

# ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ. ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО СИГНАЛА



**Бодо** (Baudot)  
Жан Морис Эмиль  
(1845 -1903)



# Жан Морис Эмиль Бодо

---

1872 год - создал аппарат, позволяющий по одной линии вести передачу нескольких телеграмм одновременно, причем получение данных происходило уже не в виде точек и тире (до того все подобные системы базировались на азбуке Морзе), а в виде букв

1874 год - положив в основу пятизначный код, сконструировал аппарат, скорость передачи которого достигала 360 знаков в минуту.

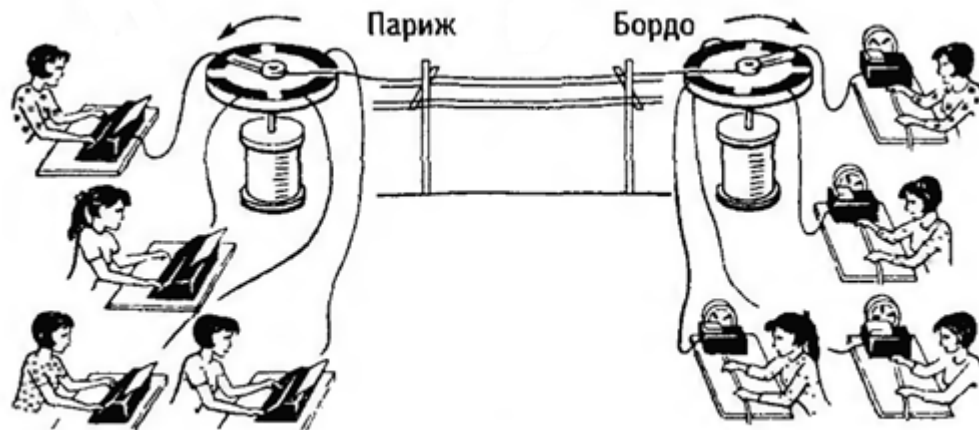
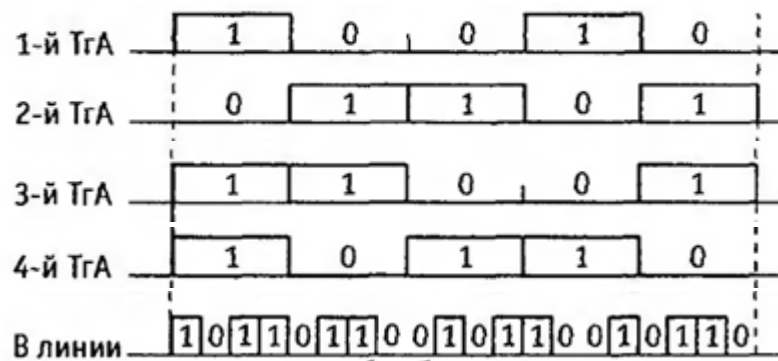
1876 г. – многоканальная система телеграфирования Бодо 75-100 бит/с.

1877 год - первые аппараты Бодо были введены в эксплуатацию на линии Париж – Бордо.

Помимо этих аппаратов Бодо разработал дешифраторы, печатающие механизмы и распределители, ставшие классическими образцами телеграфных приборов.

1927 год - именем Бодо была названа единица скорости телеграфирования – **бод**.

# ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО СИГНАЛА. ПРИНЦИП ЧЕРЕДОВАНИЯ БИТ



Аппарат Бодо

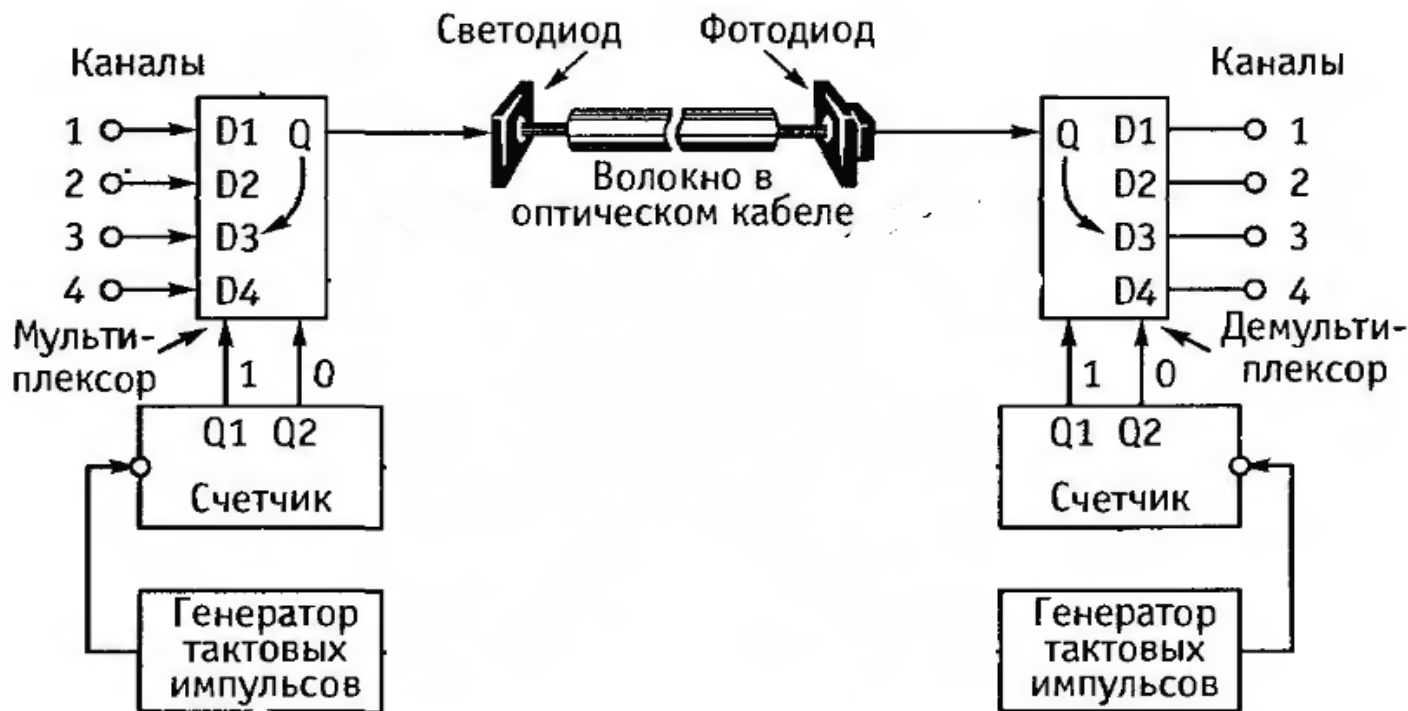
1876 г. – многоканальная система  
телеграфирования Бодо  
75-100 бит/с

11.05.2022

# МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ЦИФРОВЫХ ПОТОКОВ

Мультиплексор - это устройство, которое осуществляет выборку одного из нескольких входов и подключает его к своему выходу, в зависимости от состояния двоичного кода.

Мультиплексор преобразует параллельный код в последовательный.



# ВРЕМЕННОЕ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЕ ДВОИЧНЫХ ПОТОКОВ ДАННЫХ

---

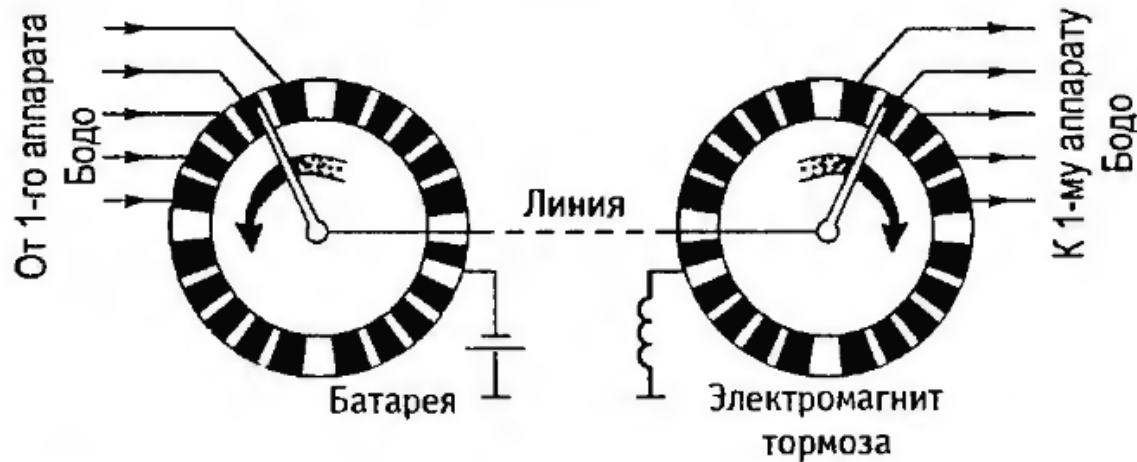
Мультиплексирование (в связи - уплотнение) - объединение нескольких меньших по емкости входных каналов связи в один канал большей емкости для передачи по одному выходному каналу связи

