродной лампе. Трехэлектродная лампа состоит из баллона, в который впаяны три изолированных друг от друга электрода и из которого удален воздух. Один из электродов, катод K , раскаляется проходящим через него током от батареи B_n . Из раскаленного катода в окружающее пространство будут вылетать электроны, которые полетят на другой электрод — анод A , поскольку последний будет иметь положительное напряжение по отношению к катоду в результате действия батареи B_a . Между анодом и катодом располагают третий электрод — сетку C . Чем большее отрицательное напряжение по отношению к катоду будет подано на сетку от батареи B_c , тем сильнее она будет отталкивать электроны, вылетевшие из катода, обратно, тем меньше будет через нее пролетать электронов к аноду, тем меньше будет ток, текущий через анод (анодный ток).

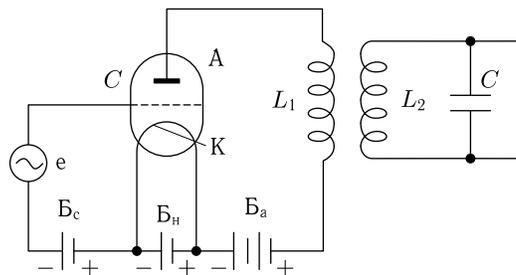


Рис. 1.16. Схема усилителя на трехэлектродной лампе

На сетку лампы в усилителе подают, помимо отрицательного напряжения от батареи B_c , напряжение e колебания, которое надо усилить. Это добавочное напряжение будет изменять напряжение сетки и тем самым менять силу анодного тока и, следовательно, магнитный поток катушки L_1 . Магнитный поток, изменяясь в такт с напряжением e и охватывая витки катушки L_2 , будет наводить в них эдс с частотой, равной частоте напряжения e .

Если контур L_2C настроить в резонанс на частоту напряжения e , то в нем будет течь большой ток и, следовательно, на конденсаторе C будет большое напряжение. Это напряжение может быть в десятки раз больше усиленного напряжения e .

Следует отметить, что при этом мощность, отдаваемая источником действующего на сетку переменного напряжения, будет много меньше мощности, выделяемой усиленными колебаниями в контуре L_2C . Дело в том, что напряжение на сетке лампы не создает ее анодный ток, а лишь управляет им, анодный же ток и колебания в контуре L_2C создаются за счет энергии, отдаваемой батареей B_a .

Можно уподобить лампу в этой схеме ключу, замыкающему некоторую электрическую цепь. Механическая сила, приводящая в движение ключ, не создает электрического тока в цепи, а лишь управляет им. Энергия, которая будет выделяться в этой цепи при замыкании ключа, будет идти за счет эдс этой цепи и может быть много больше энергии, затраченной на приведение в движение ключа, вызвавшего это замыкание.

Если даваемого одной лампой усиления недостаточно, то напряжение с конденсатора C подают на сетку другой лампы, включенной в такую же схему, и процесс усиления повторяют. Такой усилитель будет хорошо усиливать лишь колебания с частотами, близкими или равными резонансной частоте контура L_2C , т. е. он будет не только усиливать, но и выделять колебания желаемой частоты.

Рассмотренный усилитель можно использовать и как генератор колебаний высокой частоты. Для этого на сетку лампы вместо напряжения e нужно подать напряжение с конденсатора C (рис. 1.17). Если в контуре L_2C возникнут хотя бы ничтожные колебания, то они тотчас же передадутся на сетку лампы и вызовут изменение анодного тока, протекающего через катушку индуктивности.

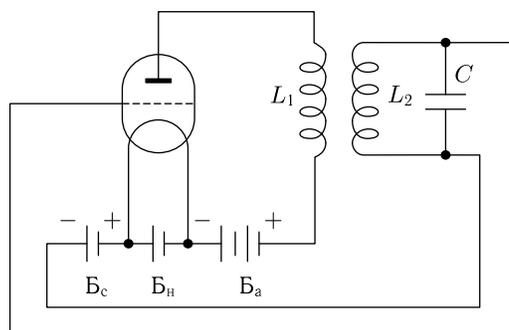


Рис. 1.17. Схема лампового генератора

Это вызовет в катушке L_2 эдс, которая при правильном выборе направления витков катушек будет совпадать по фазе с колебаниями

в контуре и приведет к тому, что эти колебания будут усиливаться. Усиленные колебания снова передадутся на сетку, вызовут изменение анодного тока и дальнейшее увеличение колебаний в контуре и т. д. Таким образом случайно возникшие в контуре слабые колебания будут усиливаться до некоторой величины, определяемой типом лампы и напряжениями батарей, питающих лампу. После этого в контуре будут иметь место колебания с постоянной амплитудой и частотой, равной резонансной частоте контура

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_2C}}.$$

Необходимые начальные колебания в контуре практически всегда существуют под действием беспорядочного (теплового) движения электронов в проводниках контура и других причин.

