

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ИНФОРМАЦИЯ, СООБЩЕНИЕ, СИГНАЛ

**Под информацией** подразумевается совокупность сведений о каких-либо событиях, явлениях или предметах, предназначенных для передачи, приема, обработки, преобразования, хранения или непосредственного использования.

**Под сообщением** подразумевается информация, подлежащая передаче и выраженная в определенной форме.

**Электрический сигнал** это электрическая величина, однозначно отображающая каким – либо образом содержание передаваемого сообщения.

Между сигналом  $U(t)$  и сообщением  $W(x,y,z,t)$  существует однозначное соответствие:

$$U(t) = F [ W(x,y,z,t)],$$

где  $W(x,y,z,t)$  – сообщение, характеризующееся параметрами  $(x,y,z,t)$ ;

$F$  – функционал, описывающий правило преобразования сообщения в сигнал;

**Электросвязью** называется передача и прием сообщений с помощью электрических сигналов

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕРА ИНФОРМАЦИИ

Энтропия источника сообщений  $H(\alpha)$  является мерой недостающей информации

**Количество информации  $I \equiv N$ , где  $N$  число возможных сообщений**

Для той или иной системы счисления число всевозможных отображаемых состояний  $N$  может быть представлено в виде:

$$N = m^n, \quad (1.1)$$

где  $n$  – количество разрядов (знаков) принятого алфавита в этом сообщении (значность кода или длина сообщения);

$m$  - основание системы счисления (основание кода или число знаков используемых в алфавите).

Информации  $I$ , содержащееся в сообщении прямо пропорционально не числу возможных сообщений  $N$ , а значности сообщения  $n$ :

$$I \equiv n$$

Тогда из (1.1) следует, что

$$n = \log_m N,$$

т. е.

$$I = \log_m N \quad (1.2)$$

Для источника информации с  $N$  равновероятными сообщениями вероятность каждого сообщения очевидно будет  $P_c = 1/N$ , откуда  $N = 1/P_c$

Тогда, можно записать:  $I = \log_m N$  или

$$I = \log_m N = \log_m 1 - \log_m P_c = -\log_m P_c \text{ или } H(\alpha) = \log_m N$$

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КОЛИЧЕСТВЕННАЯ МЕРА ИНФОРМАЦИИ

Мерой количества информации для источника с не равновероятными сообщениями является энтропия, характеризующая собой среднюю неопределенность перед получением сообщения.

Согласно формуле Шеннона она равна

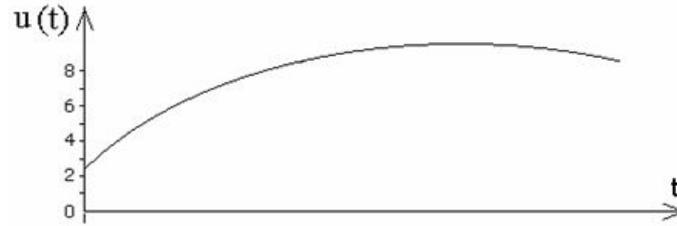
$$H(\alpha) = I_{\text{cp}} = - \sum_{i=1}^k p_i \log_m p_i$$

Единицу измерения количества информации принято характеризовать числом букв алфавита, с помощью которого передается сообщение. Для двухбуквенного алфавита (основание  $m = 2$ ) количество информации измеряется в двоичных единицах – битах (binary digit – двоичный разряд).

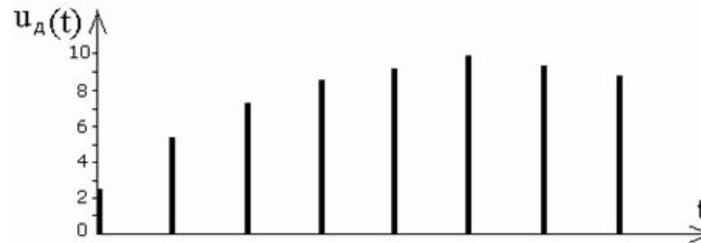
# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

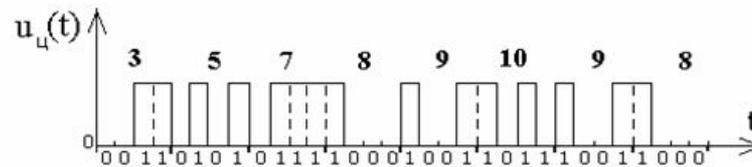
Электрическим сигналом называется электрическая величина, параметры которой изменяются по определенному закону в соответствии с передаваемым сообщением.



а)



б)



в)

Рис. 1.1. Виды электрических сигналов:

а) -непрерывный сигнал; б) -дискретный сигнал; в) -цифровой сигнал.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Если электрический сигнал может быть описан непрерывной функцией времени  $u(t)$ , то такой сигнал называют аналоговым. Значения аналогового сигнала можно измерять в любые моменты времени. Он непрерывен в течение времени своего существования и может принимать любые значения. Название «аналоговый сигнал» подчеркивает, что он «аналогичен», то есть полностью подобен, порождающему его физическому процессу.

Дискретный (от лат. discretus – разделенный, прерывистый) сигнал представляет собой последовательность значений непрерывного сигнала, взятых отдельные моменты времени, соответствующих этим значениям.

