

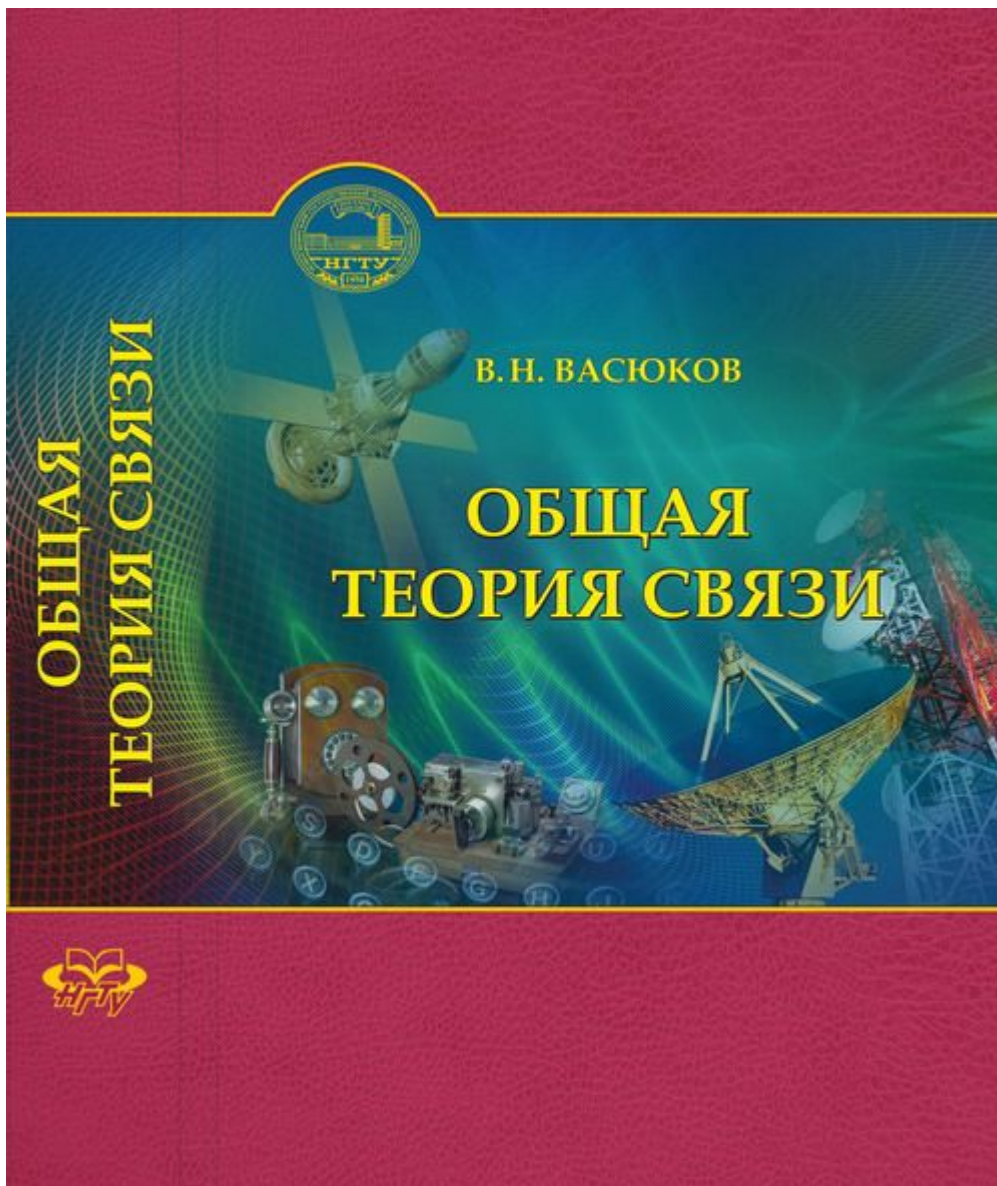


Кафедра «Теоретические
основы радиотехники»



ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ

ВАСЮКОВ
Василий Николаевич
доктор технических наук
профессор



Васюков В.Н. Общая теория связи: Учебник / Новосибир. гос. техн. ун-т. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, серия «Учебники НГТУ», 2017. – 580 с.

Шифр 621.39 В201



Васюков В.Н. Общая теория связи: сборник задач и упражнений: учеб. пособие – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2015. – 72 с

Шифр 621.39 В201.



НГТУ
НЭТИ

Факультет
радиотехники
и электроники

В. Н. ВАСЮКОВ
В. М. МЕРЕНКОВ

ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ

ЛАБОРАТОРНЫЙ
ПРАКТИКУМ

НОВОСИБИРСК
2020

**Васюков В.Н.,
Меренков В.М.**
Общая теория связи:
лабораторный
практикум: учеб.
пособие –
Новосибирск: Изд-во
НГТУ, 2020. – 110 с

Шифр 621.39 В201.

Дополнительная литература

- Васюков В.Н. Теория электрической связи. – Новосибирск, Изд-во НГТУ, серия «Учебники НГТУ», 2005. – 392 с.
- Теория электрической связи. Учебник для вузов / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 1999. – 432 с.
- Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов: Учебник для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 302 с.
- Назаров М.В., Кувшинов Б.И., Попов О.В. Теория передачи сигналов: Учебник для электротехнических институтов связи. – М.: Связь, 1970. – 368 с. В

Дополнительная литература

- Баскаков С.Н. Радиотехнические цепи и сигналы: Уч-к для вузов. – М.: Высшая школа, 1999. – 536 с.
- Ключев Л.Л. Теория электрической связи. Уч. пособие – Минск: ДизайнПРО, 1998. – 329 с.
- Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. Уч. пособие. – СПб.: Лань, 2010. – 240 с.
- Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. Уч. пособие. – М.: Академия, 2010 - 336 с.
- Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы: Уч-к для вузов. – М.: Радио и связь, 1986. – 512 с.



<http://www.nstu.ru/>

Поиск НГТУ

Преподаватели и сотрудники

Веб-сайт

Учебные материалы

Общая теория связи

Что нам предстоит:

Весной – 18 лекций

18 практических занятий

4 лаб. работы

2 РГЗ

экзамен

Осенью – 18 лекций

8 практических занятий

4 лаб. работы

курсовая работа – отдельная оценка

ИТОГОВЫЙ экзамен

Согласно учебному плану, это

10 зачётных единиц;

360 часов учебной работы, в том числе:

162 часа аудиторных занятий, стало быть,

198 – внеаудиторных, включая два экзамена и

179 часов самостоятельной работы.

Иначе говоря, по 89,5 часов в семестр.

То есть **минимум 5 часов в неделю необходимо**
работать с учебником, конспектом,
размышлять (!!) и обсуждать с товарищами
вопросы **Общей теории связи**

Правила аттестации –

модульно-рейтинговая система,

Всего за семестр **100** баллов

в том числе:

40 баллов – экзамен,

остальные **60** – работа в семестре,

в том числе:

20 баллов – практические занятия (5×4)

20 баллов – лабораторные работы (5×4)

20 баллов – РГЗ (2×10).

Баллы за **практические занятия** выставляются ТОЛЬКО по итогам контрольных работ.

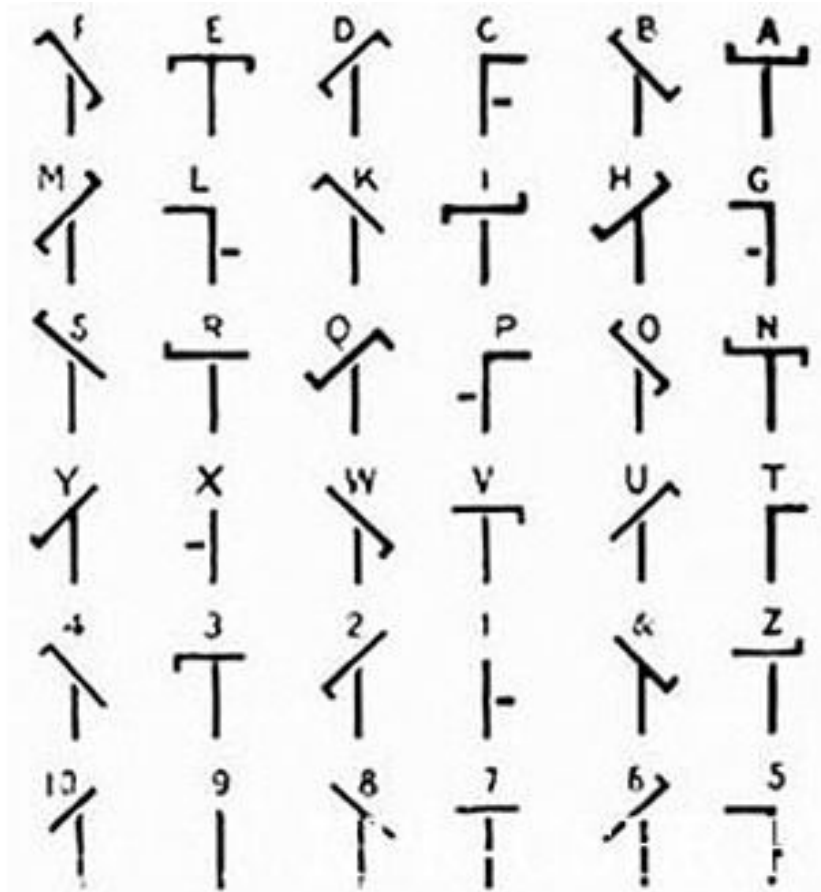
Присутствие на занятиях подразумевается обязательным и баллов не дает.

Если занятия пропущены **по любой причине**, студент должен самостоятельно решить все задачи, рассмотренные на этих занятиях. По содержанию пропущенных занятий могут быть заданы **дополнительные вопросы** на защите РГЗ и/или на экзамене.



Начиная свое поприще, не
теряй, о юноша! драгоценного
времени!

Козьма Прутков, Мысли и афоризмы, № 33



Оптический телеграф братьев Шапп
был представлен в 1792 г. Национальному
конвенту под названием *семафора* (носителя знаков).