На рис. 1.18 приведена упрощенная схема, дающая понятие о работе лампового радиотелеграфного передатчика. Напряжение высокой частоты с колебательного контура генератора Γ , имеющего схему, аналогичную рис. 1.18, подается на сетку лампы \mathcal{L} . Если ключ K разомкнут, то на сетку лампы, кроме колебаний высокой частоты, подается отрицательное напряжение от батареи B_c . Это напряжение должно быть настолько велико, чтобы электрическое поле между сеткой и катодом не позволяло электронам долетать до анода, т. е. чтобы анодный ток был равен нулю. Таким образом, при разомкнутом ключе K ток в катушке L_1 и, следовательно, эдс в катушке L_2 отсутствует, а следовательно, отсутствует и ток в антенне A .

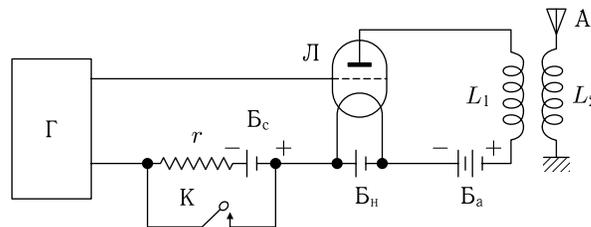


Рис. 1.18. Упрощенная схема лампового телеграфного передатчика

При нажатии ключа K на сетку лампы перестает подаваться отрицательное напряжение от батареи B_c , которая оказывается замкнутой на сопротивление r . Поэтому лампа будет усиливать напряжение высокой частоты, подаваемое на ее сетку от генератора Γ . В результате этого в катушке L_2 под действием переменного поля катушки L_1 появится эдс и по проводам антенны потечет ток, создающий поле излучения.

При передаче буквы A , состоящей из короткой и длинной посылки, форма кривой тока в антенне будет соответствовать рис. 1.19.

На рис. 1.20 изображена упрощенная схема, дающая понятие о работе радиоприемника для приема телеграфных сигналов. Здесь $У$ —

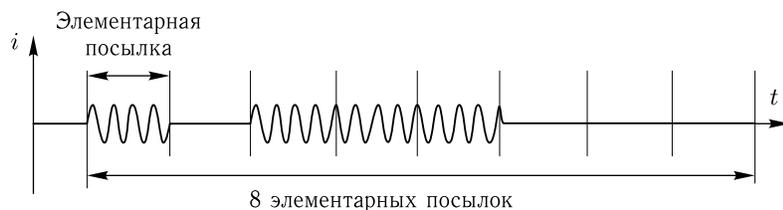


Рис. 1.19. Ток в антенне телеграфного передатчика при передаче буквы «А»

усилитель высокой частоты, принцип работы которого был описан выше. Этот усилитель выделяет из всех колебаний, подаваемых на него из антенны, колебания с частотами, близкими к резонансной частоте контуров усилителя, и усиливает эти колебания. Усиленные колебания высокой частоты подаются к двухэлектродной лампе — диоду D . Диод имеет два электрода, впаянные в баллон, из которого откачан воздух. Один из электродов — катод K — раскален проходящим через него током от батареи B_n . Диод будет пропускать ток лишь в том случае, когда на его электрод A , называемый анодом, будет подано положительное напряжение по отношению к катоду, и не будет пропускать тока, если на анод подать отрицательное напряжение, так как в этом случае излучаемые катодом электроны будут возвращаться на катод.

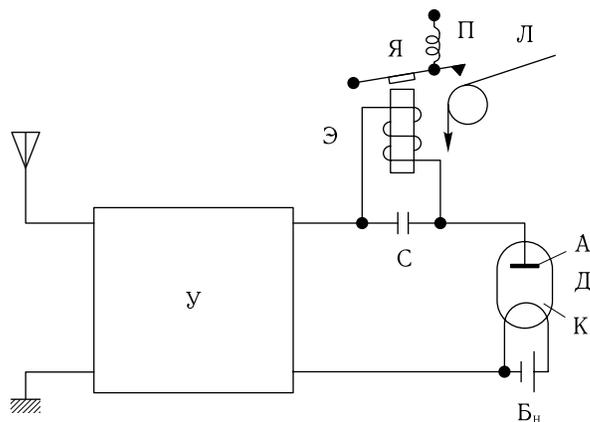


Рис. 1.20. Упрощенная схема лампового телеграфного радиоприемника

На рис. 1.21 показан ток через диод при подаче на него от усилителя синусоидального напряжения. Этот ток, как показано на рисунке, можно разложить в ряд Фурье, т.е. на постоянную составляющую и переменные синусоидальные составляющие. Постоянная составляющая не может течь через конденсатор и пойдет через электромагнит $Э$, а переменные составляющие пойдут через конденсатор $С$, так как электромагнит будет иметь для них большое индуктивное сопротивление.

