

### § 54. Радиосвязь

Длинные электромагнитные волны, которые были впервые использованы для нужд связи, называются радиоволнами.

В 1894 г. А. С. Попову удалось создать чувствительный и удобный приемник для электромагнитных волн, основные принципиальные особенности устройства которого сохранились в современной радиоприемной аппаратуре. Во-первых, Попов применил высоко поднятую приемную антенну, которая значительно увеличивает дальность приема. Во-вторых, Попов осуществил то, что называется релейной схемой: ничтожная энергия приходящих электромагнитных волн принимается не непосредственно (как, например, для возбуждения искры в опытах Герца), а для управления включением местного источника энергии, который и питает регистрирующий прибор. Схема первого радиоприемника Попова изображена на рис. 3.122. Когерер  $K$  представляет собой стеклянную трубку, в которой помещены металлические опилки; в оба конца трубы  $A$  и  $B$  введены провода, соприкасающиеся с опилками. Приходящая электромагнитная волна, создавая в когерере переменный ток высокой частоты, вызывает проскаивание между опилками мельчайших искр, которые сваривают опилки друг с другом.

При этом сопротивление когерера резко уменьшается, и он замыкает цепь батареи  $B$ , питающей электромагнит  $\mathcal{E}_1$ . Электромагнит притягивает стальную пластинку  $P_1$  и с помощью контакта  $E$  замыкает цепь второго электромагнита  $\mathcal{E}_2$ . Последний притягивает к себе стальную пластинку  $P_2$ , и соединенный с ней молоточек  $M$  ударяет по звонку  $Z$ . Притянувшись к  $\mathcal{E}_2$ , пластинка  $P_2$  размыкает контакт и отсоединяет  $\mathcal{E}_2$  от батареи. Тогда пружина возвращает пластинку  $P_2$  в исходное положение, и молоточек  $M$  ударяет через резиновый амортизатор по когереру. Когерер встремивается, и контакты между опилками разрушаются. Вследствие этого сопротивление когерера вновь становится очень большим, цепь батареи размыкается, и приемник вновь готов к работе.

В современных радиоприемниках когерер заменили электронные лампы, но принцип реле остался в силе. Электронная лампа работает, как реле: слабые сигналы, подводимые из сетки лампы, управляют энергией местных источников тока, включенных в анодную цепь лампы. Схема лампового приемника изображена на

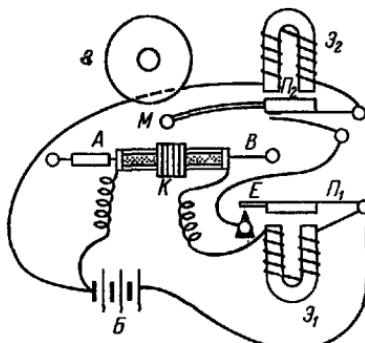


Рис. 3.122.

рис. 3.123. Приходящая электромагнитная волна воспринимается антенной  $A$  и создает слабые электрические колебания в контуре, состоящем из катушки  $L$  и конденсатора переменной емкости  $C$ . Варьируя емкость конденсатора, настраивают контур в резонанс с частотой колебаний передающей радиостанции. Возникающее в контуре переменное напряжение подается на сетку лампы  $L$  и управляет прохождением значительно более сильного тока в анодной цепи, создаваемого анодной батареей  $B$ . С приемной лампы это напряжение обычно поступает дальше на усилитель  $Y$  и телефон  $T$ .

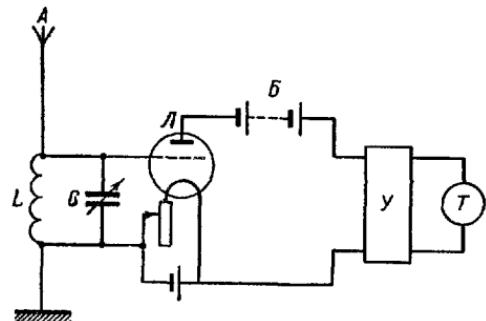


Рис. 3.123.