Цифровой сигнал представляет собой разновидность дискретного сигнала, у которого дискретные значения (округленные в сторону ближайшего значения) заменяются числами в двоичном коде в виде высоких (единица) и низких (нуль) уровней напряжения.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Наиболее простым и самым распространенным на практике является непрерывный сигнал, изменяющийся по закону синуса и называемый синусоидальным или гармоническим сигналом.

В общем случае гармоническое колебание можно представить в виде

$$u(t) = U_m \cos(2\pi f t - \varphi_0)$$

Основными параметрами такого колебания являются мгновенное значение  $u(t)$ , амплитуда  $U_m$ , период  $T_0$ , частота  $f_0$ , полная  $\Psi(t)$  и начальная фаза  $\varphi_0$  (рис.1.2).

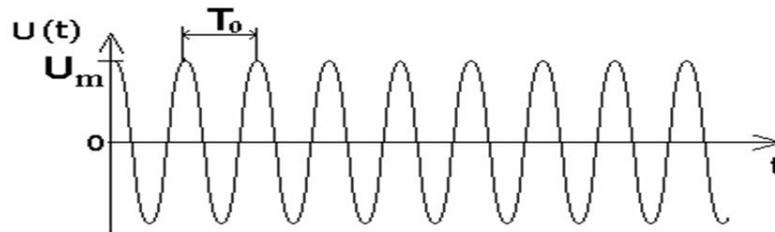


Рис.1.2. Синусоидальное напряжение



Рис.1.3. Диапазоны частот

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Преобразование сообщения в электрический сигнал  $u_c(t)$  производится путем модуляции исходного синусоидального напряжения  $u_{нec}(t)$ , называемого несущим колебанием.

Синусоидальное напряжение поступающее на вход модулятора обычно называется несущей функцией или несущим колебанием.

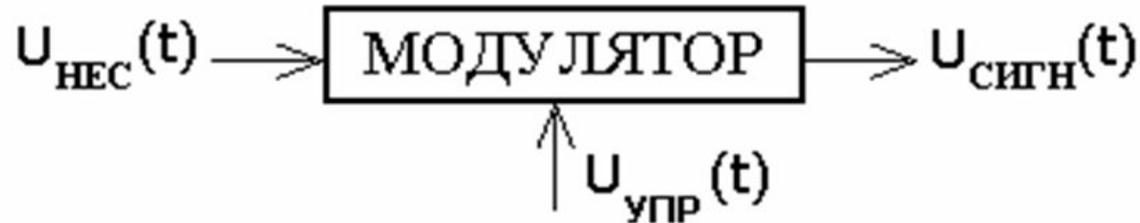


Рис. 1.4.

Электрическое напряжение (ток), изменяющееся по закону передаваемого сообщения, используемое для управления (модуляции) параметрами несущего колебания называется управляющим или модулирующим.

В зависимости от управляемого параметра несущей функции – вида модуляции, электрические сигналы делятся на:

сигналы с амплитудной модуляцией - амплитудно-модулированные (рис.1.5);

сигналы с фазовой модуляцией (фазомодулированные или фазоманипулированные) и сигналы с частотной модуляцией (частотно-модулированные)- рис. 1.6.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

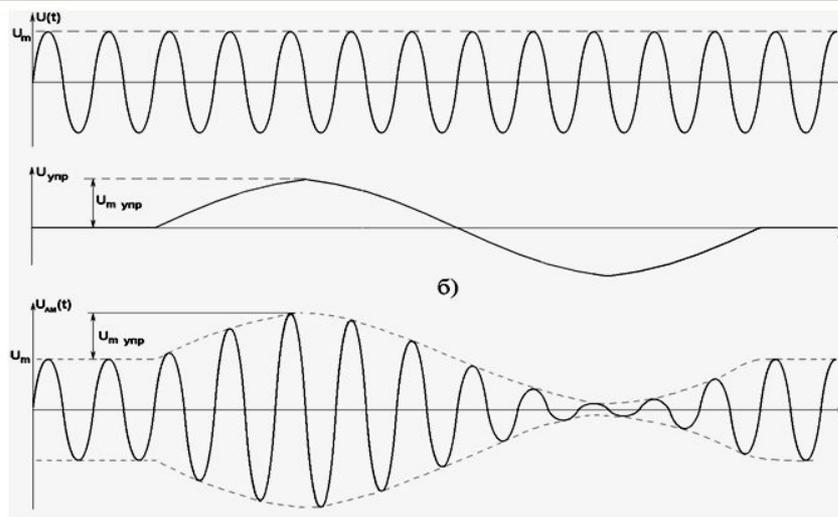


Рис 1.5. Амплитудная модуляция сигналов.