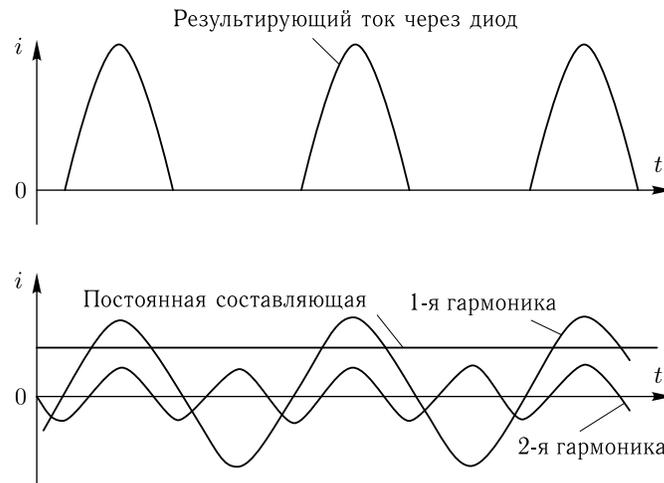


Рис. 1.21. Разложение тока, текущего через диод при радиоприеме

Под действием постоянной составляющей электромагнит притянет якорь $Я$, в результате чего перо $П$ прижмется к движущейся бумажной ленте $Л$ и будет чертить на ней линию.

Таким образом, каждый раз, когда на антенну будет действовать колебание телеграфных сигналов с частотой, близкой к резонансной частоте контуров усилителя, перо $П$ будет прижиматься к ленте и чертить на ней принятые сигналы в виде длинных и коротких линий.

Качество работы радиотелеграфной связи обычно характеризуют скоростью передачи, которая определяется числом элементарных посылок в секунду, причем за элементарную посылку принимается наиболее короткая посылка. Так например, в азбуке Морзе, где длинная посылка состоит из трех элементарных посылок, буква А (рис. 1.19) вместе с последующей паузой длительностью в 3 элементарные посылки будет состоять из 8 элементарных посылок. Единица скорости телеграфирования, определенная таким образом, названа бодом (в честь изобретателя одного из телеграфных аппаратов).

Иногда скорость телеграфирования определяют числом международных слов в минуту, причем за международное слово условно принято слово, состоящее, вместе с последующей паузой, разделяющей слова, из 48 элементарных посылок. Таким образом, скорость телеграфирования в одно международное слово в минуту будет равна

$$1 \text{ межд. слово/мин.} = \frac{48}{60} = 0,8 \text{ бод.}$$

Скорость телеграфирования на радиотелеграфных линиях Советского Союза самая высокая в мире и доходит до 300–400 слов в минуту.

Подсчитаем, чему равна длительность элементарной посылки при работе со скоростью 300 слов в минуту; 300 слов в минуту соответствуют очевидно

$$300 \cdot 0,8 = 240 \text{ бод.}$$

Таким образом, длительность элементарной посылки при этой скорости равна

$$\frac{1}{240} = 0,00417 \text{ с} = 4,17 \text{ мс.}$$

Продолжительность длинной посылки в азбуке Морзе при этой скорости будет равна $4,17 \cdot 3 = 12,5 \text{ мс}$.

Передача с такими большими скоростями осуществляется с помощью автоматически работающей аппаратуры. В настоящее время на радиоприемных пунктах часто используются буквопечатающие аппараты, которые, получая сигналы в виде длинных и коротких посылок, автоматически печатают текст телеграммы.

Телеграфная передача на большие расстояния производится в основном на коротких, а иногда на длинных волнах; на малые расстояния — на промежуточных волнах.

§ 1.7. Радиотелефония

На рис. 1.22 приведена упрощенная схема передачи звука по проводам (телефония). Как видно из рисунка, схема состоит из микрофона *МИК*, батареи *Б*, двухпроводной линии (часто в качестве одного из проводов служит земля) и телефона *Т*. Микрофон, включенный на передающем конце линии, представляет капсуль, наполненный угольным порошком и закрытый с одной стороны мембраной M_1 . При передаче речи на мембрану действуют звуковые колебания воздуха. Под действием колебаний воздуха мембрана начинает двигаться, что вызывает изменение давления на угольный порошок и изменение

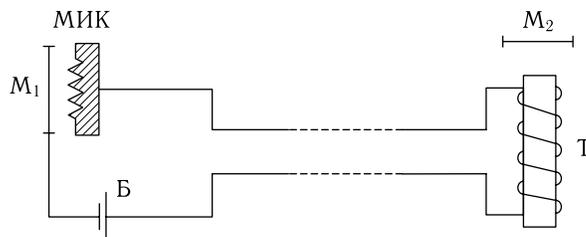


Рис. 1.22. Упрощенная схема телефонной передачи по проводам

его сопротивления. Ток, текущий от батареи B по линии, при изменении сопротивления микрофона также будет меняться по величине, причем характер этого изменения будет соответствовать характеру звуковых волн, действующих на мембрану микрофона.

Изменяющийся по величине ток, проходя через обмотку электромагнита телефона T , находящегося на приемном конце, будет притягивать мембрану M_2 с переменной силой, заставляя ее колебаться в такт колебаниям мембраны микрофона. Колеблясь, мембрана телефона вызывает колебания воздуха, достигающие уха слушающего.

