

РАДИОТЕХНИКА. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

УДК 37.6
ББК 92
М17

Максина Е. А.

М17 Радиотехника / Максина Е. А. — М. : Т8 Издательские технологии / RUGRAM, 2020. — 160 с. — (Полезные конспекты).

ISBN 978-5-521-75670-4

Пособие предназначено для студентов высших и средних специальных учебных заведений для помощи в изучении предмета и успешной сдачи экзаменов.

BIC JN
BISAC EDU000000

ISBN 978-5-521-75670-4

© Т8 RUGRAM, оформление, 2020
© Т8 Издательские технологии, 2020

ГЛАВА 1. Сигналы сообщения и радиосигналы. Распространение радиоволн

1.1. Сообщения и сигналы сообщения

Задачей радиотехники является передача информации с помощью электромагнитных волн. Совокупность устройств, предназначенных для передачи информации, а также среда, в которой распространяются электромагнитные волны, образуют **канал связи**.

В случае радиовещания передаваемая информация (сообщение) представляет собой речь, музыку и иное и предназначена для большого числа потребителей. Чтобы обеспечить передачу сообщений, их сначала преобразуют в электрические сигналы (напряжение или ток), называемые **сигналами сообщений**. В радиовещании это производится с помощью микрофона. Колебания мембраны микрофона, вызываемые звуковой волной, преобразуются в электрические колебания звуковой частоты, форма которых повторяет форму звукового давления. Звуковые сигналы в общем случае являются **непрерывными случайными сигналами**.

С развитием электроники и вычислительной техники в радиосвязи находят все большее применение цифровые методы передачи информации. Электрический сигнал сообщения в цифровых системах связи представляет собой последовательность импульсов, чаще всего имеющих прямоугольную или колоколообразную форму. Такие сигналы называют **дискретными**.

Важной характеристикой сигнала сообщения является его спектр, который представляет собой **преобразование Фурье** функции $u(t)$, описывающей зависимость напряжения сигнала сообщения от времени. В случае периодической функции $u(t)$ с пе-

риодом T ее спектр состоит из бесконечного числа гармонических составляющих, частоты которых равны:

$$n\Omega \left(\Omega = \frac{2\pi}{T}, n=1,2,3,\dots \right)$$

Амплитуды спектральных составляющих являются в этом случае **коэффициентами Фурье**:

$$u_c(t) = \frac{u_0}{2} + U_n \cos(n\Omega t - \varphi_n),$$

$$\text{где } U_m = \sqrt{a_n^2 + b_n^2}; \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{a_n}{b_n}; \quad U_0 = \frac{2}{T} \int_0^T u_c(t) dt. \quad (1.1)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T u_c(t) \cos n\Omega t dt; \quad b_n = \frac{2}{T} \int_0^T u_c(t) \sin n\Omega t dt$$

Спектр сигнала удобно изображать графически в виде спектрограммы (рис. 1.1, 1.2).

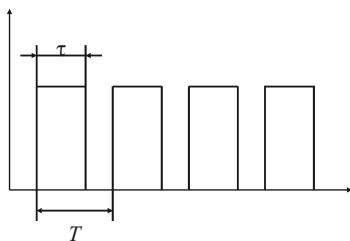


Рис. 1.1

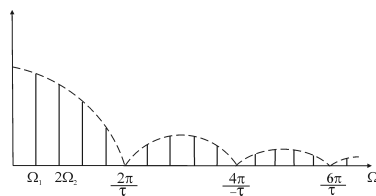


Рис. 1.2

На рисунке 1.1 изображен периодический сигнал в виде последовательности прямоугольных импульсов длительностью t и периодом повторения T .

На рисунке 1.2 приведена спектрограмма этой последовательности (длины вертикальных отрезков на спектрограмме пропорциональны амплитудам соответствующих гармонических составляющих). Спектр рассматриваемого сигнала является дискретным; все частоты спектра кратны основной частоте $W = 2\pi F$, определяющей периодом повторения импульсов. Амплитуды U_n спектральных составляющих с увеличением их номера убывают согласно закону:

$$U_n(n\Omega) = 2 \frac{U_0 \tau}{T} \left| \frac{\sin \frac{n\Omega \pi}{2}}{\frac{n\Omega \pi}{2}} \right|.$$