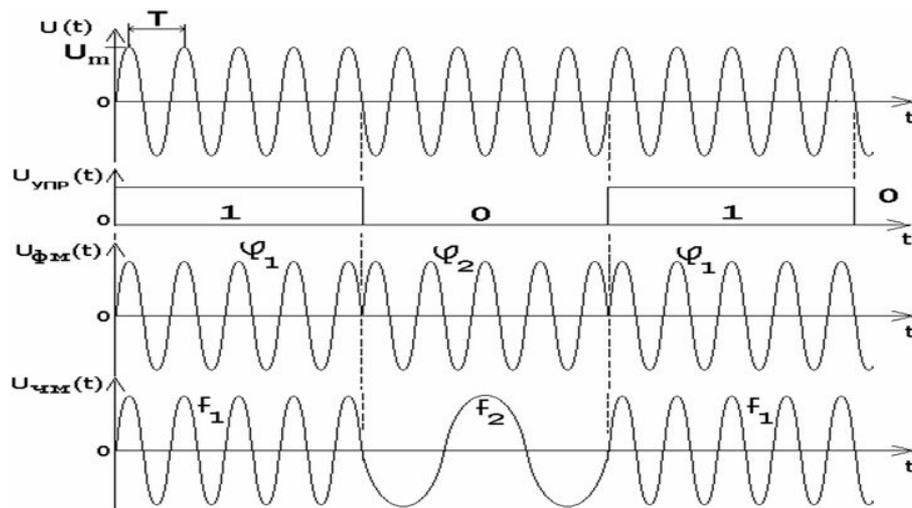


Рис 1.6. Фазовая и частотная модуляция сигналов.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Непериодические непрерывные сигналы (рис.1.7) представляют собой переменное несинусоидальное напряжение (ток), в законе изменения которого заложена информация, подлежащая передаче примером такого сигнала может служить напряжение на выходе микрофона телефонного аппарата.

К основным параметрам непрерывных непериодических сигналов относятся:

мгновенное значение  $u(t)$ ;

длительность сигнала  $T_C$ ;

максимальное значение сигнала  $U_{max}$

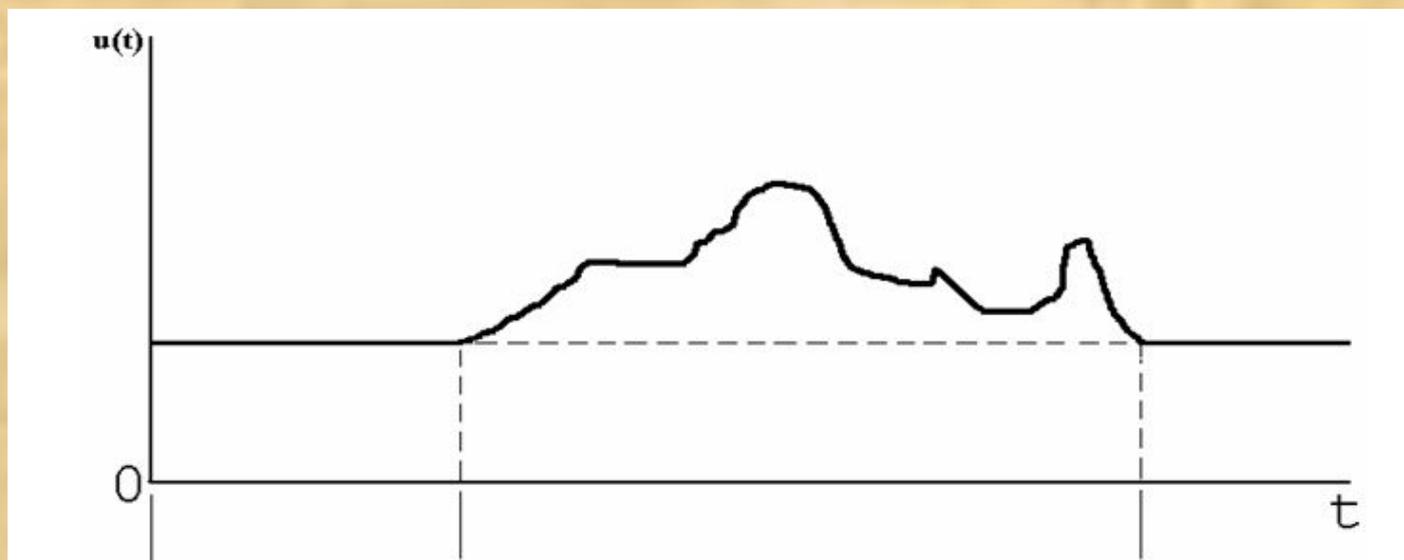


Рис. 1.7. Непрерывный непериодический сигнал

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Непериодические непрерывные сигналы (рис.1.7) представляют собой переменное несинусоидальное напряжение (ток), в законе изменения которого заложена информация, подлежащая передаче примером такого сигнала может служить напряжение на выходе микрофона телефонного аппарата.

К основным параметрам непрерывных непериодических сигналов относятся:

мгновенное значение  $u(t)$ ;

длительность сигнала  $T_C$ ;