Сигнальный полевой
гелиограф 1910



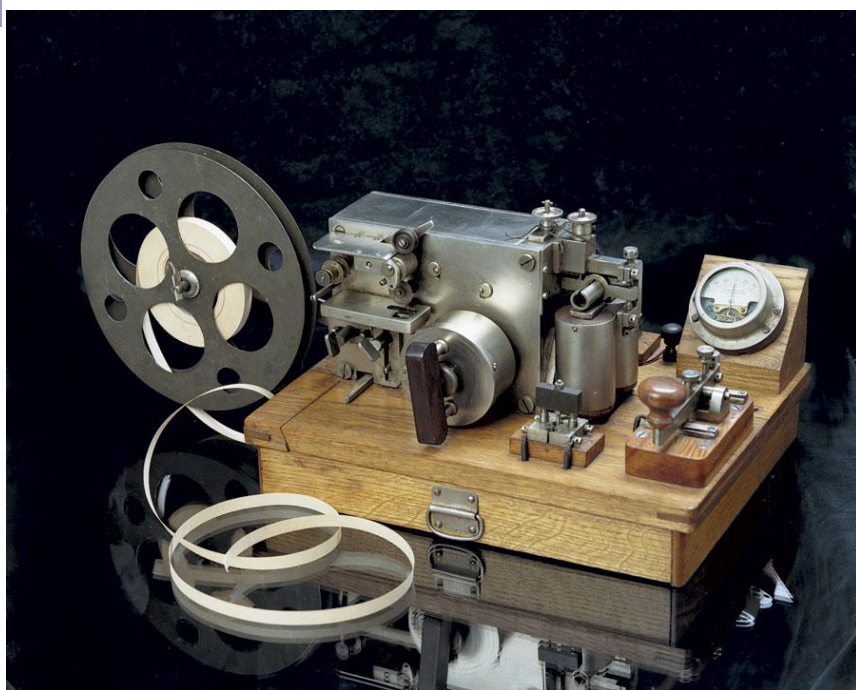
Охотничий рог

«Говорящий»
барабан



Военная сигнальная труба



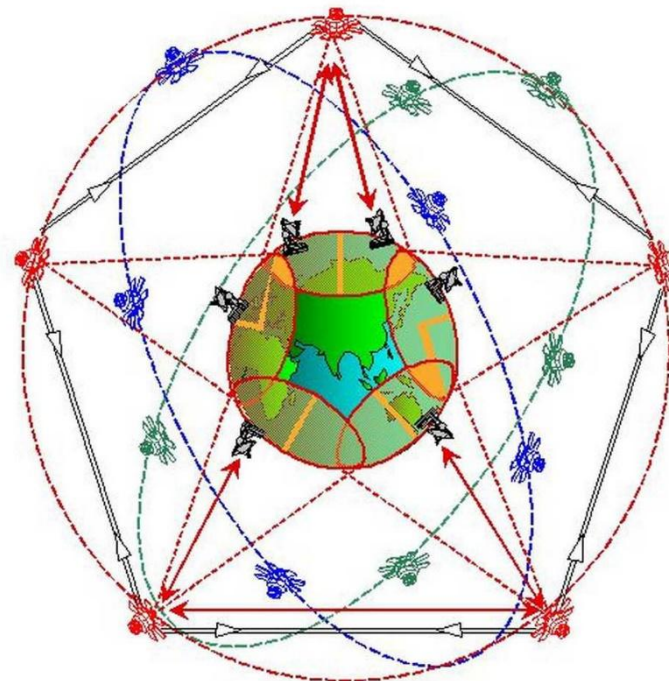
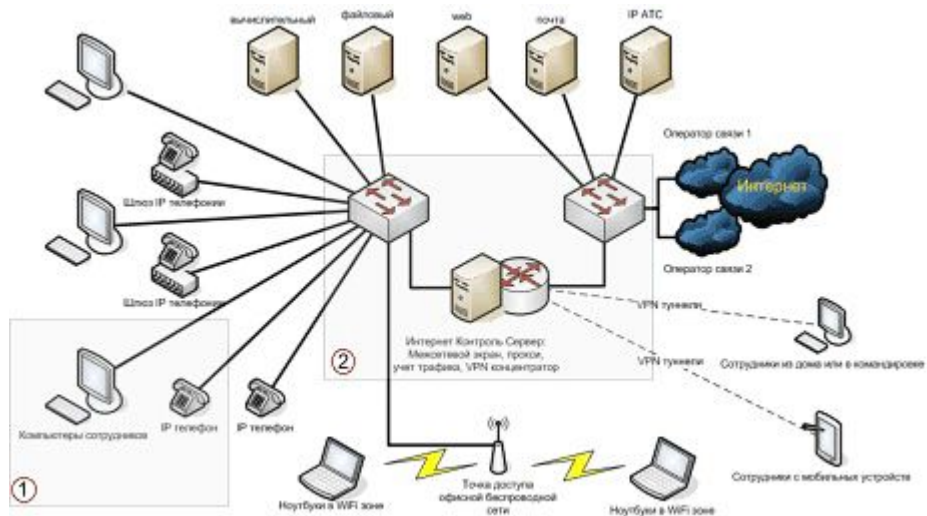


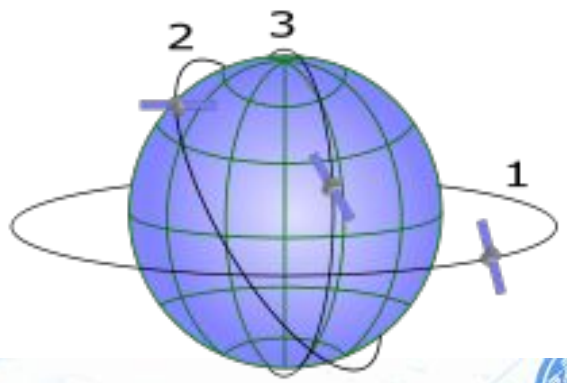
Телеграфный аппарат
Морзе. Первая четверть
XX века

телеграфный аппарат
СТА-М67Б 1971 г.в.



AVITO.RU





Общие сведения о системах электрической связи

Системы связи предназначены для
передачи *информации*.

Информация передается в виде
сообщений.

Таким образом, *сообщение – форма
представления информации*.

Сообщения

Сообщение – совокупность **знаков (символов)**.

Текст телеграммы состоит из букв, цифр, пробелов и специальных знаков (А, б, 1, 7, ?, !, ...)



Телеграфное сообщение, готовое для передачи по каналу связи, состоит из **канальных символов** (например, из «точек», «тире» и пауз при использовании кода («азбуки») Морзе)

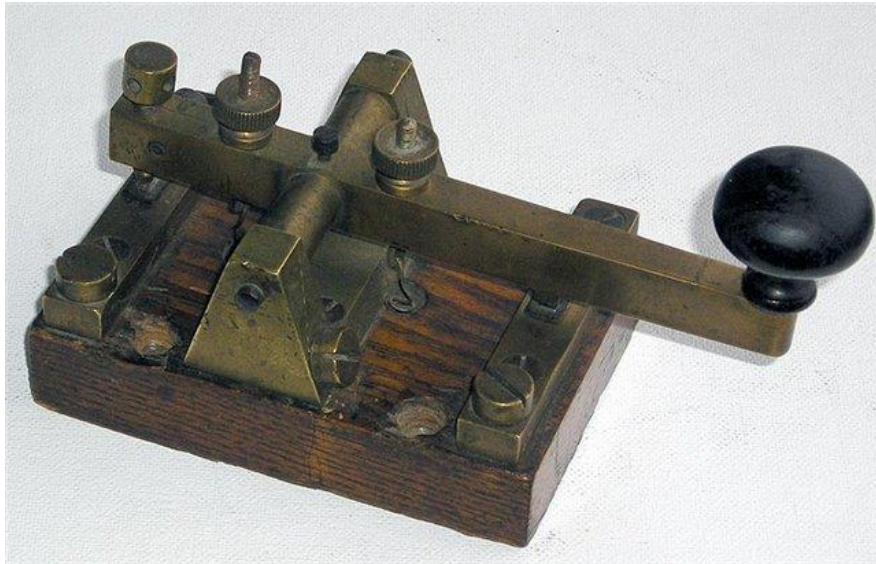
• • • — — — • • • • — — — •

• •

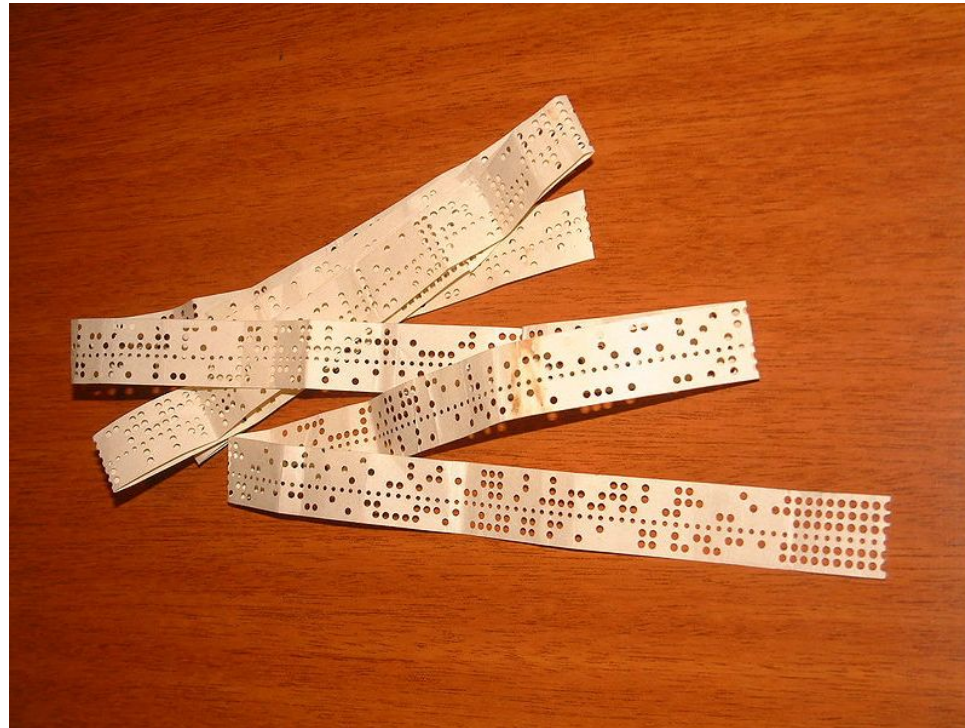


ИЗ СИМВОЛОВ 0 и 1 в **коде Бодó:**
00111 00101 01001 01110 00111 00011 11001



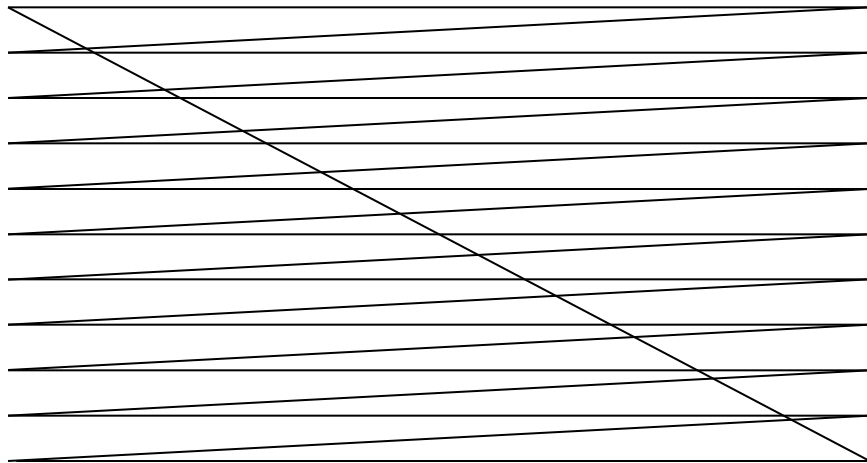


00111 00101 01001 01110 00111 00011 11001



Сообщения

- В системе **черно-белого телевидения** сообщение - последовательность **кадров**, каждый кадр - последовательность значений яркости, упорядоченных согласно **схеме телевизионной развертки**



Сообщения

- В **телефонии** сообщение – непрерывная последовательность значений изменяющегося во времени звукового давления на мембрану микрофона:

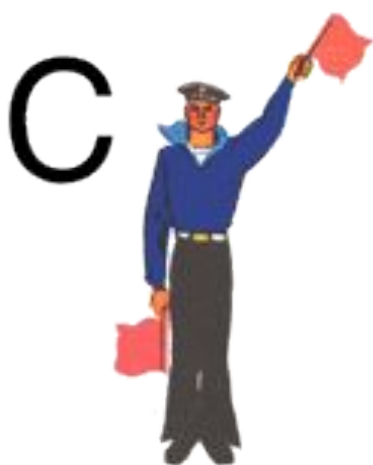


Сообщения

- ✓ сообщения могут быть **дискретными** (состоящими из символов, принадлежащих конечному множеству – **алфавиту**), например, телеграмма «встречай 18-30 вагон 6»
- ✓ или **непрерывными** (континуальными, **аналоговыми**), описываемыми функциями непрерывного времени, например, речевое сообщение