Даже длинные радиоволны с  $\lambda \approx 1-3 \text{ км}$  имеют частоту  $v = c/\lambda > 10^8 \text{ гц}$ , лежащую значительно выше области звуковых частот. Поэтому непосредственное преобразование приходящих электромагнитных волн в механические колебания той же высокой частоты, не воспринимаемые органами слуха, является нецелесообразным. Кроме того, чем выше частота, тем труднее создать малоинерционную механическую систему, которая успевала бы следовать за быстропеременными воздействиями и регистрировать их.

Если обозначить несущую круговую частоту генератора на передающей радиостанции через  $\omega_0$ , то для передачи сигналов более низкой частоты  $\Omega$  необходимо изменять излучаемые электромагнитные волны с частотой сигнала, как говорят, модулировать их. Модулировать можно амплитуду (см. рис. 3.124, а), частоту (см. рис. 3.124, б) или фазу испускаемого излучения.

Рассмотрим вкратце принцип амплитудного модулирования. В отсутствие модуляции напряженности электрического и магнитного полей излучения колеблются по гармоническому закону

$$A \cos \omega_0 t. \quad (54.1)$$

Пусть теперь на передающей станции напряжение микрофона, колеблющееся со звуковой частотой  $\Omega$ , подается на сетку генераторной лампы. Амплитуда несущей волны  $A$  перестает быть постоянной и начинает сравнительно медленно меняться с частотой  $\Omega$  по закону

$$A(t) = A_0 + B \cos \Omega t. \quad (54.2)$$

Подставляя (54.2) в (54.1) и производя несложные тригонометриче-

ские преобразования, находим

$$E \text{ (или } H) = (A_0 + B \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = \\ = A_0 \cos \omega_0 t + \frac{B}{2} \cos (\omega_0 - \Omega) t + \frac{B}{2} \cos (\omega_0 + \Omega) t. \quad (54.3)$$

Таким образом, изображенное на рис. 3.124, а модулированное колебание эквивалентно трем радиоволнам с близкими частотами:

$$\omega_0 - \Omega, \quad \omega_0 \text{ и } \omega_0 + \Omega.$$

В приемнике радиосигнал дает также модулированный по амплитуде переменный ток, который усиливается в приемном контуре и выпрямляется в детекторе. Затем производится освобождение звукового сигнала от несущей волны; для этого выпрямленный радиосигнал пропускается через контур, состоящий из

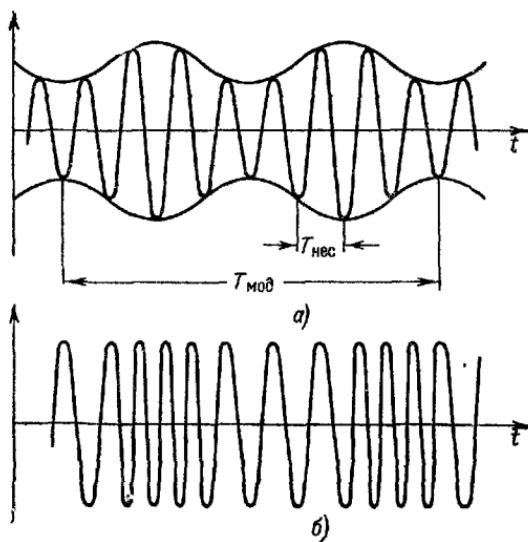


Рис 3 124

индуктивности (дронсель) или емкости (конденсатор), соединенных с сопротивлением. При этом инерционность контура, равная

$$\tau_L \approx \frac{L}{R} \quad \text{или} \quad \tau_C \approx RC, \quad (54.4)$$

должна быть велика по сравнению с периодом колебаний несущей частоты  $T_{\text{нес}} = 2\pi/\omega_0$ , но мала по сравнению с периодом звуковых колебаний  $T_{\text{зв}} = \frac{2\pi}{\Omega}$ , чтобы не исказить последние. Полученный таким образом «огибающая» (рис. 3.124, а) поступает в катушку телефона и вызывает колебания мембранны со звуковой частотой  $\Omega$ .

Если приемный контур имеет слишком «острую» настройку, то он будет реагировать лишь на частоты, лежащие в интервале  $\omega_0 \pm \Delta\omega$ , где  $\Delta\omega < \Omega$ . Тогда, как было показано в § 51, из всего излучения (54.3) он воспримет только первую составляющую с постоянной амплитудой, и ток в нем окажется немодулированным по амплитуде, т. е. сигнал не будет принят.