Мультиплексирование с временным разделением каналов (временное мультиплексирование/уплотнение) – временной интервал делится на некоторое число подинтервалов:

- 1) мультиплексор (на передающей стороне) последовательно подключает каждый входной канал на определенный временной интервал ("тайм-слот" или "интервал коммутации");
- 2) сформированный от разных входных каналов поток выборок направляется в канал связи;
- 3) демультиплексор выделяет отдельные выборки и распределяет их по соответствующим каналам.

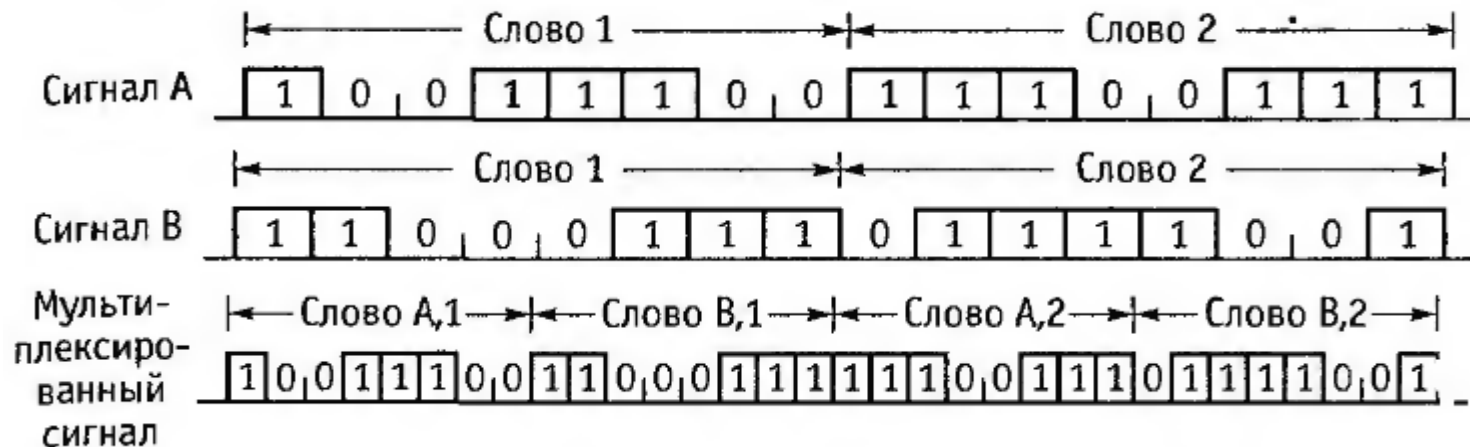
Важно. Коммутаторы на передающей и приемной сторонах должны быть синхронизированы.

# ПРИНЦИП ЧЕРЕДОВАНИЯ КОДОВЫХ КОМБИНАЦИЙ. СИНХРОНИЗАЦИЯ



Пятиклавишный аппарат Бодо

Мультиплексирование цифровых потоков по принципу чередования байтов



# ИКМ

---

Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) - передача непрерывных функций при помощи двоичного кода.

Аналоговый сигнал заменяется кодированной комбинацией импульсов.