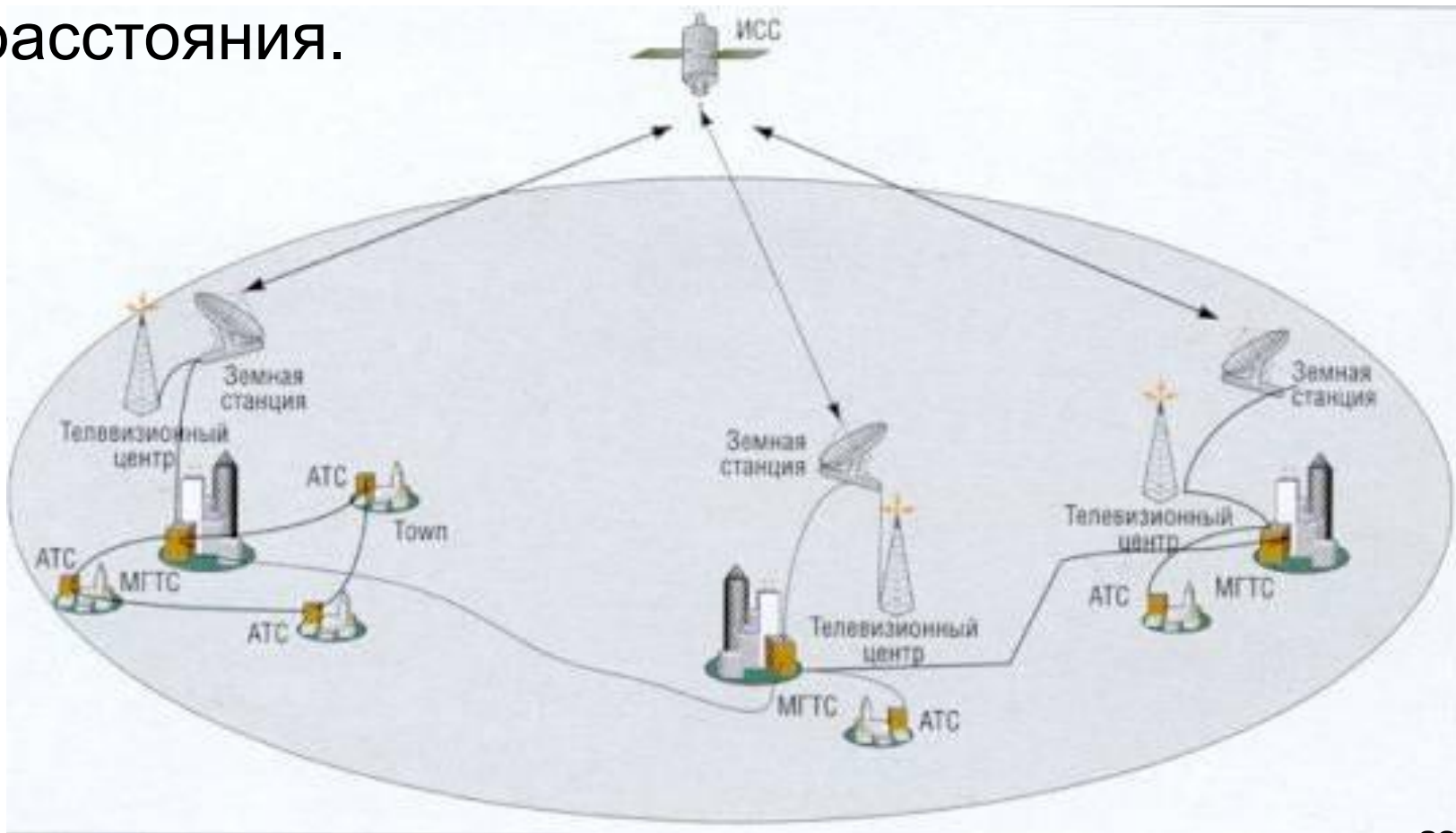


- Для передачи сообщения необходим материальный носитель или физический процесс, называемый **сигналом**.



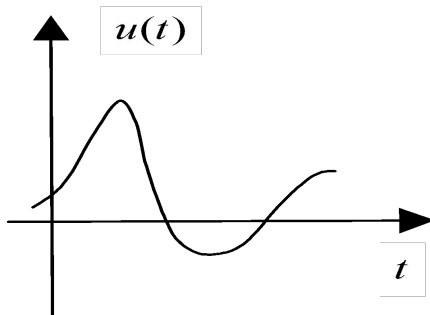
А	Б	В	Г	Д	Е	Е
Ж	З	И	Й	К	Л	М
Н	О	П	Р	С	Т	У
Ф	Х	Ц	Ч	Ш	Щ	Ъ
Ы	Ь	Э	Ю	Я		

В радиотехнике и электрической связи используются **электрические сигналы**, которые наилучшим образом приспособлены для передачи больших объемов данных на большие расстояния.

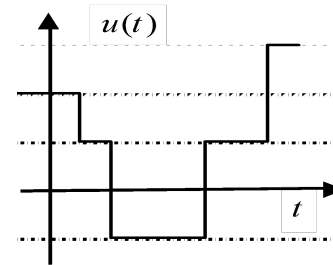


Сигналы

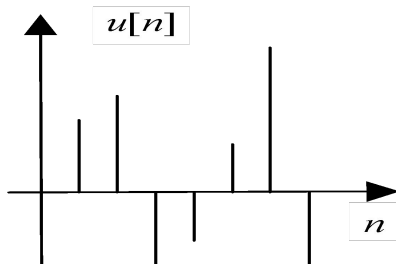
- Обычно сигнал описывается некоторой функцией времени.



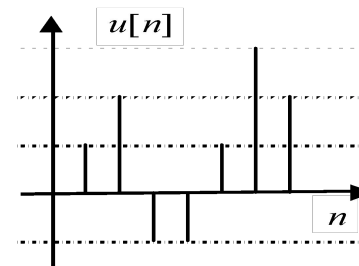
- Аналоговый (континуальный)



- Квантованный

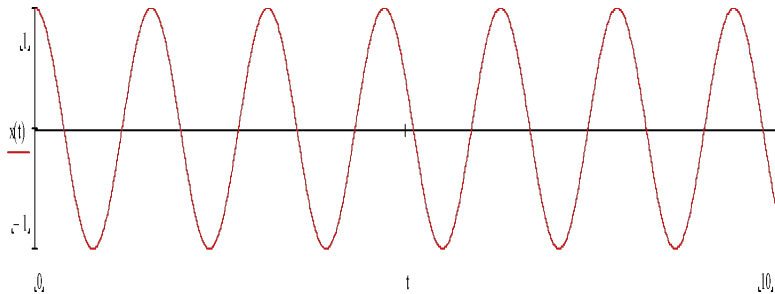


- Дискретный



- Цифровой

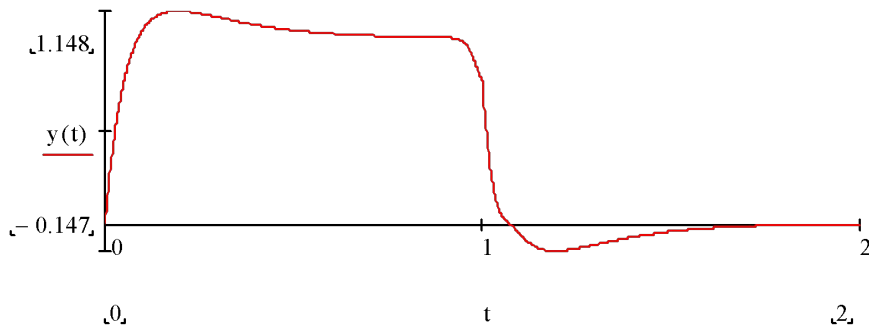
Примеры аналоговых сигналов:



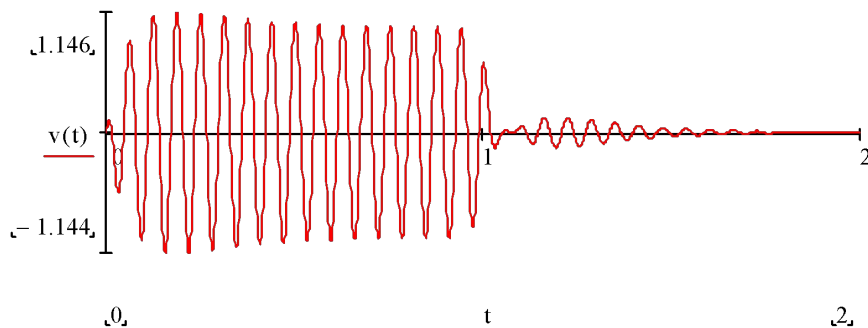
Гармоническое колебание

$$A \cos(\omega t + \varphi)$$

ω - оме́га

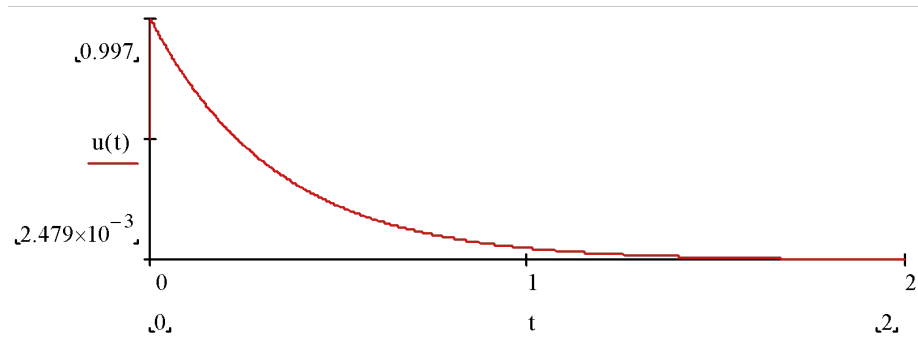


Видеоимпульс (не меняет знака или меняет несколько раз)



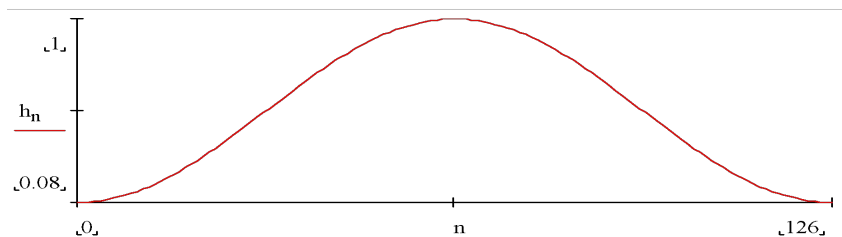
Радиоимпульс (меняет знак многократно)

Примеры сигналов:

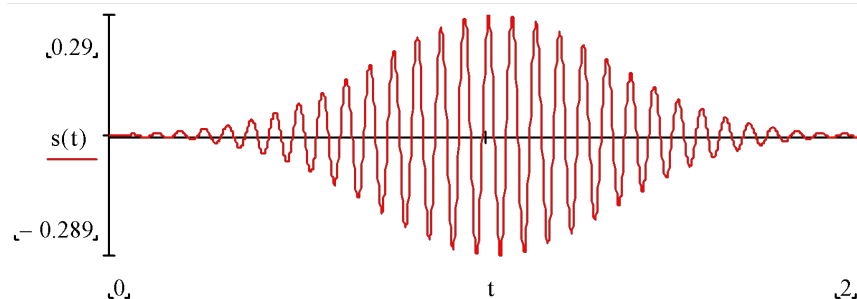


Экспоненциальный
видеоимпульс

$$u(t) = \begin{cases} e^{-\alpha t} & \text{при } t \geq 0 \\ 0 & \text{в противном случае} \end{cases}$$



Колокольный
(колоколообразный)
видеоимпульс

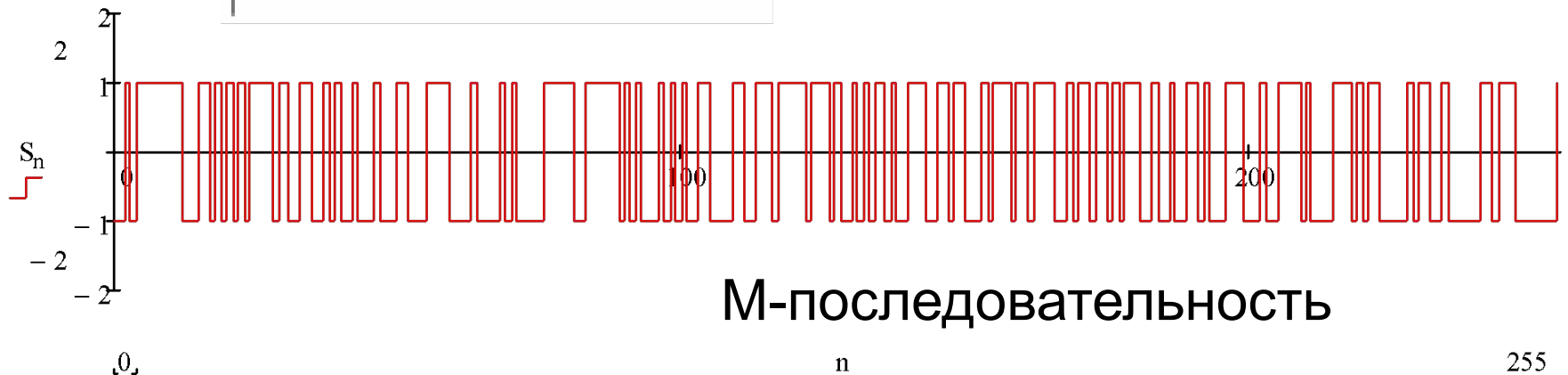


Колокольный
радиоимпульс

Примеры сигналов:

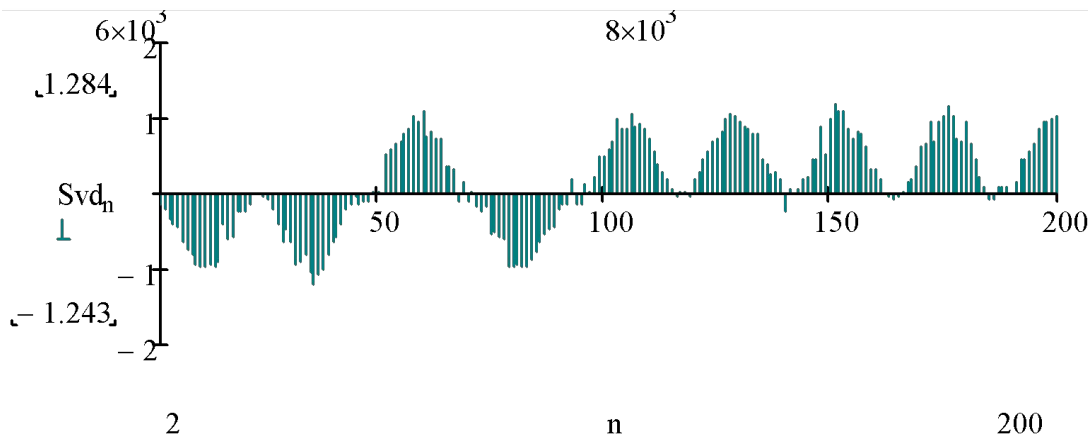


Фрагмент речевого сигнала



M-последовательность

255

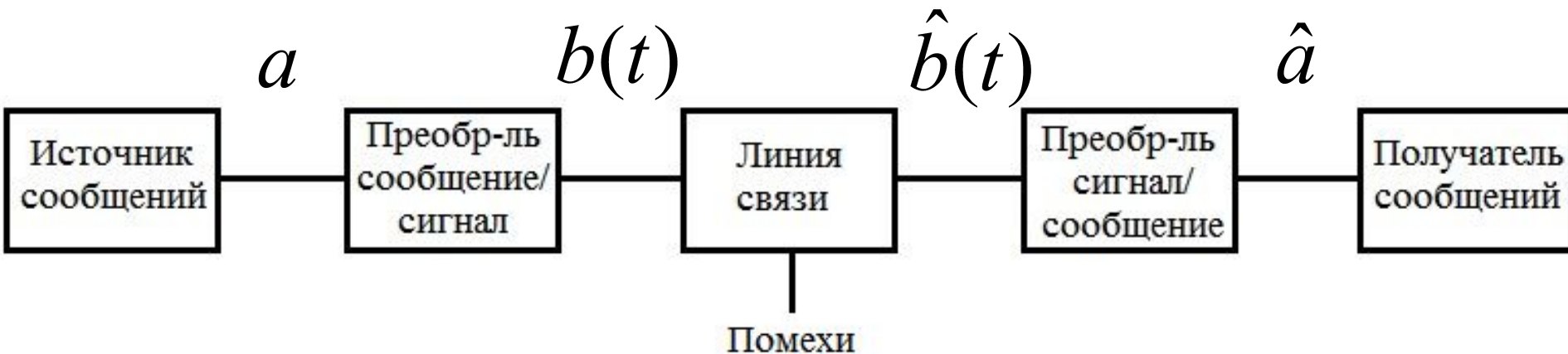


Фрагмент дискретного сигнала

Системы связи

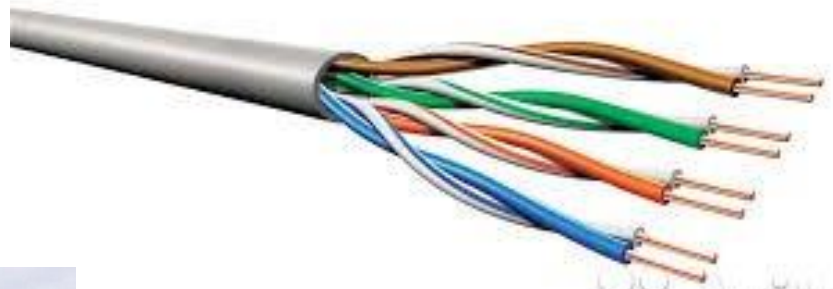
- ✓ *Система связи* - совокупность устройств, выполняющих преобразования сообщений и сигналов с целью передачи сообщений от источника к получателю.
- ✓ К показателям эффективности систем связи относятся *верность (достоверность), скорость передачи информации, помехоустойчивость*, а также некоторые другие величины.

Структура простейшей системы связи



Сообщение a преобразуется преобразователем в сигнал $b(t)$, называемый *первичным сигналом*. Первичный сигнал поступает в линию связи, где подвергается действию помех, в результате получается сигнал $\hat{b}(t)$, который преобразуется в сообщение \hat{a}

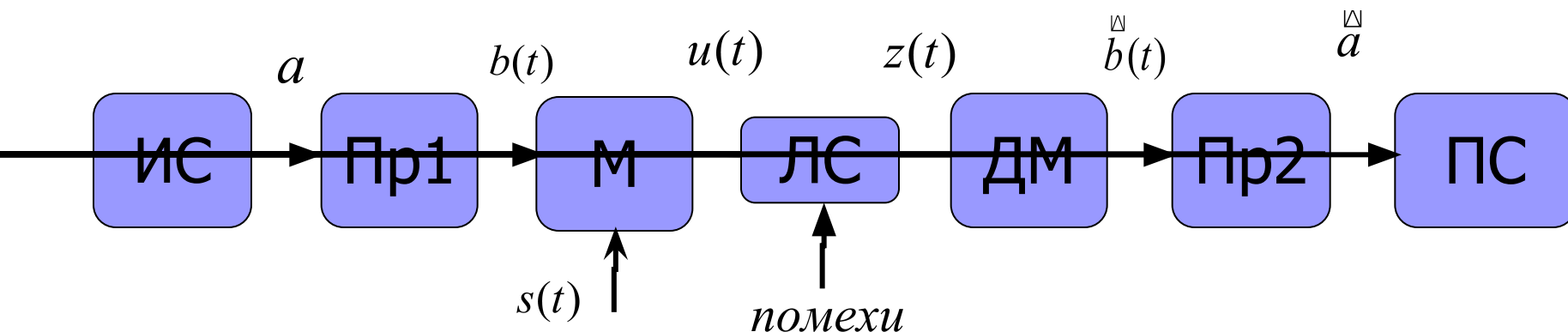
Линии связи



AVITO

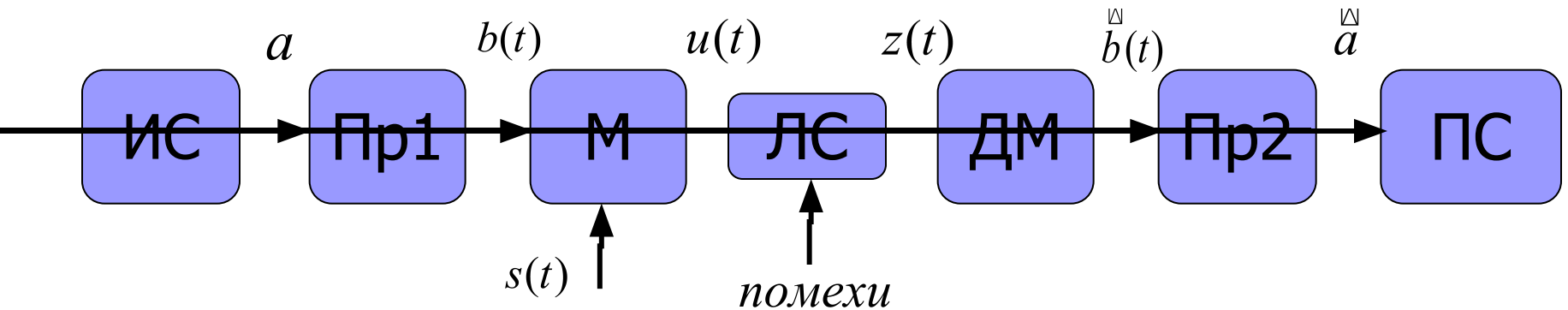


Структура простой системы связи



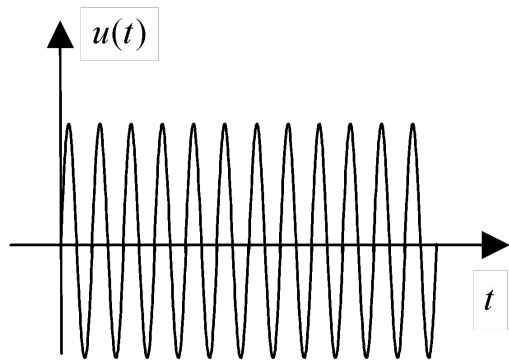
Сообщение a преобразуется преобразователем Пр1 в сигнал $b(t)$, называемый **первичным сигналом**. Первичный сигнал, поступает на **модулятор (передатчик) М**, где используется для **модуляции** другого колебания $s(t)$, более подходящего для передачи и называемого **переносчиком** или **несущим колебанием**.

Структура простой системы связи

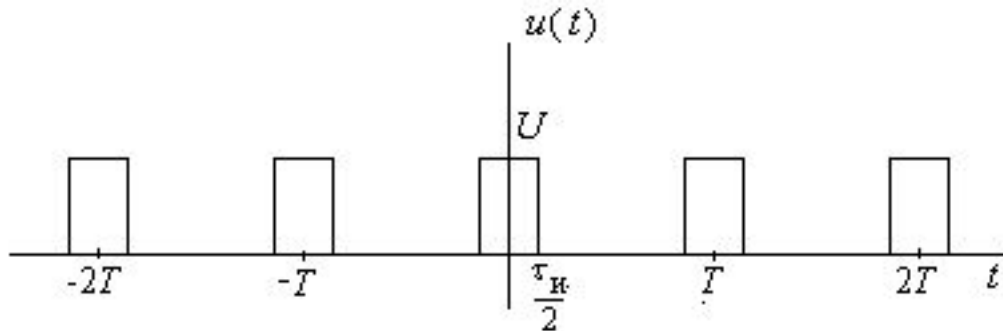


Модуляция – изменение одного или нескольких параметров переносчика в соответствии с изменением первичного сигнала (или передаваемого сообщения)
Часто переносчик – **высокочастотное гармоническое колебание**, параметры – амплитуда, частота, начальная фаза. Также применяется переносчик – **периодическая последовательность импульсов одинаковой формы**.
Цель модуляции – согласование сигнала с линией (каналом) связи

Переносчики



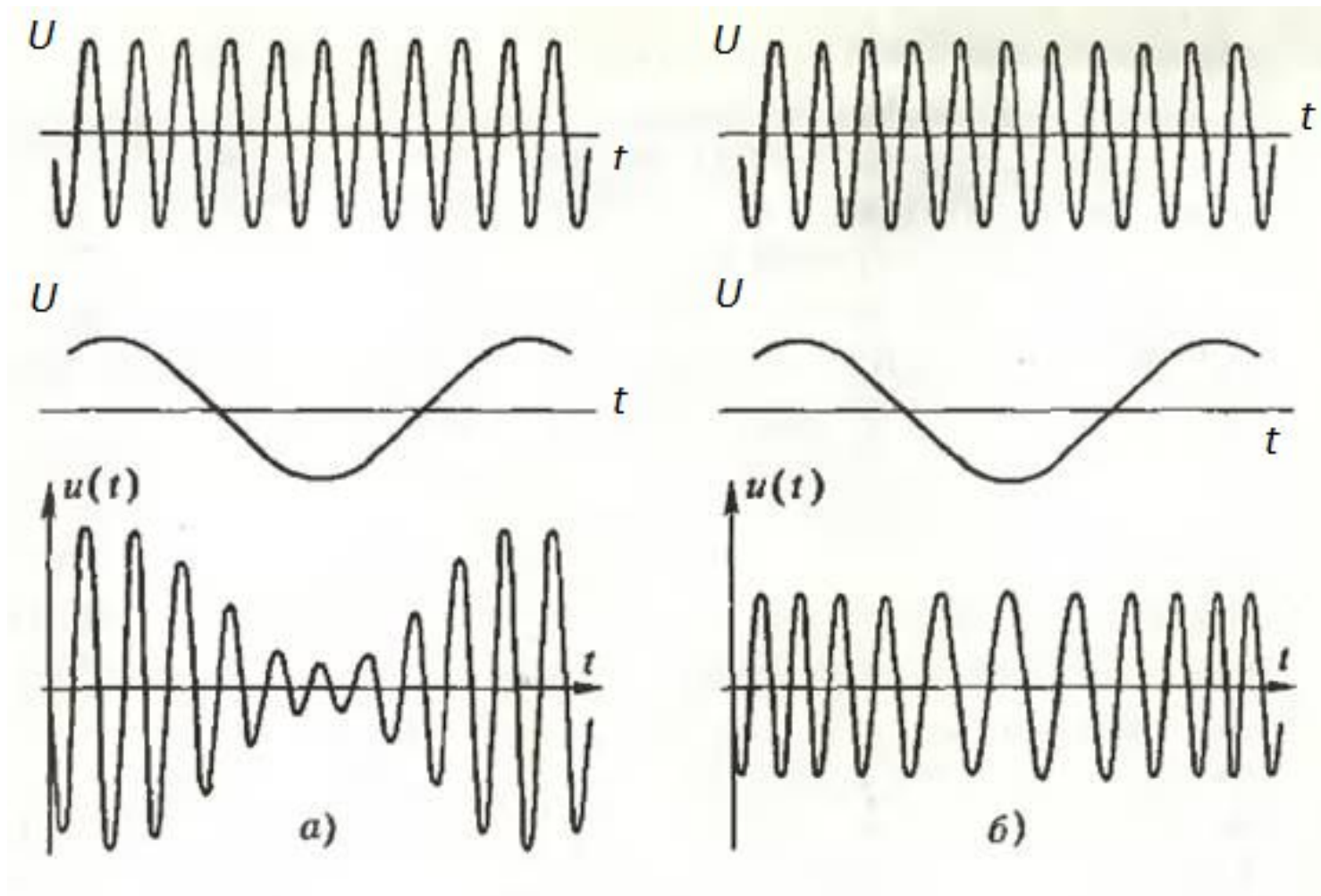
переносчик – высокочастотное гармоническое колебание,
параметры – амплитуда, частота, начальная фаза.