Звуковые колебания, вызванные речью или музыкой, могут быть представлены суммой синусоидальных колебаний с частотами от 16 до 13 000 Гц. Для удовлетворительной передачи речи необходимо обеспечить передачу колебаний с частотами от 300 до 2400 Гц, а для хорошей передачи музыки — с частотами от 50 до 8000 Гц.

Максимальной частоте в 8000 Гц соответствует период, равный

$$\frac{1}{8000} = 0,000125 \text{ с} = 0,125 \text{ мс.}$$

Для передачи звука по радио меняют амплитуду тока высокой частоты в передающей антенне согласно колебанию звука. Такое изменение амплитуды колебания высокой частоты называется амплитудной модуляцией.

На рис. 1.23 приведена упрощенная схема, дающая понятие о работе радиотелефонного передатчика. Она отличается от радиотелеграфного передатчика, изображенной на рис. 1.18, тем, что на сетку лампы, дополнительно к батарее B_c , подается напряжение от трансформатора T , которое меняется в соответствии со звуком, действующим на микрофон M .

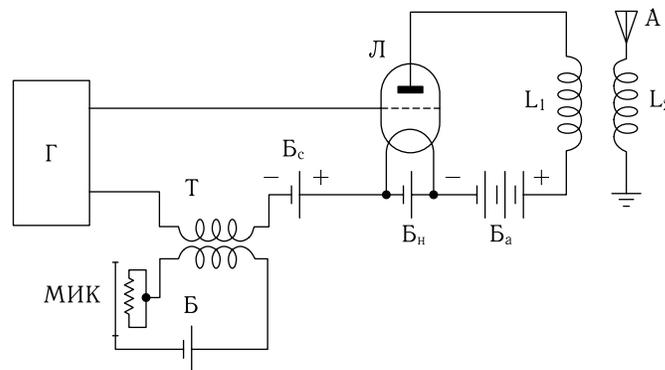


Рис. 1.23. Упрощенная схема телефонного радиопередатчика

При телеграфной передаче на сетку лампы от батареи B_c при размыкании ключа подавалось такое отрицательное напряжение, что анодный ток лампы, а, следовательно, и ток в антенне, полностью прекращался. При телефонной передаче батарея B_c должна быть взята меньше, а именно такой, чтобы колебания тока лампы прекращались не полностью, а лишь ослаблялись. При действии звука на микрофон напряжение от трансформатора T , прикладываясь к напряжению батареи B_c , будет то увеличивать, то уменьшать его. Соответственно ток лампы будет то увеличиваться, то уменьшаться, и амплитуда тока высокой частоты в антенне будет меняться, таким образом, в соответствии со звуком, действующим на микрофон. Ток в антенне телефонного передатчика изображен на рис. 1.24. Лампа L , меняющая амплитуду колебаний высокой частоты, называется модулирующей лампой.

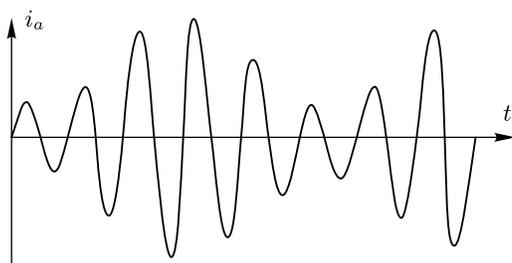


Рис. 1.24. Ток в антенне при телефонной радиопередаче

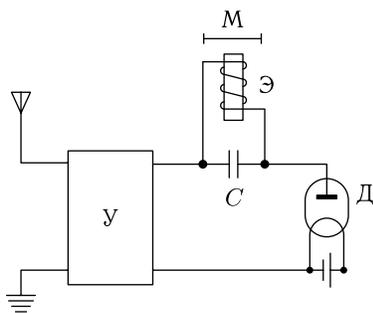


Рис. 1.25. Упрощенная схема лампового телефонного радиоприемника

Упрощенная схема, дающая представление о работе радиотелефонного приемника, изображена на рис. 1.25. Она отличается от схемы радиотелеграфного приемника, изображенной на рис. 1.20, только тем, что электромагнит \mathcal{E} притягивает не якорь пишущего рычажка, а мембрану M . Ток через диод, протекающий под действием модулированных

колебаний, изображенных на рис. 1.24, показан на рис. 1.26. Этот ток может быть разложен на составляющую низкой частоты (она показана пунктиром), которая пройдет через электромагнит, и составляющие высокой частоты, которые пойдут через конденсатор C . Под действием составляющей низкой частоты электромагнит будет притягивать мембрану M с переменной силой, соответствующей передаваемому звуку. Мембрана будет колебаться, создавая звуковые колебания воздуха.

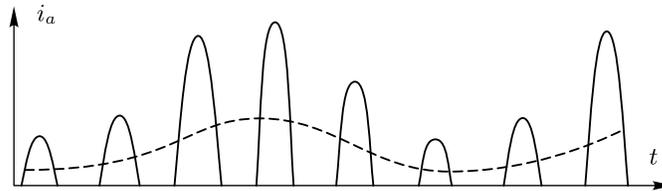


Рис. 1.26. Ток через детектор при телефонной радиопередаче

Диод D , создающий колебания низкой частоты, называют детектором.