1939 г. (Европа) - начало разработки цифровых систем передачи данных (ИКМ- систем)

1947 г. (США, компания Bell) – первые сообщения о полностью работоспособной ИКМ-системе

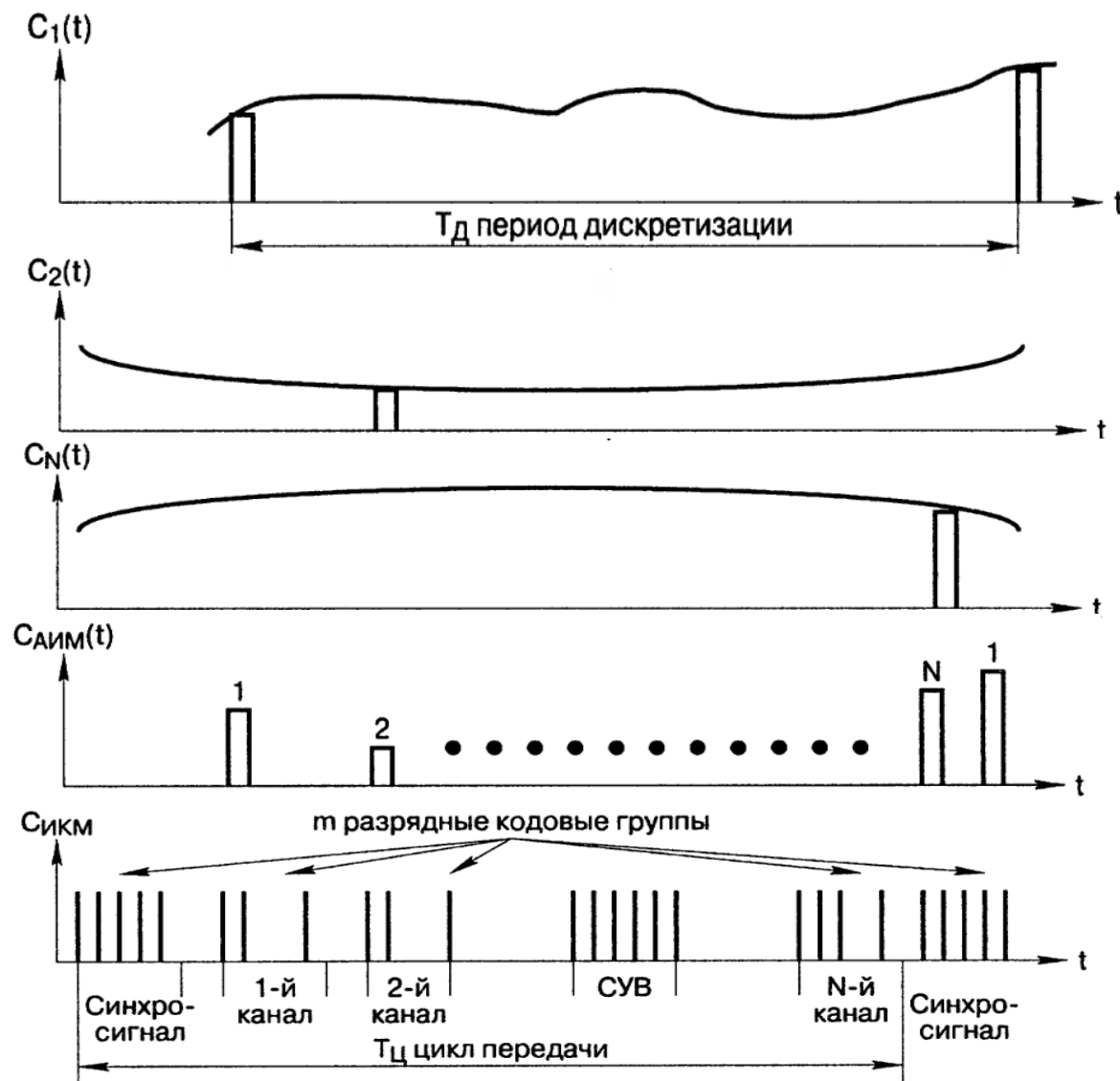
1947 г. - физик-экспериментатор Уолтер Браттейн, работавший с теоретиком Джоном Бардином, собрал первый работоспособный точечный транзистор

1957 г. – коммутирующие приборы на основе транзистора

1962 г. (США) – первая коммерческая система передачи ИКМ-24 (1.554 Мбит/с)

1968 г. (Франция, стандарт Е1) – предложение об унификации ИКМ-систем на базе ИКМ-30 (2.048 Мбит/с)

# ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО СИГНАЛА В ЦСП С ИКМ-ВРК (ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ E1).