максимальное значение сигнала  $U_{max}$

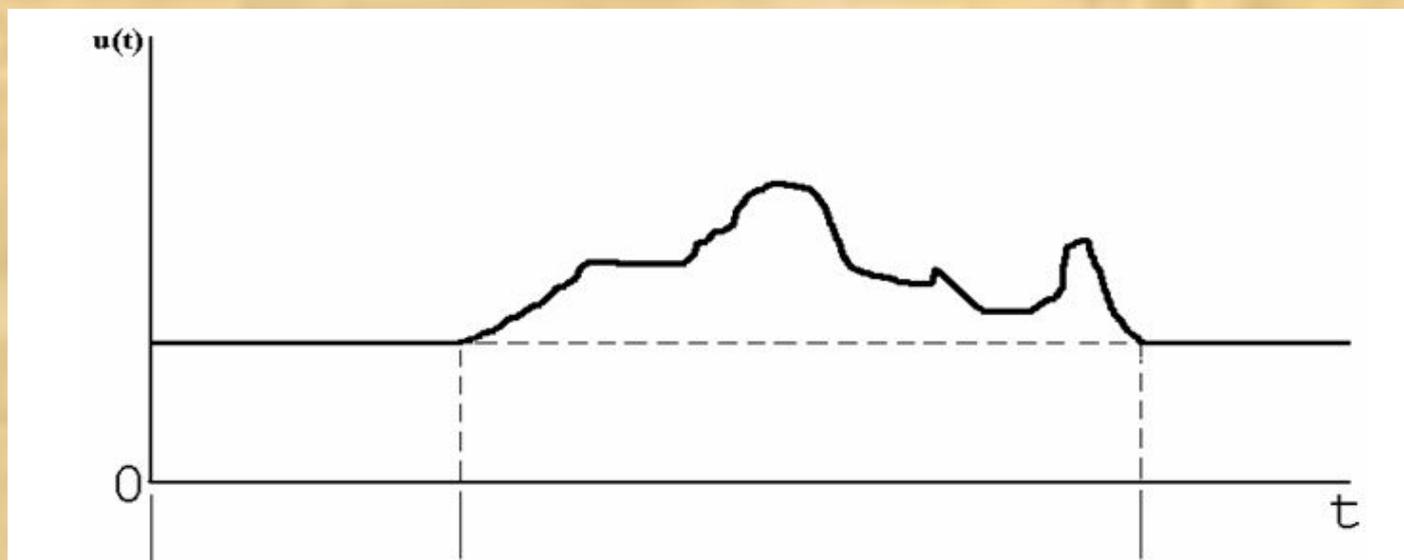


Рис. 1.7. Непрерывный непериодический сигнал

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Импульсные сигналы - это сигналы, которые существуют в пределах конечного отрезка времени. Импульсные сигналы делятся на два больших класса: видеоимпульсы и радиоимпульсы. Видеоимпульс (рис. 1.8,а и 1.9) представляет собой постоянное или медленно меняющееся напряжение, а радиоимпульс (рис. 7, б и 8,б) – переменное синусоидальное напряжение.

И те, и другие могут быть как одиночными (рис.1.8), так и в виде периодической последовательности импульсов (рис. 1.9).

К основным параметрам видеоимпульсов относят:

Форма – прямоугольные, треугольные, колокольные импульсы и т.д.;

Полярность – положительные, отрицательные и разнополярные;

Амплитуда -  $U_m$ ;

Длительность -  $t_{и}$ ;

Период  $T_p$  и частота  $F_p$  повторения - для последовательности импульсов.

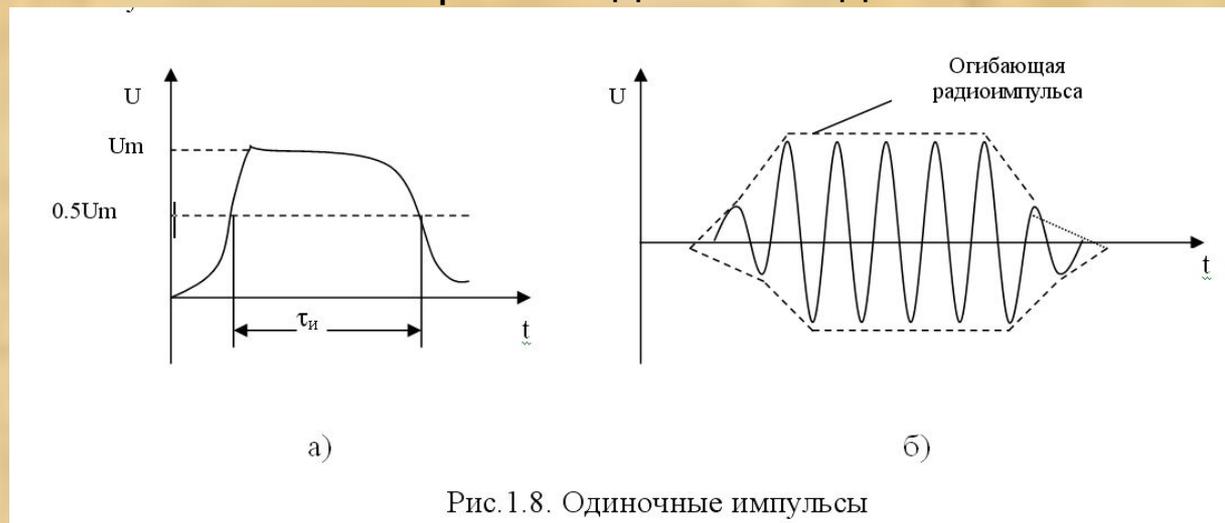
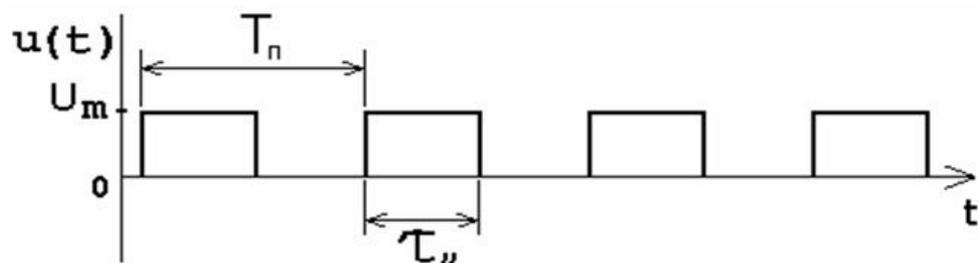


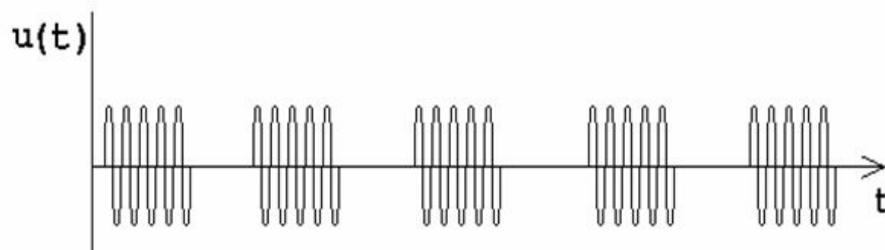
Рис.1.8. Одиночные импульсы

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## КЛАССИФИКАЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ



а)



б)

Рис. 1.9. периодическая последовательность:

а) видеоимпульсов; б) радиоимпульсов.