§ 1.8. Телевидение

Передача движущихся изображений (телевидение) осуществляется с помощью электронно-лучевых трубок. Первое предложение об использовании этих трубок для телевидения было сделано еще в 1907 г. преподавателем Петербургского технологического института Б.Л. Розингом.

В настоящее время телевизионная передача осуществляется по способу, предложенному в 1931 г. С.И. Катаевым и А.П. Константиновым. Сущность этого способа заключается в следующем. Изображение I (рис. 1.27) с помощью объектива O проектируется на слюдяную пластину $П$, помещенную в баллон, из которого откачан воздух. На поверхности пластины, обращенной к объективу, нанесены мелкие крупинки металла Kp , не соприкасающиеся друг с другом. Когда на крупинки попадает свет, из них выбиваются электроны, благодаря чему крупинки становятся положительно заряженными и притягивают электроны металлического слоя C , нанесенного с обратной стороны слюдяной пластины, как бы связывая их. По металлическим крупинкам пробегает электронный луч $ЭЛ$, выходящий из раскаленного катода K и управляемый электрическими или магнитными полями (на рис. 1.27 источники тока накала катода и управляющих полей не показаны). Если крупинки, на которые попадает электронный луч, были заряжены положительно, то луч их разряжает. Освободившиеся при этом в слое C электроны создают электрический ток, проходящий через сопротивление r и вызывающий на нем падение напряжения. Чем ярче

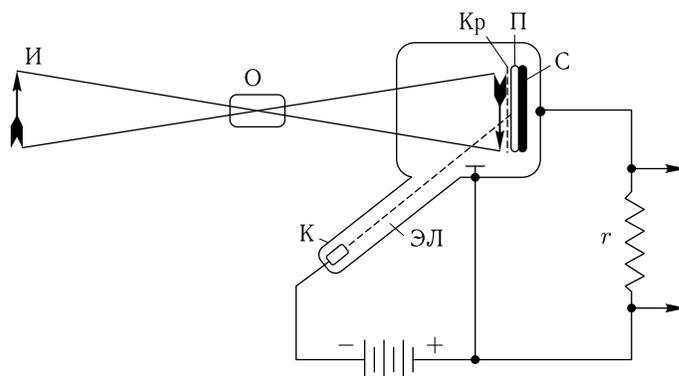


Рис. 1.27. Передающая телевизионная трубка

свет, падающий на крупинку, тем больший заряд получается на ней и тем больший ток пойдет через сопротивление r при пробегании по крупинке электронного луча.

Электронный луч обегает пластину $П$ по строчкам, как показано на рис. 1.28, причем перемещение луча с конца одной строчки в начало последующей происходит почти мгновенно (на рисунке этот путь показан пунктиром).

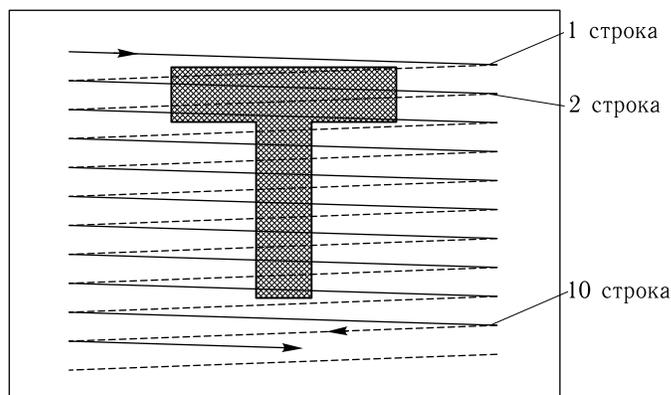


Рис. 1.28. Путь, обегаемый электронным лучом при передаче телевидения

Предположим, что на пластину проектируется изображение светлой буквы T на черном фоне. В этом случае закон изменения напряжения u на сопротивлении r во времени будет такой, как показано на рис. 1.29. Это напряжение усиливается, подается на радиопередатчик и меняет (модулирует) амплитуду излучаемых колебаний высокой частоты. На месте приема колебания, принятые антенной после усиления

и детектирования, принимают форму, изображенную на рис. 1.29, и подаются на управляющий электрод (сетку) электроннолучевой трубки (рис. 1.30), меняя интенсивность электронного луча $ЭЛ$. Электронный луч под действием специально создаваемых электрических или магнитных полей обегает флюоресцирующий экран Φ , нанесенный на стенку трубки, занимая в каждый момент времени те же положения, что и электронный луч в передающей трубке. Под действием электронного луча переменной интенсивности на экране получается воспроизведение передаваемого изображения.