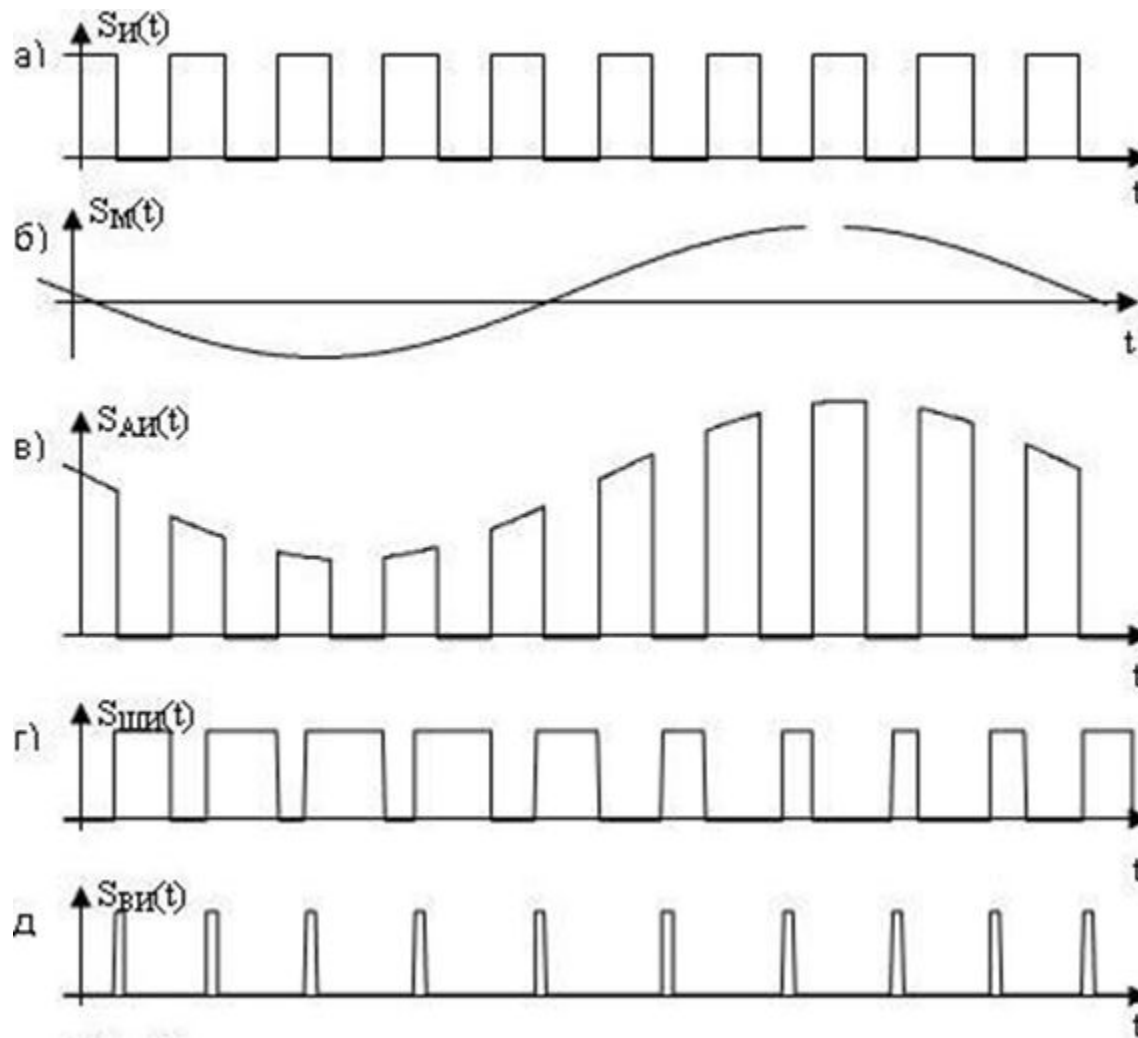
переносчик –
периодическая
последовательность
импульсов
одинаковой формы,

параметры – высота (амплитуда),
длительность, период повторения

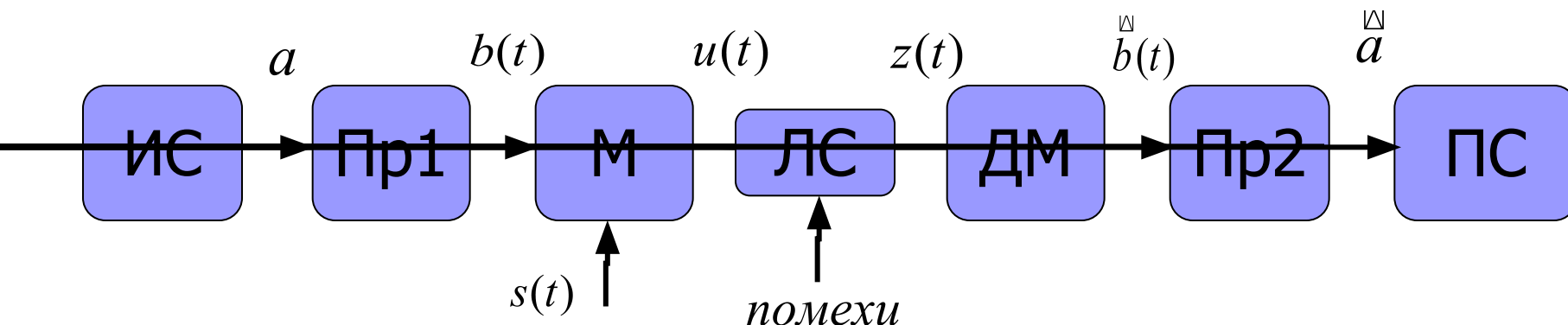
Модуляция гармонического переносчика



Модуляция импульсного переносчика



Структура простой системы связи



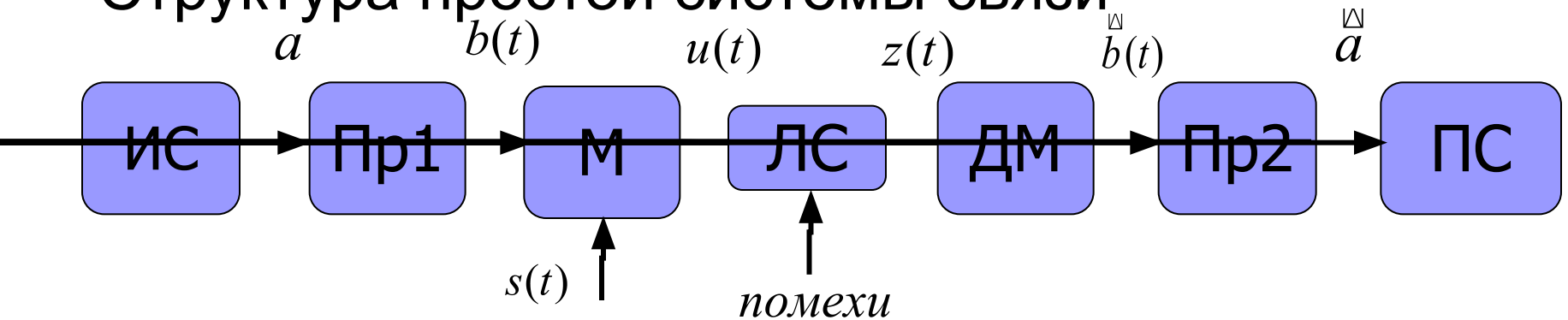
Модулированный сигнал $u(t)$ передается по линии связи, где подвергается *искажениям* и воздействию *помех*.

Искажения – это изменения формы сигнала, обусловленные неидеальностью линии (канала) связи.

Помехи – это «посторонние» колебания, мешающие передавать информацию.

Наблюдаемое колебание поступает на **демодулятор** ДМ. Цель демодуляции (детектирования) – восстановление первичного сигнала по наблюдаемому колебанию $z(t)$

Структура простой системы связи



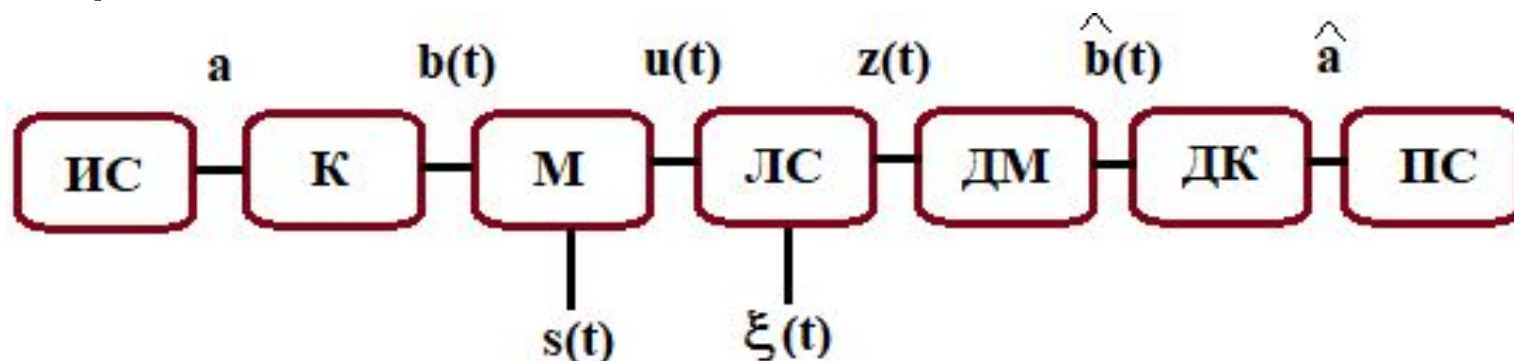
Точное восстановление первичного сигнала невозможно, т.к. **помеха всегда случайна**.

Восстановленный сигнал отличается от первичного.

Чем меньше отличие, тем выше **верность**.

Преобразователь Пр2 преобразует восстановленный сигнал в сообщение, которое также отличается от исходного сообщения

Структура дискретной системы связи с кодированием



Сообщение кодируется, т.е. его символы преобразуются **кодером** К в символы другого (кодowego) алфавита. Обычно последовательность кодовых символов представлена в форме **цифрового сигнала** $b_{\text{Ц}}(t)$, которым модулируется переносчик.

Обратное преобразование выполняет **декодер** ДК.

Кодер и декодер, объединённые конструктивно – **ко́дек**

Модулятор и демодулятор, объединённые конструктивно – **мо́дем**

Цели кодирования

- согласование формы сообщения со свойствами канала связи (например, код Морзе при манипулировании ключом, код Бодо при использовании аппарата Бодо)
- повышение скорости передачи информации (кодирование источника, энтропийное, статистическое, **эффективное** кодирование, сжатие)
- повышение верности (**помехоустойчивое**, канальное кодирование)



Обычно один символ исходного сообщения
заменяется совокупностью кодовых символов —
кодовым словом (кодовой комбинацией)

Если все кодовые слова имеют одинаковую длину —
код *равномерный* (например, код Бодó),

00010 00011 00100 00101 00110

если нет — *неравномерный* (например, код
Хаффмана)

01 00 10 110 1110 11110 111110

- Ж.М.Э. Бодó (1845 — 1903) — известный французский инженер (**J.M.E. Baudot**)

Шифрование

Цель **шифрования** – предотвращение *несанкционированного извлечения* или *преднамеренного изменения* информации противником.