К основным параметрам радиоимпульсов относят:

Форма огибающей – прямоугольная, треугольная, колокольная и т.д.;

Амплитуда -  $U_m$ ;

Длительность -  $t_{и}$ ;

Период  $T_0$  и частота  $f_0$  высокочастотного колебания;

Период  $T_n$  и частота  $F_n$  повторения - для последовательности радиоимпульсов.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

Цифровые сигналы представляют собой особую разновидность дискретных по времени и уровню сигналов. Цифровой сигнал - это совокупность кодовых комбинаций в виде непериодической последовательности прямоугольных видеоимпульсов. Каждая кодовая комбинация представляет собой некоторое число в двоичной системе счисления. При этом «1» соответствует наличие видеоимпульса, «0» - отсутствие.

На рис.1.10 показан пример кодирования семи дискрет 4-х разрядного цифрового сигнала.



Рис. 1.10. Пример цифрового сигнала

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

К основным параметрам цифровых сигналов относят длительность сигнала, число разрядов цифрового кодирования, длительность дискреты, а так же минимальный и максимальный уровень сигнала –  $U_{\max}$ ,  $U_{\min}$ .

Для получения цифрового сигнала производят преобразование непрерывного сигнала. Процедура преобразования включает три этапа.

Первый этап - дискретизация исходного непрерывного сигнала по времени. *Дискретизация* - это представление непрерывного по времени сигнала) его дискретными значениями (рис. 11,а), взятыми в определенные моменты времени, то есть  $u(t) \leftrightarrow u(k\Delta t)$ . Такой сигнал называется дискретным по времени.

Дискретизация производится на основе теоремы Котельникова - непрерывный по времени сигнал может быть представлен последовательностью его дискретных значений (импульсных отсчетов), взятых в отдельные моменты времени. Шаг (интервал) дискретизации  $\Delta t$  выбирается по формуле

$$\Delta t = 1/2f_{\max},$$

где  $f_{\max}$  – максимальная частота спектра исходного сигнала.

В этом случае по полученным дискретным значениям можно восстановить исходный аналоговый сигнал.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

Второй этап – квантование дискретного сигнала по уровню (рис. 11,б).

*Квантование* по уровню производится путем осуществления отсчетов исходного сигнала по уровням. Полученный в результате сигнал, называют дискретным по времени и уровню сигналом .

Число уровней **M**, которое необходимо для восстановления исходного сигнала, определяется из отношения

$$M = U_{c_{\max}} / U_{\text{ш}} ,$$

где:  $U_{c_{\max}}$  - максимальное значение сигнала;

$U_{\text{ш}}$  - среднеквадратическое значение внутреннего шума в канале связи.

После квантования производится округление амплитуды полученных импульсов до значения ближайшего уровня. Величина округления – представляет собой ошибку или шум квантования. Она определяется разностью между истинным значением напряжения в момент дискретизации и ближайшим уровнем квантования. Эта ошибка не должна превышать половину шага квантования.

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

Третий этап – цифровой кодирование.

Кодирование заключается в переводе амплитуды импульсов дискретного сигнала из десятичной системы счисления в двоичную (рис.11, в). Для этого используются специальные аналого-цифровые преобразователи (АЦП). На практике АЦП обычно совмещают в себе функции и квантования и кодирования.

В результате цифрового преобразования образуются кодовые комбинации «нулей» и «единиц», т.е. двоичные числа. Количество этих комбинаций равно по числу дискрет, которые содержит исходный дискретный сигнал. Количество символов в комбинации, т.е. количество разрядов двоичного числа  $n$  определяется числом уровней квантования в соответствии с выражением

$$n = \log_2 M \text{ или } 2^n = M$$

Например, при использовании 16 уровней квантования требуется 4-х разрядная кодовая комбинация, т.к.  $2^4=16$ .

Для повышения точности цифрового преобразования необходимо увеличивать число уровней квантования сигнала, а, следовательно, и число разрядов. На практике обычно ограничиваются  $M=256$  и, следовательно,  $n=8$ , что соответствует рекомендациям Международного Союза Электросвязи (МСЭ).