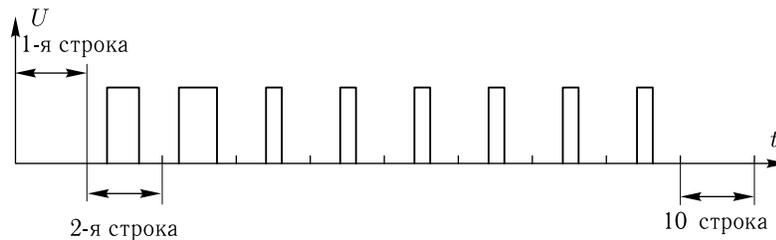


Рис. 1.29. Напряжение сигнала при передаче изображения, показанного на рис. 1.28

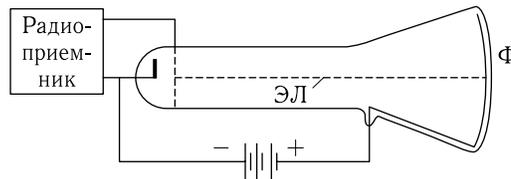


Рис. 1.30. Приемная телевизионная трубка

Чем большее число строк обегает электронный луч, тем точнее воспроизводится изображение. В настоящее время по стандарту СССР изображение разбивается на 625 строк и передается 25 изображений в секунду. Таким образом, передача одной строки занимает время

$$\frac{1}{625 \cdot 25} = 64 \cdot 10^{-6} \text{ с} = 64 \text{ мкс.}$$

Если предположить, что размер минимальной детали изображения, которая должна быть передана, составляет $1/1000$ длины строки, то мы должны передавать при пробегании электронного луча по этому участку импульсы тока длительностью $0,064$ мкс. При передаче по радио нужно, чтобы такому импульсу соответствовало по крайней мере несколько периодов высокой частоты. Если предположить, например, что длительности импульса соответствует 5 периодов высокочастотных

колебаний, то мы получим, что частота радиостанции должна равняться

$$f = \frac{1}{T} = \frac{5}{0,064 \cdot 10^{-6}} \approx 78 \cdot 10^6 \text{ Гц,}$$

что соответствует длине волны

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{78 \cdot 10^6} \approx 3,8 \text{ м.}$$

Из этого грубого расчета видно, что современное телевидение может передаваться только на метровых или еще более коротких волнах.

В предыдущих параграфах мы видели, что минимальная длительность телеграфной посылки при работе со скоростью 300 слов в минуту равна 4,17 мс, а минимальный период при передаче речи и музыки равен 0,125 мс. Таким образом, эти длительности соответственно в 65 000 раз и в 2000 раз больше длительности минимального импульса при передаче телевидения. Поэтому радиотелеграфия и радиотелефония могут вестись на более низких частотах, т. е. на более длинных волнах, чем телевидение.

§ 1.9. Радиолокация

Радиолокация служит для обнаружения и определения местоположения различных объектов (самолетов, судов и т. п.), а также для ориентации их в пространстве в любое время независимо от состояния погоды — ночью, в туман, в дождь, в метель и т. д. В радиолокации используются свойства предметов отражать радиоволны. Впервые обнаруживал положение морских судов с помощью радиоволн А. С. Попов еще в 1897 г. Тогда же им были высказаны соображения о возможности использования этих волн для целей радиолокации.

В современной радиолокации радиоволны с помощью поворачиваемой антенны посылаются узким пучком в различных направлениях. Если на их пути попадет какой-либо предмет, то они отражаются от него обратно и принимаются приемником той же радиолокационной станции. По направлению, с которого приходят отраженные волны (это направление определяется положением антенны), судят о направлении на отражающий объект, а по времени, которое затрачивает радиоволна на прохождение пути от радиолокатора до объекта и обратно, судят о расстоянии до него.

Для обнаружения объектов направление посылки и приема радиоволн все время меняют, «обшаривая» окружающее пространство. Для того чтобы облегчить определение времени распространения волны до объекта и обратно, а также чтобы сэкономить энергию, передатчик радиолокатора излучает весьма короткие импульсы — в несколько микросекунд или даже долей микросекунды.

Для удобства создания узких направленных пучков радиоволн, излучаемых в течение очень коротких промежутков времени, в радиолокации используют метровые, дециметровые и сантиметровые волны.

§ 1.10. Развитие радиотехники в СССР

Радио, обязанное своим созданием великому сыну русского народа А.С. Попову, в царской России, как уже указывалось в § 1.4, развивалось слабо. Лишь после Великой октябрьской революции в нашей стране начался бурный рост радиотехники.

История этого роста теснейшим образом связана с именами В.И. Ленина и И.В. Сталина. С первых же дней установления Советской власти они оценили роль радио и использовали его не только как средство связи, но и как могучее средство агитации и пропаганды.