Зависимость $U_n(nW)$ (амплитудно-частотная спектрограмма) показана на рисунке 1.2. Частоты, на которых $U_n(nW)$ обращаются в нуль, зависят от длительности импульса. Минимальная из этих частот определяет эффективную ширину спектра DW . Чем меньше длительность импульса, тем более широким получается спектр:

$$\Delta\Omega = \frac{2\pi}{\tau}$$

Аналогично может быть построен спектр фаз (фазочастотная спектрограмма). В этом случае длины вертикальных отрезков пропорциональны начальным фазам спектральных составляющих сигналов. Так как ухо человека не реагирует на фазы колебаний, в звуковом радиовещании пользуются только амплитудно-частотными спектрограммами. В том случае, когда спектры сигналов занимают много октав, при построении спектрограмм обычно пользуются логарифмической шкалой частот, на которой откладываются не частоты, а их десятичные логарифмы.

Ширина спектра сообщения определяет интервал частот, отводимый данному каналу связи. При передаче речи или музыки ширина спектра сигнала сообщения определяется спектром звуковых частот, т. е. занимает интервал от 20 Гц до 20 кГц. В тех случаях, когда это необходимо, ограничивают ширину спектра сигнала сообщения. При этом ухудшается качество воспроизведения передаваемого сообщения, зато увеличивается число возможных каналов связи. При создании служебной радиосвязи между двумя объектами (например, между Землей и летящим самолетом, двумя кораблями и т. д.) качество воспроизведения передаваемого сообщения должно быть таким, чтобы обеспечить разборчивость речи. Для этого достаточно передавать сигнал сообщения в интервале частот от 200 Гц до 3 кГц. При высококачественном радиовещании, когда важно сохранять не только информацию, содержащуюся в речи, но и тембр голоса, а также обеспечить неискаженную передачу музыки, спектр частот сообщения должен быть значительно шире (например, от 30 Гц до 4,5 кГц).

1.2. Структурная схема канала связи. Радиосигналы

Передачу сообщений с помощью электромагнитных волн с относительно узкой шириной спектра с помощью электромагнитных волн можно осуществить следующим образом. Преобразовав

сообщение в электрический сигнал, подвести этот сигнал (предварительно усиленный) к передающей антенне, которая создаст в окружающем пространстве электромагнитную волну. Достигнув приемной антенны, эта волна возбудит в ней электромагнитные колебания, спектральный состав которых такой же, как у сигнала сообщения.

Однако при таком способе передачи сообщений возможен лишь один канал связи. Одновременная работа нескольких (даже двух) радиостанций была бы недопустимой, так как спектры сигналов всех радиостанций лежали бы в этом случае в одном и том же интервале частот и разделить их во время приема сообщений разных радиостанций было бы принципиально невозможно.

Для обеспечения многоканальной радиосвязи используют следующий принцип передачи сообщений: электрический сигнал сообщения не излучается в пространство непосредственно, а используется для модуляции высокочастотных колебаний. **Модуляция** — это процесс, при котором электрический сигнал сообщения воздействует на колебания высокой частоты (несущие колебания) так, что их амплитуда, частота или начальная фаза изменяются во времени по тому же закону, что и напряжение сигнала сообщения. Этот процесс осуществляется в модуляционном устройстве, на которое одновременно поступают сигналы сообщения и колебания несущей частоты, создаваемые специальным генератором. В зависимости от того, какой из параметров несущих колебаний подвергается изменению в указанном процессе, различают амплитудную, частотную и фазовую модуляции. Модулированные высокочастотные колебания называют **радиосигналом**, так как он излучается в окружающее пространство передающей антенной. Основными функциональными узлами передающей станции являются **преобразователь сообщения в электрический сигнал, генератор несущих колебаний, модуляционное устройство и излучающая антенна** (рис. 1.3).

На приемную антенну воздействуют электромагнитные волны, излучаемые многими работающими в данный момент радиостанциями, и возбуждают в ней высокочастотные электромагнитные колебания. Чтобы выделить радиосигнал нужной станции, на входе приемника станции ставится частотно-избирательный фильтр, который можно настроить так, чтобы он пропускал только частоту этого радиосигнала. Переход с одного канала связи на другой производится перестройкой входного фильтра приемника. Поскольку мощность принимаемого радиосигнала может быть