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## ЦИФРОВЫЕ СИГНАЛЫ

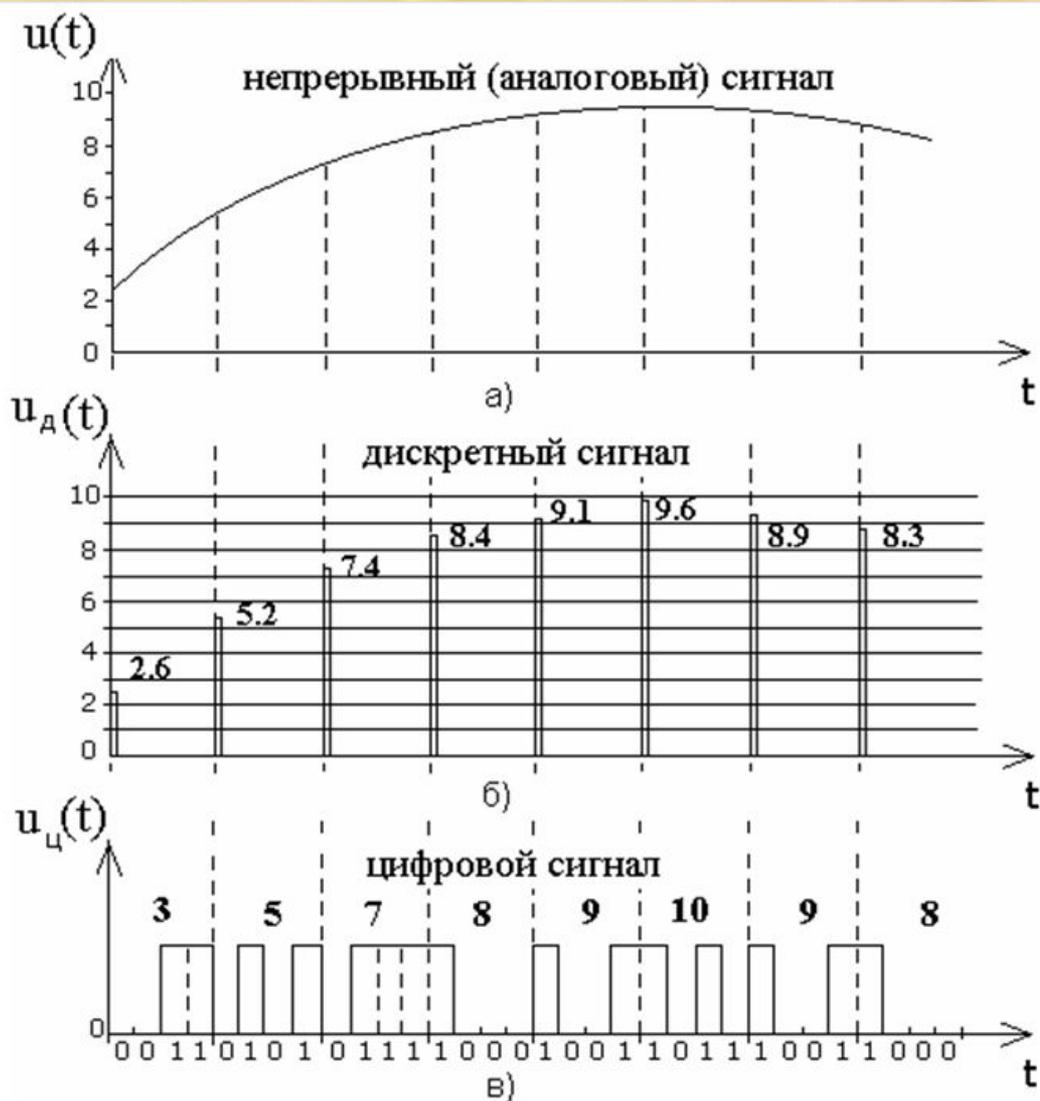


Рис. 1.11. Преобразование непрерывного сигнала в цифровой:

а) исходный непрерывный сигнал; б) дискретный по времени сигнал;

# Глава 1. Основные понятия электросвязи

## СПЕКТРАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

*Спектром сигнала* называется совокупность гармонических сопоставляющих (гармоник), на которые может быть разложен сигнал. При этом каждая составляющая спектра имеет свою амплитуду  $U_{mk}$ , частоту  $f_k$  и начальную фазу  $\varphi_k$ . Спектр сигнала зависит от вида и параметров сигнала, т.е. каждый сигнал имеет свой конкретный спектр.

Для спектрального описания электрических сигналов различным математический аппарат, основным из которого являются тригонометрические преобразования, ряды и интегралы Фурье.

Спектр периодических сигналов  $u(t)$  описывается рядом Фурье, который может быть представлен в следующем виде

$$u(t) = \frac{U_0}{2} + \sum_{k=1}^n U_{mk} \sin(2\pi f_k t - \Psi_k),$$

где:  $k$  – номер гармонической составляющей спектра сигнала;