В.И. Ленин первый положил начало принципиально новому использованию радио — использованию его для массового вещания. Началом радиовещания можно считать известное обращение Ленина «Всем. всем.» по радио в первые дни существования Советской республики, 12 ноября 1917 г., в котором сообщалось об образовании советского правительства и о победе над Керенским (Ленин, Сочинения т. 26, стр. 239, издание четвертое). 22 ноября 1917 г. было снова передано: «Радио всем», в котором Ленин обращался ко «всем полковым, дивизионным, корпусным, армейским и другим комитетам, всем солдатам революционной армии и матросам революционного флота», через голову ставки, требуя начала переговоров о мире и информируя о смещении старого главнокомандующего, не подчинившегося правительству (Ленин, т. 26, стр. 279). И в дальнейшем Советское правительство регулярно использовало в больших масштабах радио для связи с широкими массами и для политической работы среди масс.

Предвидя громадную роль, которую должно сыграть радио в развитии нашей страны, в 1918 г., несмотря на крайне тяжелое положение, вызванное гражданской войной, блокадой и разрухой, по инициативе В.И. Ленина были приняты постановления правительства о централизации радиотехнического дела в руках государства и о создании большой радиолaborатории и мастерской Народного комиссариата почт и телеграфов в Нижнем Новгороде. После создания радиолaborатории В.И. Ленин неустанно заботился о ее развитии.

Радиовещание в нашей стране имеет очень большое политическое и культурное значение. Оно начало широко развиваться с 1924 г., когда И.В. Сталин подписал исторический декрет «О частных приемных радиостанциях», способствовавший развитию широкой радиослушательской аудитории и радиолюбительства в нашей стране. В том же 1924 г. началось регулярное высококачественное вещание через Московскую радиостанцию, построенную А.Л. Минцем и И.Г. Кляцкиным.

В последующие годы наша страна все в большей и большей степени покрывалась сетью радиостанций. Особые успехи были достигнуты в деле сооружения мощных и сверхмощных радиовещательных станций. В результате этого СССР занимает первое место в мире как по мощности отдельных радиостанций, так и по их суммарной мощности.

Помимо звукового, в настоящее время начинает развиваться и телевизионное вещание. Сейчас в СССР регулярно работают два телевизионных центра: в Москве и Ленинграде.

Большое значение для нашей страны с ее необъятными просторами имеет и радиосвязь, с помощью которой ведется передача телеграмм и фототелеграмм, а также осуществляются телефонные переговоры. Наша страна имеет самую мощную сеть радиосвязи и, как уже говорилось, скорость передачи на наших радиотелеграфных линиях наибольшая в мире.

Радиосвязь играет незаменимую роль для связи с подвижными объектами — с морскими судами и самолетами (в настоящее время все они оборудованы средствами радиосвязи). Она широко применяется и для связи с полевыми сельскохозяйственными бригадами, поездами и речными судами, улучшая организацию работ и тем самым сильно увеличивая производительность труда. В годы Великой Отечественной войны радиосвязь благодаря ее подвижности показала свое преимущество перед другими видами связи. О важности радиосвязи неоднократно указывалось в директивах Ставки Верховного Главнокомандования.

Радионавигация, позволяющая морским судам и самолетам ориентироваться в пространстве в любое время и в любую погоду, также широко используется в нашей стране. В деле самолето- и судовождения все большее применение находит радиолокация.

Радионавигация и радиолокация широко применяются также в военном деле, и их развитие имеет большое значение в укреплении обороноспособности страны.

Радиосредства получили широкое применение и в промышленности для целей контроля, для поверхностного нагрева деталей высокой частотой при закалке, для сушки дерева и т. п. Большую роль в развитии этой отрасли радиотехники сыграл пионер радиотехники чл.-корр. АН СССР В.П. Вологдин.

Широкое развитие радиотехники в Советском Союзе связано с развитием мощной радиопромышленности, о масштабах которой можно судить хотя бы по тому, что в соответствии с пятилетним планом в 1950 г. ею было выпущено много сотен тысяч шт. радиовещательных приемников, не говоря уже о других многочисленных радиоприборах.

Ясно, что радиотехника могла получить столь большое развитие в Советском Союзе благодаря трудам многих радиоспециалистов, указать имена и заслуги которых в этом кратком введении нет возможности. Однако даже при первом, весьма беглом, знакомстве с радиотехникой необходимо хотя бы кратко ознакомиться с рядом хорошо известных как в нашей стране, так и за рубежом радиоспециалистов,

очень многое сделавших для развития радио в Советском Союзе и способствовавших тому, что наша страна занимает ведущее место в этой быстро растущей отрасли техники, открывающей все новые и новые возможности перед человечеством.

Научным руководителем созданной по инициативе В.И. Ленина Нижегородской радиолaborатории был М.А. Бонч-Бруевич (1888–1940). Под его руководством лаборатория сделала очень многое для развития радио в нашей стране, во многих областях обогнав заграничные достижения, несмотря на трудные условия работы в то время.

В дальнейшем эта лаборатория была переведена в Ленинград и являлась научным центром развивающейся радиопромышленности. М.А. Бонч-Бруевич был избран членом-корреспондентом АН СССР и до самой смерти продолжал большую научную, изобретательскую и педагогическую работу.