При **зашифровании** производится замена открытого сообщения *шифrogramмой* (шифртекстом), а при **расшифровании** – обратное преобразование. Зашифрование выполняется до преобразования сообщения в первичный сигнал или в кодовую последовательность.

Отличие от кодирования: **коды известны всем**, а шифры (точнее, **ключи** к ним) **хранятся в тайне**

Структура дискретной системы связи с кодированием и шифрованием



ИС – источник сообщения

ПР1, ПР2 – преобразователи сообщение/сигнал и сигнал/сообщение

М – модулятор

ДМ – демодулятор

ЛС – линия связи

ПС – получатель сообщения

S(t) – переносчик (несущее колебание)

$\xi(t)$ – помеха

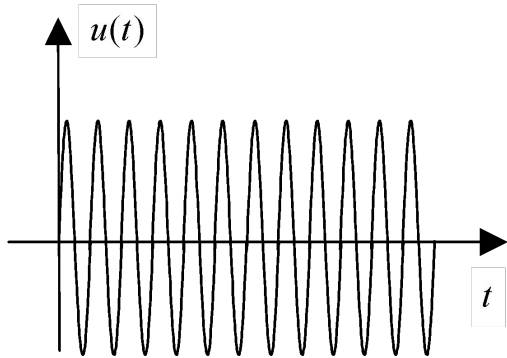
К – кодер

Ш – шифратор

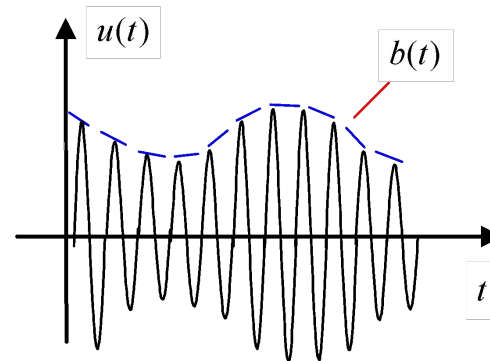
ДК – декодер

ДШ – дешифратор

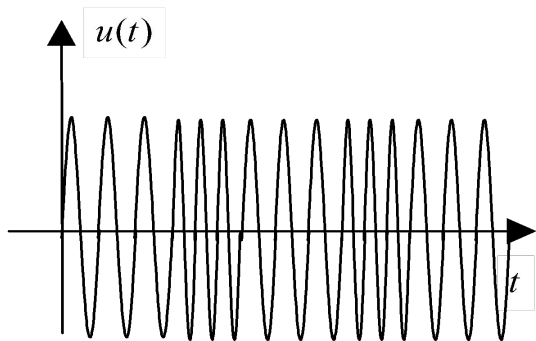
Модуляция гармонического переносчика



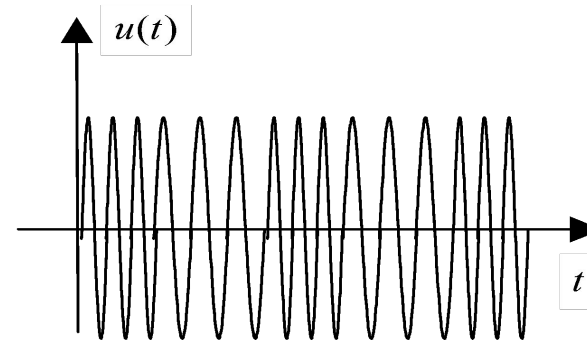
Несущее гармоническое колебание



Амплитудно-модулированное (АМ) колебание

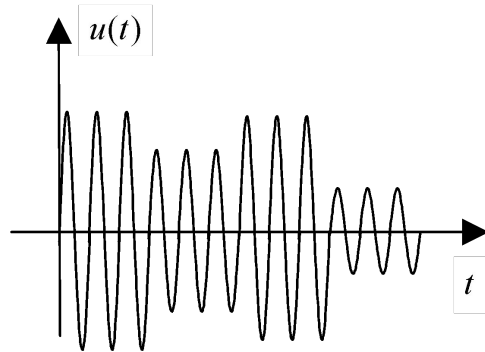


Частотно-модулированное (ЧМ) колебание

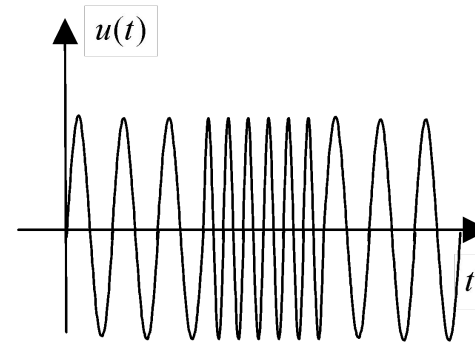


Фазомодулированное (ФМ) колебание

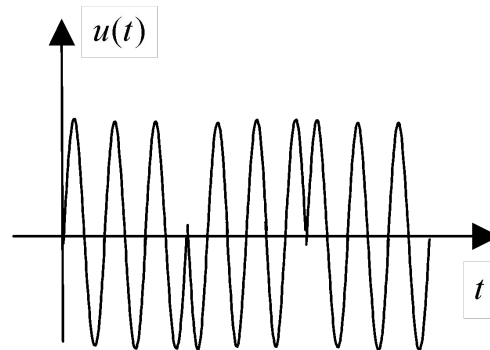
Дискретная (цифровая) модуляция гармонического переносчика (манипуляция)



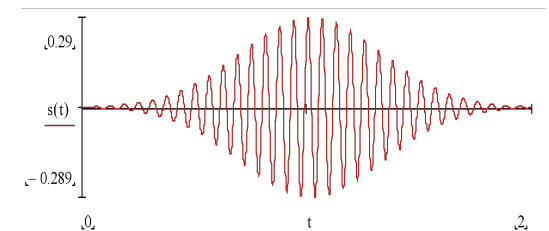
Амплитудная манипуляция



Частотная манипуляция



Фазовая манипуляция



Здесь посылка прямоугольная; на практике чаще применяются колокольные импульсы

Техническая скорость

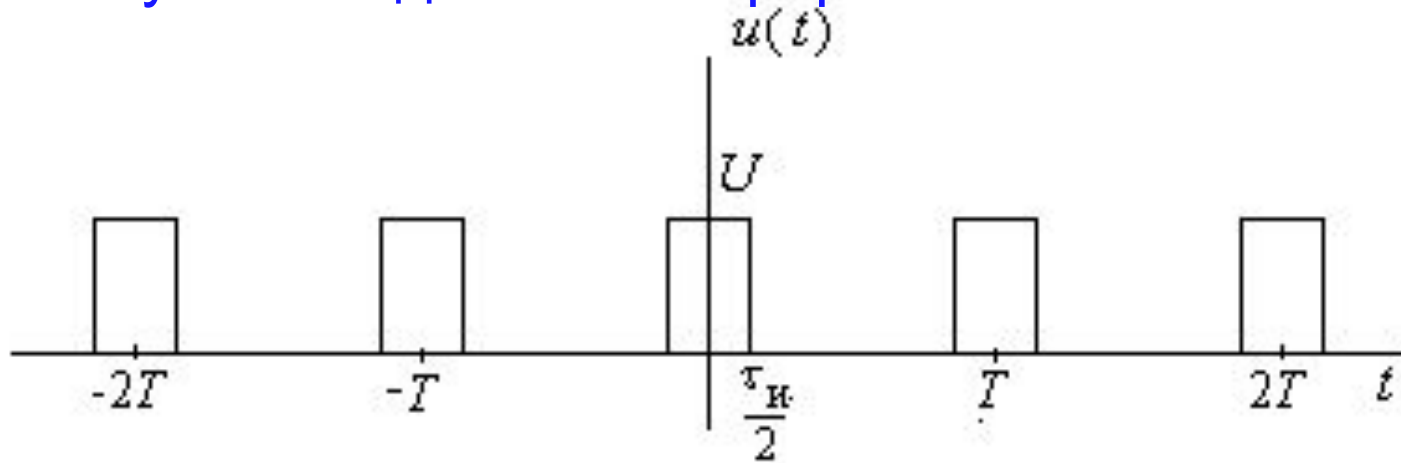
- Колебание при дискретной модуляции характеризуют *технической скоростью* (*скоростью модуляции*, скоростью телеграфирования), равной количеству элементарных посылок в секунду. Единицей измерения скорости модуляции является **Бод** (1 Бод соответствует одной посылке в секунду).

Бод назван в честь Ж.М.Э. Бодо
(Jean-Maurice-Émile Baudot, 1845 —1903)



Модуляция импульсной последовательности

Переносчик – периодическая последовательность импульсов одинаковой формы.



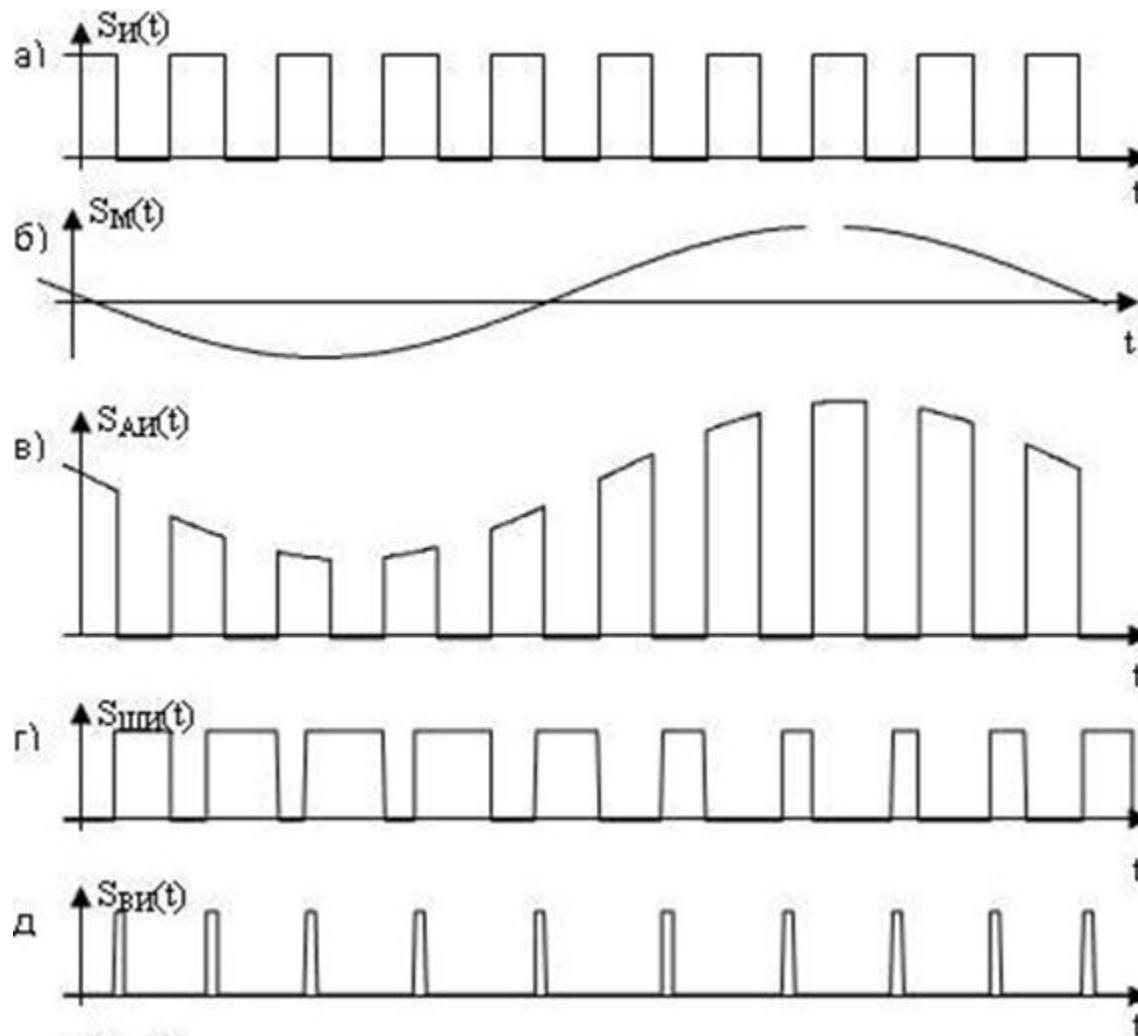
Периодическая последовательность импульсов одинаковой формы имеет три параметра:

- пиковое значение («амплитуду») импульса,
- длительность импульса,
- частоту следования импульсов

При аналоговом первичном сигнале различают:

- амплитудно-импульсную модуляцию (АИМ),
- широтно-импульсную модуляцию (ШИМ, или ДИМ),
- времяимпульсную модуляцию (ВИМ), при которой изменяется время задержки импульсов относительно среднего положения, и
- частотно-импульсную модуляцию (ЧИМ), когда в такт с первичным сигналом изменяется частота следования импульсов.