$U_0$  - постоянная составляющая спектра сигнала, равная

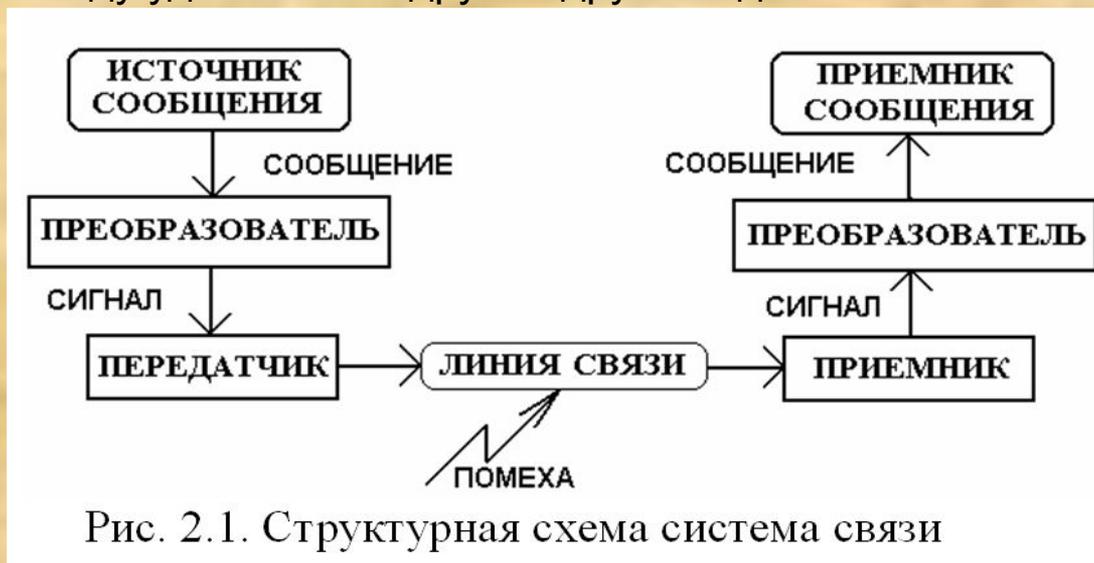
$U_{mk}$  и  $\varphi_k$  - амплитуда и начальная фаза  $k$ -ой составляющей

спектра.

## Глава 2. Системы электросвязи

### ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ

Система электросвязи это комплекс технических средств, обеспечивающих передачу и прием информации между удаленными друг от друга людьми или какими-либо устройствами.



Линия связи это среда распространения электрических сигналов от передатчика к приемнику в системе электросвязи.

Каналом связи называется совокупность технических устройств, обеспечивающих независимую передачу сигналов по общей линии связи.

Многоканальная связь – это связь нескольких пар абонентов по общей линии связи. При этом каждой паре выделяется канал связи. Образование каналов для передачи отдельных сигналов электросвязи по одной линии связи называется разделением каналов.

Помехи. В идеальном случае при передаче должно быть однозначное соответствие между передаваемым и принимаемым сообщением. Однако под действием помех, возникающих в канале связи, в приемнике и передатчике, это соответствие может быть искажено, и тогда говорят о недостоверной передаче информации.

## Глава 2. Системы электросвязи

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Достоверность передачи информации – передача информации без ее искажения.

Надежность работы – полное и правильное выполнение системой всех своих функций.

Пропускная способность системы (канала) передачи информации – это наибольшее теоретически достижимое количество информации, которое может быть передано по системе в единицу времени.

Для реализации максимально возможной пропускной способности необходимо согласование между собой параметров канала связи и параметров сигнала.

#### Параметры канала:

$F_k$  - полоса пропускания канала связи, или, иначе, полоса частот которую канал может пропустить, не внося заметного нормированного затухания сигнала;

$N_k$  - динамический диапазон, равный отношению максимально допустимого уровня в канале к уровню помех, нормированного для этого типа каналов;

$T_k$  - время, в течение которого, канал используется для передачи данных.

#### Параметры сигнала:

$F_c$  - ширина спектра частот сигнала, под которой понимают интервал частот, занимаемый сигналом;

$N_c$  - динамический диапазон, представляющий собой отношение средней мощности сигнала к средней мощности помехи в канале;

$T_c$  - длительность сигнала, то есть время его существования.

## Глава 2. Системы электросвязи

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Произведение этих трех параметров определяет соответственно:

- объем канала связи  $- V_k = F_k * H_k * T_k$ ,
- объем сигнала  $- V_c = F_c * H_c * T_c$

По Шеннону для неискаженной передачи информации по каналу связи необходимо, чтобы выполнялось соотношение:

$$V_k \geq V_c$$

Для реализации этого соотношения необходимо выполнение достаточных условий “неискаженной передачи”:

$$F_k \geq F_c, \quad H_k \geq H_c, \quad T_k \geq T_c,$$

Согласование сигнала с каналом связи и уплотнение каналов при передаче по ним сигналов от разных источников как раз и заключается в таком преобразовании параметров сигналов, чтобы необходимое условие возможности передачи превратить в достаточное.

## Глава 2. Системы электросвязи

### ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

В системах связи информацию, рассматриваемую только с синтаксических позиций, абстрагировано от смысловых и потребительских параметров, называют данными. На синтаксическом уровне учитываются такие параметры информации как: тип носителя, способ представления, скорость передачи и обработки, формат кодов представления, надежность и точность преобразования и т.п. По Шеннону, максимально возможную скорость передачи данных по каналу связи, можно определить, используя соотношение, вытекающее из приведенных выше:

$$C = F_k \text{Log}(1 + P_c/P_{\text{ш}}), \quad (2.1)$$

где **C** – максимально возможная скорость в битах в секунду,

**F<sub>k</sub>** – ширина полосы пропускания канала связи в герцах,

**P<sub>c</sub>** – мощность сигнала в ваттах,

**P<sub>ш</sub>** – мощность шума в ваттах.

Скорость передачи данных измеряется в битах в секунду или в бодах.

Бод - скорость передачи, величина которой обратна длительности импульса:

$$B = 1/t_{\text{и}},$$

где  $t_{\text{и}}$  – длительность импульса в секундах.

Бит в секунду - скорость передачи, которая соответствует единичному изменению сигнала в канале связи. В этом случае 1бод = 1бит.

## Глава 2. Системы электросвязи МНОГОКАНАЛЬНАЯ СВЯЗЬ

Многоканальная связь – это связь нескольких пар корреспондентов по общей линии связи. При этом каждой паре выделяется канал связи.