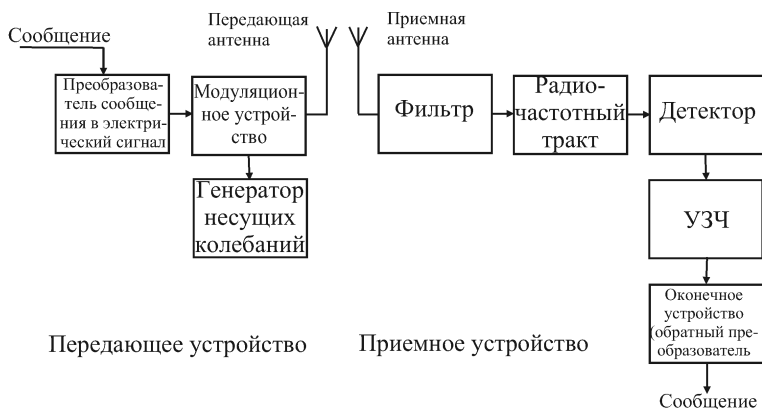


Рис. 1.3

очень малой ($\sim 10^{-10}$ Вт), приемник должен обеспечить усиление радиосигнала. Эту функцию выполняет совокупность устройств, которая на структурной схеме обозначена как радиочастотный тракт. Усиленный радиосигнал поступает на детектор, задача которого заключается в обнаружении передаваемого сигнала сообщения, закодированного в радиосигнале. Полученный на выходе детектора сигнал сообщения усиливается усилителем звуковой частоты (УЗЧ) и подается на оконечное устройство, преобразующее электрический сигнал в сообщение, воспринимаемое человеком или автоматическим устройством, для которого это сообщение является командой управления. В случае радиовещательного приемника оконечным устройством является громкоговоритель, выполняющий функцию, обратную функции микрофона.

При многоканальной радиосвязи данной приемной антенны достигают радиосигналы многих передающих станций. Среди них полезным является только сигнал одной радиостанции, остальные играют роль помех. Помехи радиостанции могут создаваться не только большим числом одновременно работающих радиостанций. Источниками их являются также электрические явления в атмосфере и космосе: грозовые разряды, полярные сияния, потоки космических частиц, влияющих на степень ионизации верхних слоев атмосферы и, значит, на условия распространения радиоволн, и др. Кроме **космических** и **атмосферных** помех, имеются также **индустриальные** помехи, создаваемые различного рода электрическими устройствами: электросварочными аппаратами, электротранспортом (трамваями, троллейбусами), технической и медицинской аппаратурой,

использующей высокочастотные генераторы, газоразрядные трубки и т. д. Космические, атмосферные и промышленные помехи являются **внешними**, так как они возникают вне приемного устройства и воздействуют на антенну. В любом приемном устройстве возникают также **внутренние** помехи, наиболее существенными из которых являются тепловые и дробовые шумы. Достоверное выделение полезного сигнала является одной из основных задач, решаемых радиотехникой. Хорошая помехозащищенность средств связи обеспечивается надлежащим выбором и распределением несущих частот, видом модуляции, структурой передающего и приемного устройства.

1.3. Амплитудно-модулированный сигнал.

Частотно-модулированный сигнал

Амплитудная модуляция (АМ) — это воздействие на амплитуду несущих колебаний. Приняв начальную фазу равной нулю, несущее колебание запишем в виде:

$$u(t) = U_m \cos \omega_0 t. \quad (1.2)$$

При наличии сигнала сообщения u с t , воздействующего на амплитуду несущих колебаний, представим последнюю в виде:

$$U_m = U_0 + \Delta U = U_0 + k u_c(t) \quad (1.3)$$

где $U_0 = \text{const}$, а $\Delta U = k u$ — приращение амплитуды, пропорциональное напряжению сигнала сообщения (k — постоянный коэффициент). Обычно сигнал сообщения u с t является сложной функцией времени. Рассмотрим простейший случай, когда сигнал является гармоническим:

$$u_c(t) = U_{m_c} \cos \Omega t. \quad (1.4)$$

Начальная фаза сигнала сообщения в звуковом радиовещании принимается равной нулю. На основе (1.2) и (1.3) амплитуда АМ может быть представлена в виде:

$$U_m = U_0 (1 + m \cos \Omega t), \quad (1.5)$$

где $m = \frac{k U_{m_c}}{U_0}$ — коэффициент модуляции.

При осуществлении АМ коэффициент модуляции не должен превышать единицу ($m \leq 1$). Нарушение этого условия приводит к искажению передаваемого сообщения.