Модуляция импульсного переносчика



Важнейшие характеристики систем связи

Верность (достоверность) дискретных систем связи определяется вероятностью безошибочного приема сообщения или отдельной посылки (**больше – лучше**).

Верность систем передачи **непрерывных** сообщений часто характеризуется средним квадратом ошибки (**меньше – лучше**).

$$\varepsilon^2 = \frac{1}{T} \int_0^T |b(t) - \hat{b}(t)|^2 dt$$

Помехоустойчивость системы связи характеризуют **отношением средних мощностей** сигнала и помехи (ОСП), при котором обеспечивается **заданная верность** (**меньше – лучше**).

Демодуляция – восстановление первичного сигнала по принятому искаженному колебанию, а *декодирование* – восстановление дискретного сообщения по демодулированному сигналу.

Часто перед демодуляцией применяют **дополнительное преобразование с целью повышения достоверности** (уменьшения вероятности ошибки). Такое преобразование называют *обработкой*.

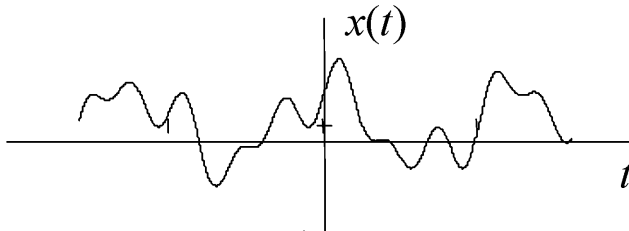
Оптимальной называется обработка, обеспечивающая наивысшую достоверность решения.

Квазиоптимальная (субоптимальная) обработка – проще и дешевле, при этом она обеспечивает достоверность, близкую к предельной.

Часто квазиоптимальная обработка представляет собой *фильтрацию* принятого колебания с целью подавления помех.

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ПО ТИПУ НЕЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

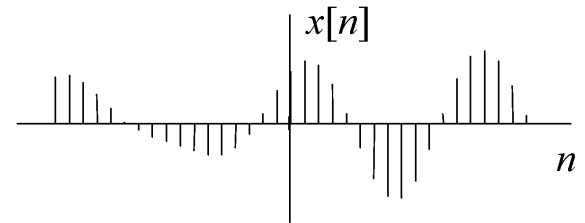
аналоговые(континуальные)
(время непрерывно)



импульс

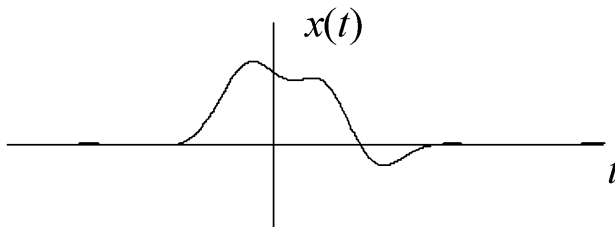
(аналоговый сигнал, определённый на непрерывной временной оси)

дискретные
(время дискретно)



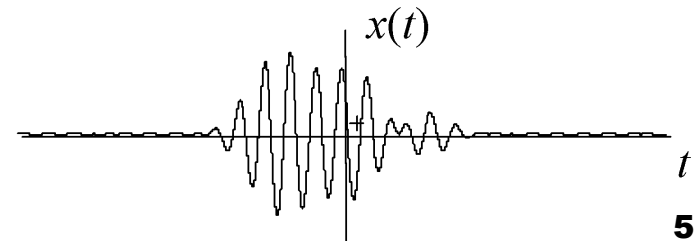
видеоимпульсы

(не меняют знака или меняют его несколько раз)

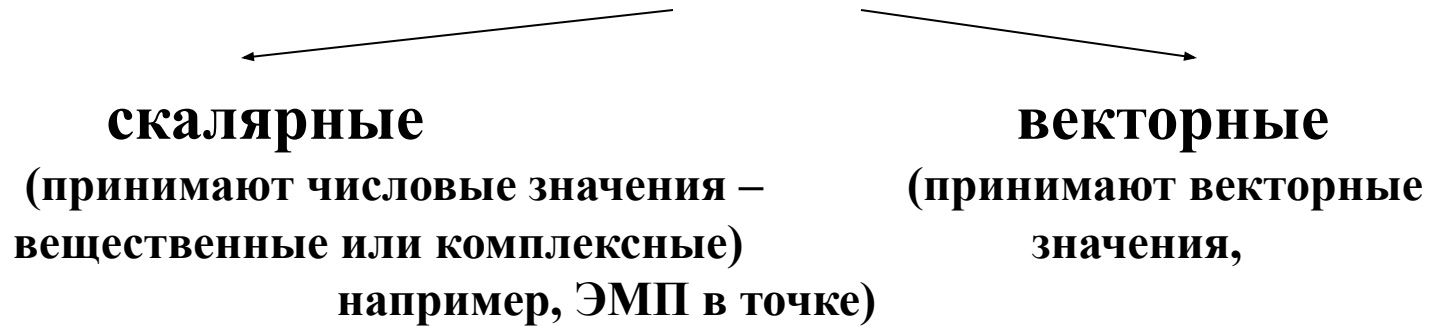


радиоимпульсы

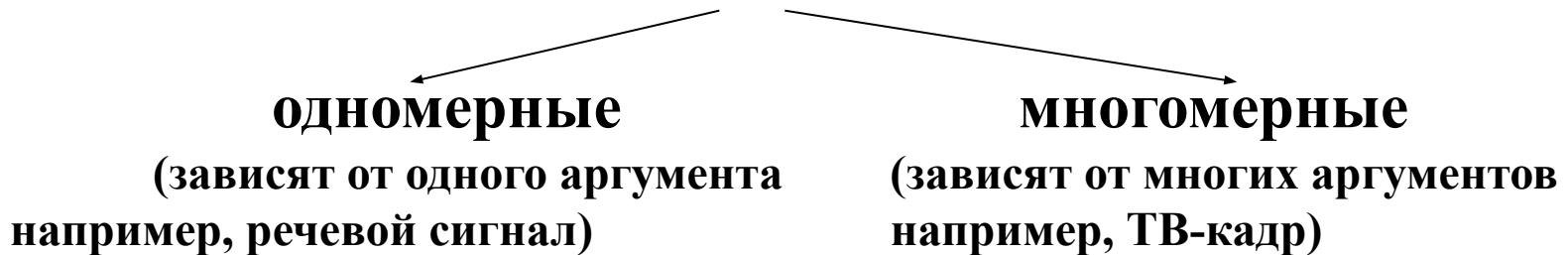
(меняют знак многократно)



КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ПО РАЗМЕРНОСТИ ЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

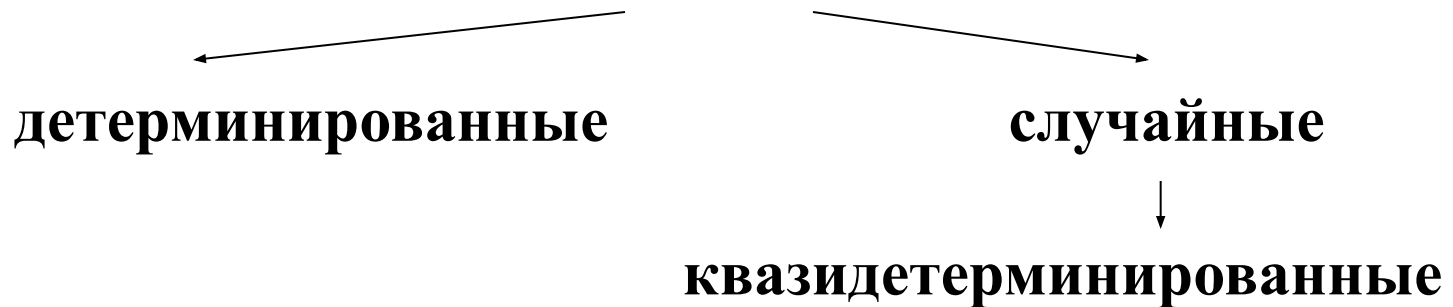


КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ПО РАЗМЕРНОСТИ НЕЗАВИСИМОЙ ПЕРЕМЕННОЙ

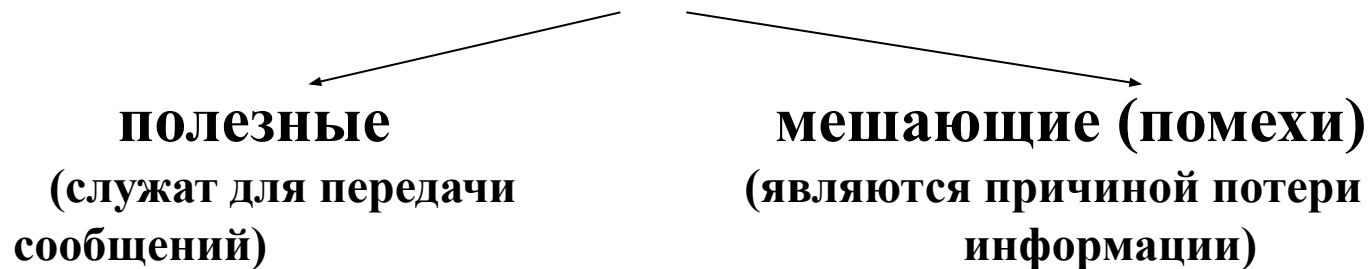


Сигнал цветного ТВ – векторный (размерности 3); можно рассматривать его как одномерный (при передаче по каналу) или как двумерный (при обработке и анализе кадра) или как трехмерный (как последовательность кадров)

КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ПО ХАРАКТЕРУ ПРОЯВЛЕНИЯ (ОПИСАНИЯ)



КЛАССИФИКАЦИЯ СИГНАЛОВ ПО ОТНОШЕНИЮ К ПЕРЕДАЧЕ СООБЩЕНИЙ



ПОМЕХИ

```
graph TD; A[ПОМЕХИ] --- B[Естественные (например, от молний)]; A --- C[Преднамеренные (искусственные)]; B --- D[Шумовые (флюктуационные), напр., тепловые шумы]; B --- E[Активные]; C --- F[Импульсные напр., от св. апп.]; C --- G[Пассивные];
```

Естественные
(например, от молний)

Преднамеренные
(искусственные)

Шумовые
(флюктуационные),
напр., тепловые шумы

Импульсные
напр., от св. апп.

Активные

Пассивные

КЛАССИФИКАЦИЯ ПОМЕХ ПО СПОСОБУ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С СИГНАЛОМ

- *аддитивные* (от английского *add* – складывать),
- *мультипликативные* (от английского *multiply* – умножать) и
- *смешанные* (сюда относятся все взаимодействия, не сводимые к аддитивному или мультипликативному).

Все помехи, как и все сигналы, являются случайными!