Наиболее широко применяются методы частотного и временного разделения каналов (ЧРК и ВРК).

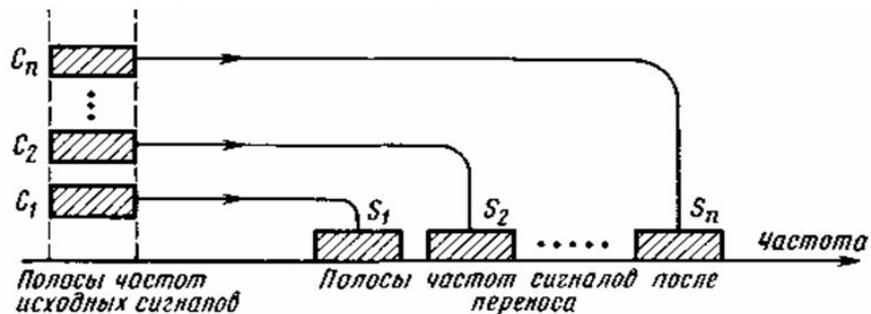


Рис.2.2. Принцип переноса частот при частотном  
разделении каналов

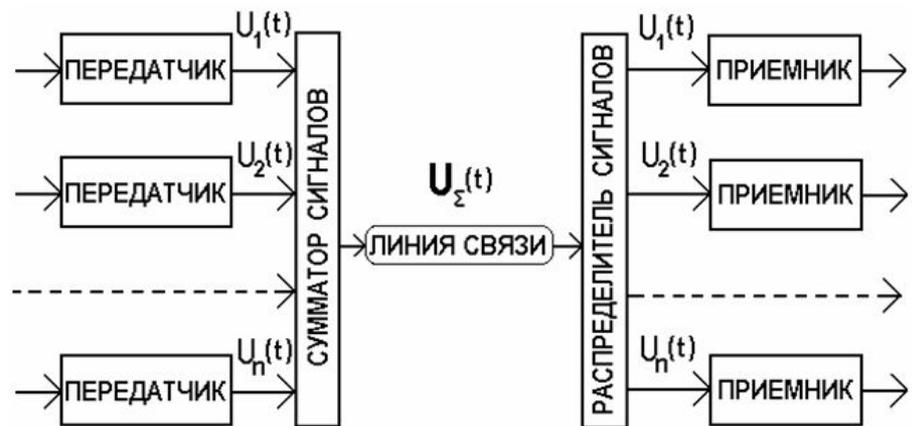


Рис. 2.3. Многоканальная система передачи с частотным  
разделением каналов

## Глава 2. Системы электросвязи

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ И КАНАЛОВ СВЯЗИ

По физической природе линии и каналы связи на их основе делятся на:

оптические — передают световой сигнал;

электрические — передают электрический сигнал.

По среде распространения КС могут быть:

проводными, использующими для передачи сигналов, проводные линии связи (электрические провода, кабели, световоды и т. д.);

беспроводными, использующими для передачи сигналов, электромагнитные волны, распространяющиеся по эфиру (радиоканалы, инфракрасные каналы).

По форме представления передаваемой информации КС делятся на:

аналоговые — по аналоговым каналам передается информация, представленная в непрерывной форме, то есть в виде непрерывного ряда значений какой-либо физической величины;

цифровые — по цифровым каналам передается информация, представленная в виде цифровых (дискретных) сигналов той или иной физической природы.

По направлениям передачи информации различают:

симплексные КС, позволяющие передавать информацию только в одном направлении;

полудуплексные КС, обеспечивающие попеременную передачу информации в прямом и обратном направлениях;

дуплексные КС, позволяющие вести передачу информации одновременно и в прямом, и в обратном направлениях.

## Глава 2. Системы электросвязи

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ И КАНАЛОВ СВЯЗИ

По возможности коммутации КС могут быть коммутируемыми и некоммутируемыми.

Коммутируемые каналы создаются из отдельных участков (сегментов) только на время передачи по ним информации; по окончании передачи такой канал ликвидируется (разъединяется).

Некоммутируемые или выделенные каналы создаются на длительное время и имеют постоянные характеристики по длине, пропускной способности, помехозащищенности.

По пропускной способности проводные цифровые КС можно разделить на:  
низкоскоростные, скорость передачи информации в которых от 50 до 200 бит/с;  
(телеграфные КС);  
среднескоростные КС, скорость передачи в которых от 300, 9600 бит/с, до 56 000 бит/с (аналоговые телефонные КС);  
высокоскоростные широкополосные КС, обеспечивающие скорость передачи данных свыше 56 000 бит/с.

## Глава 2. Системы электросвязи

### КЛАССИФИКАЦИЯ ЛИНИЙ И КАНАЛОВ СВЯЗИ

Под беспроводным каналом связи подразумевают радиоканал. Система передачи данных по радиоканалу включает в себя радиопередатчик и радиоприемник, настроенные на один и тот же радиоволновой диапазон, который определяется частотной полосой электромагнитного спектра, используемой для передачи информации. Высокоскоростной радиодоступ предоставляет пользователям каналы со скоростью передачи от 2 Мбит/с и выше. Беспроводные каналы связи обеспечивают пользователю максимальную мобильность и оперативность связи. Беспроводные каналы связи для передачи данных используются чаще всего там, где применение традиционных кабельных технологий затруднено или просто невозможно.