Используя (1.5), коэффициент модуляции можно выразить так:

$$m = \frac{U_{m \max} - U_{m \min}}{U_{m \max} + U_{m \min}},$$

где $U_{m \max}$ и $U_{m \min}$ — наибольшее и наименьшее значения амплитудно-модулированных колебаний. В соответствии с этим коэффициент модуляции часто называют глубиной модуляции.

Подставив (1.5) в (1.2), получим аналитическое выражение для АМ колебания:

$$u_{am}(t) = U_0(1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t. \quad (1.6)$$

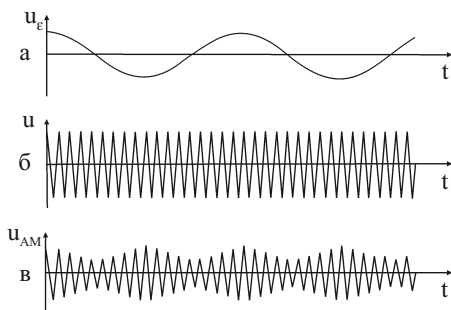


Рис. 1.4

В модулированном колебании амплитуда не постоянна, а меняется во времени по закону изменения сигнала сообщения.

На рисунке 1.4 показаны функции времени $\langle \dots \rangle$ графики напряжений, соответствующие сигналу сообщения $u_c(t)$

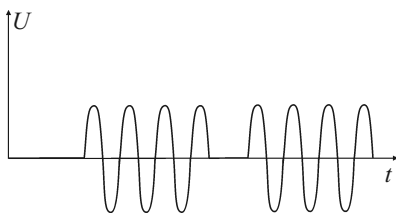
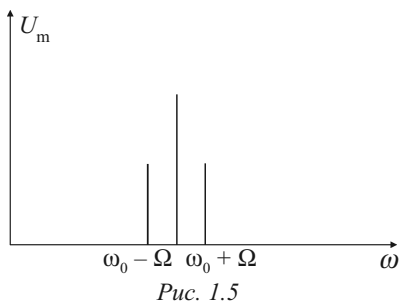
и модулированным колебаниям $u_{AM}(t)$ при гармоническом сигнале сообщения.

Для определения спектрального состава АМ радиосигнала представим (1.6) в виде:

$$u_{am}(t) = U_0 \cos \omega_0 t + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 - \Omega) + \frac{mU_0}{2} \cos(\omega_0 + \Omega)t. \quad (1.7)$$

В соответствии с (1.7) спектр простейшего АМ колебания представляет собой сумму гармонических составляющих с частотами ω_0 , $\omega_0 - \Omega$, $\omega_0 + \Omega$ и амплитудами U и $\frac{mU_0}{2}$.

Информация о частоте и амплитуде сигнала сообщения заключена, как следует из (1.7), в смещении каждой боковой частоты относительно несущей и в соотношении между амплитудами колебаний на боковой и несущих частотах. Амплитуды боковых



частот равны между собой и пропорциональны коэффициенту модуляции m , т. е. в конечном итоге амплитуде сигнала сообщения. Смещение боковых частот относительно несущей равно частоте сигнала сообщения. На рисунке 1.6. приведена спектрограмма АМ колебания вида (1.5).

Во многих случаях электрические сигналы сообщения имеют вид последовательности импульсов. Модуляция высокочастотных колебаний этими сигналами называется **импульсной**. При импульс-

ной модуляции радиосигнал имеет вид последовательности цугов колебаний радиочастоты (рис. 1.6), которые носят название **радиоимпульсов**.

Такая последовательность характеризуется четырьмя параметрами: амплитудой импульса, его длительностью, частотой следования (или периодом повторения) и фазой. В соответствии с этим различают **четыре вида импульсной модуляции**:

- 1) амплитудно-импульсную;
- 2) широтно-импульсную;
- 3) частотно-импульсную;
- 4) фазоимпульсную.

Примерами применения импульсной модуляции являются радиолокация и цифровые системы радиосвязи. Системы радиосвязи с импульсной модуляцией имеют более высокую помехозащищенность и ряд эксплуатационных преимуществ по сравнению с обычной непрерывной амплитудной модуляцией. Однако из-за большой ширины спектра импульсного сигнала полоса частот, отводимая сигналу с импульсной модуляцией, во много раз больше, чем при амплитудной модуляции, что ограничивает выбор несущих частот при ее применении.

При **частотной модуляции (ЧМ)** амплитуда несущих колебаний постоянна, а частота меняется пропорционально напряжению сигнала сообщения. Для гармонического сигнала сообщения,