В случае передачи музыки и речи радиоволны модулируются весьма сложным набором частот и модулированная по амплитуде волна будет представлять собой не сумму воли трех частот, как в рассмотренном выше примере, но целую полосу частот в интервале

$$\omega_0 - \Omega_0 < \omega < \omega_0 + \Omega_0, \quad (54.5)$$

где  $\Omega_0$  — наивысшая частота передаваемых звуковых сигналов.

Чтобы звуковые сигналы могли передаваться без искажений, колебательные контуры радиопередатчика и радиоприемника должны пропускать одновременно всю полосу частот (54.5), т. е. обладать не слишком «острой» настройкой.

Поэтому несущие частоты двух радиостанций не должны быть близкими — иначе полосы частот, на которых они работают, будут перекрываться, так что раздельный прием их окажется невозможным. В лучшем случае попытка отстроиться от одной из этих станций приведет к отбрасыванию модулирующих наиболее высоких частот, т. е. к искажению принимаемых сигналов.

При телевизионных передачах частота модулирования значительно больше, чем при радиопередачах. Воспроизведение движущихся изображений требует передачи ежесекундно 25 кадров. При этом каждый кадр для четкого воспроизведения должен быть разбит на сотни тысяч последовательно передаваемых элементов. Таким образом, число передаваемых сигналов (а значит, частота модуляции) должно составлять несколько миллионов колебаний в секунду, так что несущая частота должна по крайней мере иметь порядок десятков миллионов герц. Одна из принятых в СССР несущих частот телевещания равна  $5 \cdot 10^7$  гц, что отвечает длине волн в 6 метров.

К сожалению, возможность использования для телевидения лишь коротких волн очень ограничивает дальность приема. В то время как длинноволновое радиоизлучение, отражаясь от верхних ионизованных слоев атмосферы, способно огибать поверхность Земли, коротковолновое излучение, не отражаясь от этих слоев, распространяется по прямой. Поэтому дальность приема коротких волн ограничивается линией горизонта, и для увеличения радиуса телевещания необходимо поднимать антенны передающих и приемных станций на большую высоту.

Важным применением радио является радиолокация — определение положения самолетов, кораблей и т. п. с помощью радио-

волн. Способ определения расстояния до объектов основан на точном измерении времени прохождения радиосигнала от радиостанции к цели и обратно (отраженного сигнала). В радиолокации используется радиоизлучение с длиной волны от сантиметров и до метров, обладающее высокой направленностью (см. § 53). Длительность сигнала (импульса электромагнитных волн) составляет миллионные доли секунды. Сигналы повторяются от нескольких сот до тысяч раз в секунду (достаточно часто, но так, чтобы одновременно «в пути» в пределах радиуса обзора радиолокатора не оказались два сигнала). На экране электронно-лучевой трубы радиолокатора луч развертывается с постоянной скоростью, причем частота развертки равна числу сигналов, посыпаемых в секунду станцией. В момент отправления очередного импульса подается и импульс напряжения на пластины конденсатора, управляющего вертикальным смещением луча. На экране осциллографа возникает отметка, фиксирующая момент отправления сигнала  $O$  (рис. 3.125). После этого антенна радиолокатора переключается на прием. Радиосигнал, достигая цели, рассеивается на ней и частично отражается обратно. Отраженный сигнал принимается, усиливается и дает вторую вертикальную отметку на экране осциллографа. Положение первой отметки, получаемой при отправлении сигнала, строго неподвижно. Расстояние между обеими отметками пропорционально времени прохождения сигнала от радиолокатора до цели:

$$t = \frac{2l}{c}, \quad (54.6)$$

и измерение этого времени по особой шкале на экране осциллографа позволяет определить расстояние до цели  $l$ .

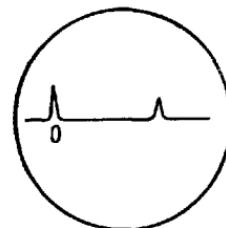


Рис. 3.125.