(если помеха детерминированная, то её можно исключить из наблюдаемого колебания, и таким образом избавиться от её вредного воздействия на сообщение)

Системы и каналы связи

Системы связи

ТГ (телеграфия)

ТФ (телефония)

ФТГ (фототелеграфия)

ТВ (телевидение)

ТМ (телеметрия)

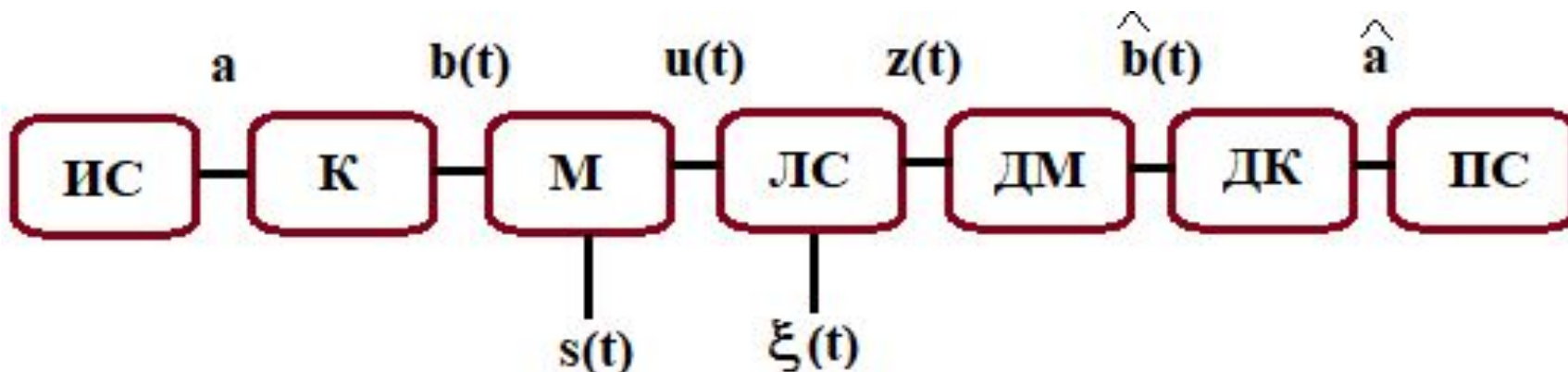
ТУ (телеуправление)

ПД (передача данных)

ЗиВ (запись и воспроизведение)

Каналы связи

Совокупность устройств и линий связи, которые сигнал проходит последовательно между *любыми* двумя точками системы связи, называется *каналом связи*. Таким образом, каналы связи могут соединяться последовательно друг с другом, один канал может входить составной частью в другой канал и т.п.



Сигнал, как «объект транспортировки»

1. Длительность сигнала T_c , измеряемая в секундах (с).
2. Любой сигнал можно представить суммой (суперпозицией) гармонических колебаний с определенными частотами, поэтому вторая «габаритная характеристика» – ширина спектра, или полоса частот сигнала F_c , равная разности наивысшей и низшей частот его гармонических составляющих и измеряемая в герцах (Гц).
3. *Динамический диапазон*, измеряемый в децибелах (дБ) и определяемый формулой

$$D_c = 20 \lg \left(\frac{X_{\max}}{X_{\min}} \right)$$

где X_{\max} и X_{\min} – соответственно максимальное и минимальное возможные значения сигнала (напряжения или тока)

$$V_c = T_c F_c D_c \quad \text{– объем сигнала}$$

Канал, как «транспортное средство»

характеризуется параметрами, аналогичными параметрам сигнала:

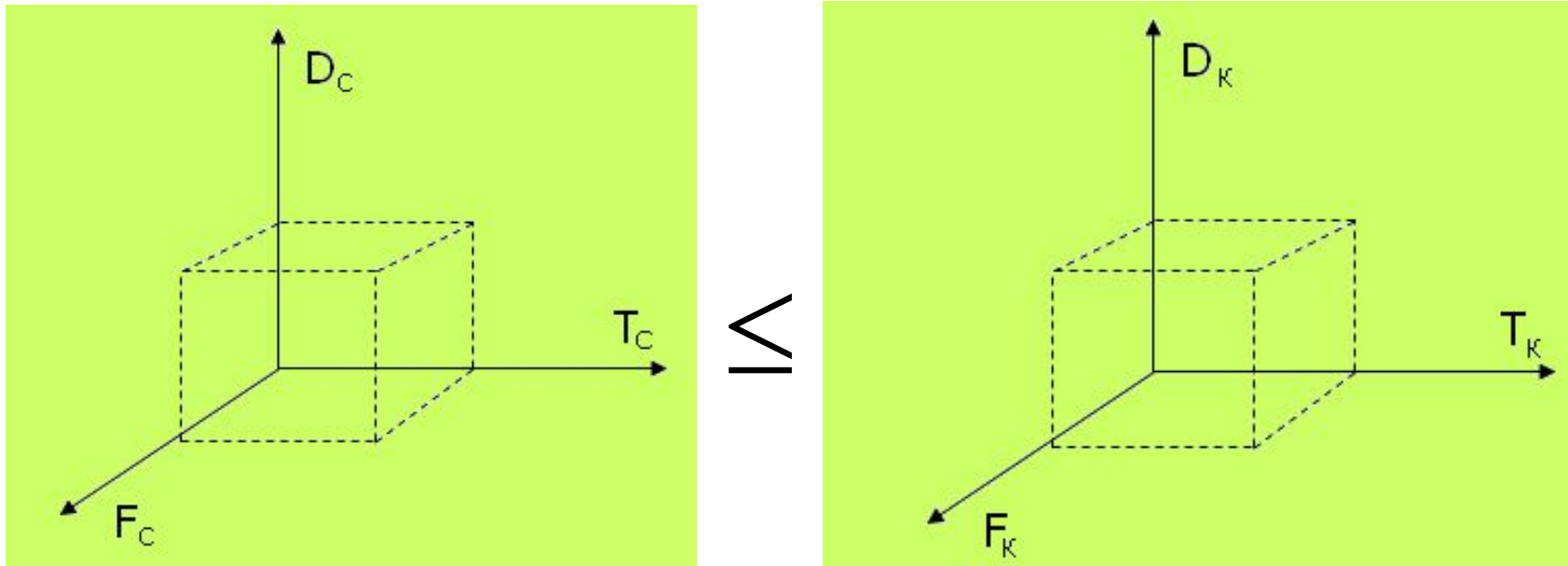
- время действия канала T_K , измеряемое в секундах;
- полоса пропускания канала F_K , измеряемая в герцах;
- динамический диапазон канала в децибелах, определяемый максимальным и минимальным значениями сигнала, которые могут передаваться по данному каналу:

$$D_K = 20 \lg \left(\frac{X_{\max}}{X_{\min}} \right)$$

$$V_K = T_K F_K D_K \quad \text{– объём (ёмкость) канала}$$

$$V_{\text{Э}} \leq V \quad \text{– необходимое условие передачи информации без потерь}$$

$V_{\mathfrak{K}} \leq V$ – необходимое условие передачи информации без потерь



возможен «обмен» одних параметров сигнала на другие!

длительность на полосу (ускоренная или замедленная передача)

динамический диапазон на время или полосу (кодирование, ИКМ)

Каналы связи

По назначению
(ТГ,ТФ,ФТГ,ТВ,ТМ,ТУ,ПД,ЗиВ)

По виду используемой
среды

Проводные

Радиоканалы

Воздушные

Кабельные

Волноводные

Световодные

Спутниковые

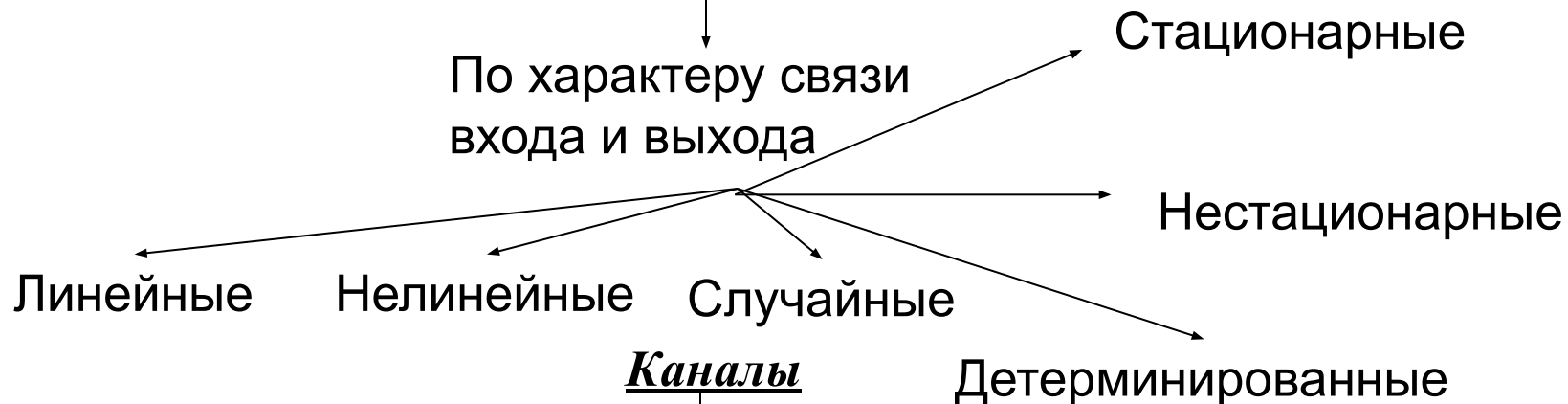
Тропосферные

Ионосферные

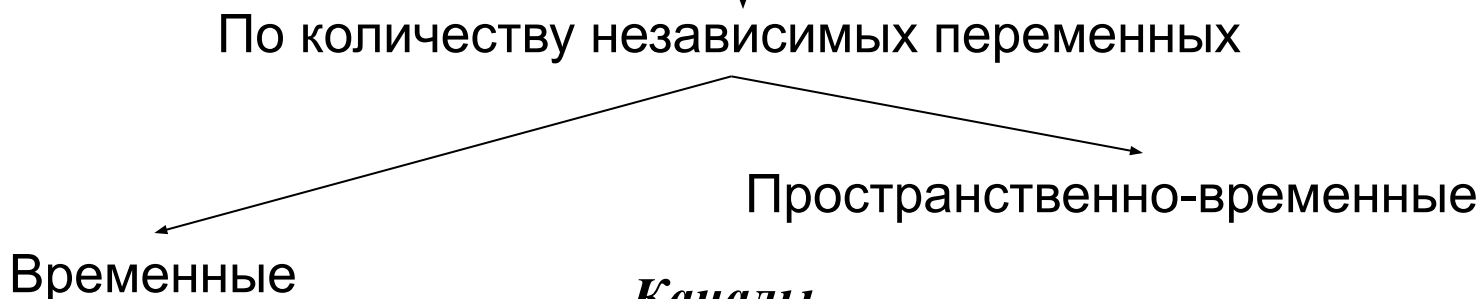
Метеорные

Акустические

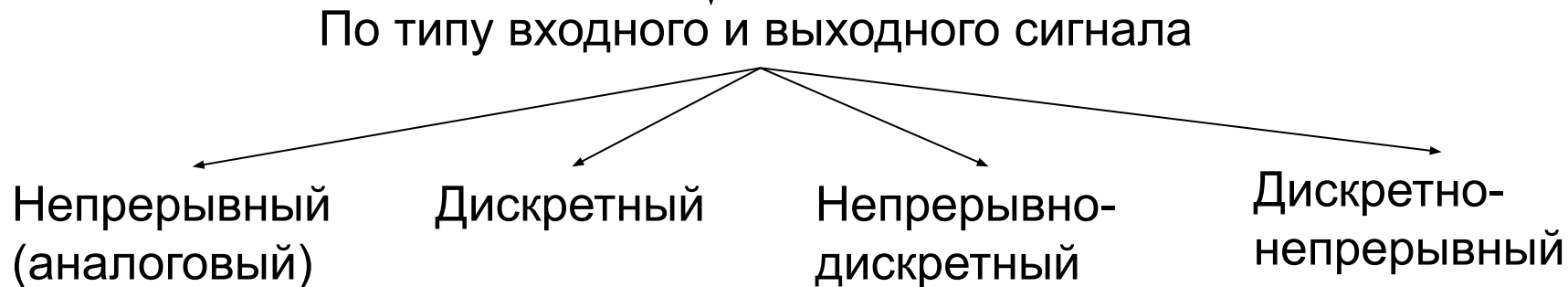
Каналы



Каналы




Каналы



Необходимость математических моделей

Общий подход к разработке и проектированию современных технических систем, в том числе систем связи, заключается в получении **оптимальных** или хотя бы **субоптимальных** технических решений. Такие решения, как правило, не могут быть получены эмпирическим (опытным) путем – методом «проб и ошибок».


Для этого необходимо иметь соответствующие теоретические, а значит, *математические* методы.



Нужна математическая теория, описывающая с единых позиций все многообразие электрических сигналов, применяемых в проводной и радиосвязи, радио- и телевизионном вещании, радиолокации и радионавигации, автоматике и телемеханике, глобальных и локальных компьютерных сетях и во многих других областях техники, поэтому следующая БОЛЬШАЯ тема –



ТЕОРИЯ СИГНАЛОВ



“One of the principal objects of theoretical research in any department of knowledge is to find the point of view from which the subject appears in its greatest simplicity”.

Josiah Willard Gibbs

“Одна из главных целей теоретического исследования в любой области знаний состоит в том, чтобы найти такую точку зрения на предмет, с которой он представляется в своей предельной простоте”.

Дж. У. Гиббс