Большую роль в развитии теории радиотехники сыграл академик М.В. Шулейкин (1884–1939 гг.), создатель советской школы радиоспециалистов. Его работы в области распространения радиоволн, антенн, радиоприема имели громадное значение. Читанные им курсы по различным разделам радиотехники воспитали многих радиоспециалистов, играющих ведущую роль в развитии радиотехники.

В развитии радиотехники большое значение имеют вопросы распространения радиоволн. Наши ученые провели большие работы по их изучению. По вопросам распространения длинных волн было многое сделано академиком М.В. Шулейкиным, по распространению коротких волн чл.-корр. АН СССР А.Н. Щукиным и, наконец, по вопросам распространения ультракоротких волн академиком Б.А. Введенским.

Передающие антенны, создающие поле излучения, и приемные антенны, улавливающие энергию из этого поля, являются одним из наиболее важных и сложных объектов радиотехники. По теории, расчету и созданию новых типов антенн многое было сделано академиком М.В. Шулейкиным, проф. И.Г. Кляцкиным и чл.-корр. АН СССР А.А. Пистолькорсом.

Академик А.И. Берг, чл.-корр. АН СССР А.Л. Минц, М.А. Бонч-Бруевич и проф. И.Г. Кляцкин сыграли весьма значительную роль в развитии теории и методов расчета, а также в строительстве радиопередающих станций.

Развитие техники радиоприема многим обязано трудам проф. В.И. Сифорова и доктора технических наук П.Н. Куксенко.

Наконец, нельзя не отметить большие работы, которые были проделаны в СССР по теории генерации колебаний, имеющей большое значение для радиотехники. Для создания этой теории потребовалось разрабатывать специальные разделы математики. В этой области следует отметить работы академиков Л.И. Мандельштама (1879–1944), Н.Д. Папалекси (1880–1947) и А.А. Андропова.

Трудно осветить в этом кратком обзоре весь комплекс работ, проведенных в СССР по развитию радио, но уже беглое перечисление фактов и имен говорит об их огромном объеме. Естественно, что такая огромная работа не могла бы быть выполнена, если бы партия, правительство и лично товарищ Сталин, под непосредственным руководством которого разрабатывался план развития радио, не уделяли радиотехнике столь большого внимания. О внимании правительства к темпам движения радиотехники вперед в нашей стране можно судить и по тому факту, что ежегодно нескольким десяткам радиоспециалистов присваиваются за выдающиеся работы звания лауреатов Сталинской премии.

2 мая 1945 г., в день взятия Берлина, И.В. Сталин подписал постановление Совета народных комиссаров об увековечении памяти изобретателя радио А.С. Попова и об установлении 7 мая ежегодного Дня радио. Это решение еще раз показало, какое значение придает наше правительство и лично товарищ Сталин радиотехнике.

Более полувека прошло с тех пор, как А.С. Попов изобрел радио. Прошедшие годы показали, что русские ученые оказались достойными продолжателями дела своего гениального предшественника. Несомненно, что и в будущем страна, явившаяся родиной великого открытия, даст миру еще много новых открытий и разработок в этой быстро развивающейся области техники.

§ 1.11. Содержание курса

Курс «Теоретические основы радиотехники» будет изложен в трех частях.

В первой части рассматриваются вопросы, касающиеся электрических параметров деталей радиотехнических устройств — конденсаторов, катушек индуктивности и элементов сопротивления; колебательного контура и воздействия на него различных модулированных колебаний и импульсов; двух связанных колебательных контуров и воздействия на них различных модулированных колебаний и импульсов.

Во второй части курса будут рассмотрены вопросы усиления колебаний, генерации колебаний синусоидальной и несинусоидальной формы и преобразования колебаний (модуляция, детектирование, деление и умножение частоты, ограничение, электрическое интегрирование и дифференцирование).

Наконец, в третьей части курса будут рассмотрены вопросы, касающиеся сложных резонансных систем, применяемых на дециметровых и сантиметровых волнах, а также вопросы, касающиеся применяемых в радиотехнике четырехполюсников и фильтров.

Литература к I главе

1. *Берг А.И., Радовский М.И.* Изобретатель радио А.С. Попов. — Госэнергоиздат, 1950.
2. *Кин С.* Азбука радиотехники. — Госэнергоиздат, 1939.
3. *Клопов А. Я.* Путь в телевидение. — Госэнергоиздат, 1949.
4. *Бажанов С. А.* Что такое радиолокация. — Военное издательство, 1949.
5. Развитие радиотехники в СССР за 30 лет (1917–1947) // Радиотехника. 1947, № 8.
6. Краткая биография М.В. Шулейкина // Радиотехника. 1949, № 4.
7. Краткая биография М.А. Бонч-Бруевича // Радиотехника. 1950, № 2.
8. Краткая биография В.П. Вологодина // Радиотехника. 1948, № 4.
9. Биография Л.И. Мандельштама / Полное собрание трудов Л.И. Мандельштама. Т. 1. — Издательство АН СССР, 1948.
10. Краткая биография А.Л. Минца // Радио. 1947, № 6.