$F_D = 1/T_D$  - частота дискретизации  
первичного сигнала

$m$  - разрядность  
кодовой группы

СУВ – сигналы  
управления и  
вызова

# ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО СИГНАЛА В ЦСП С ИКМ-ВРК (ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ E1).

---

Скорость передачи цифрового потока (ЦП) (число тактовых интервалов, переданное за единицу времени)

Одного канала:  $C_k = F_d m$

Группового сигнала:  $C_{икм} = C_k (N + N_c) = F_d m (N + N_c)$

$N$  – число канальных интервалов

$N_c$  – число канальных интервалов для передачи служебной информации

Тактовая частота - частота следования импульсов группового цифрового сигнала на выходе устройства формирующего групповой сигнал

11.05.2022

$$f_T = F_d m (N + N_c)$$

# ФОРМИРОВАНИЕ ГРУППОВОГО СИГНАЛА В ЦСП С ИКМ-ВРК (ЕВРОПЕЙСКИЙ СТАНДАРТ Е1).

---

Пример. В ИКМ-30  $F_d=8$  кГц;  $m=8$ ;  $N=30$  каналов;  $N_c=2$

1) скорость передачи цифрового потока одного канала

$$C_k = F_d m = 64 \text{ кБит/с}$$

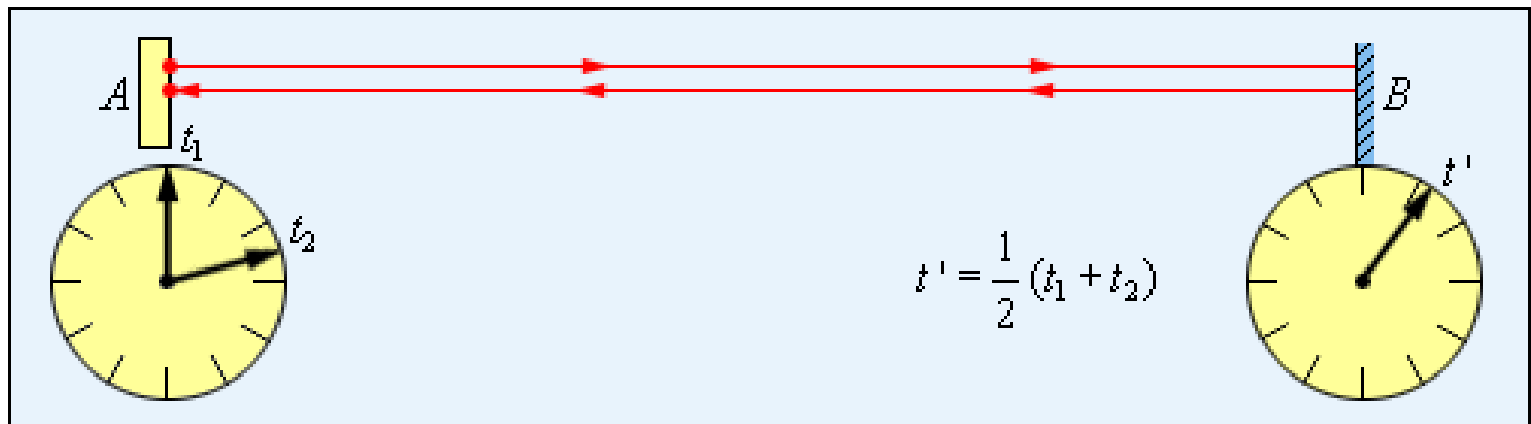
2) тактовая частота

$$f_T = F_d m (N + N_c) = 2.048 \text{ МГц}$$

3) скорость передачи группового сигнала

$$C_{\text{ИКМ}} = C_k (N + N_c) = 64 * 32 = 2.048 \text{ мБит/с}$$

# СИНХРОНИЗАЦІЯ В СИСТЕМАХ СВ'ЯЗИ



# ЗАДАЧИ СИНХРОНИЗАЦИИ

---

Ранее полагалось, что при демодуляции:

- отсчеты сигнала берутся точно **в нужные моменты времени**
- получаемые точки на комплексной плоскости **правильно расположены** относительно координатных осей

В реальности это обеспечивается за счет систем работы **систем синхронизации**

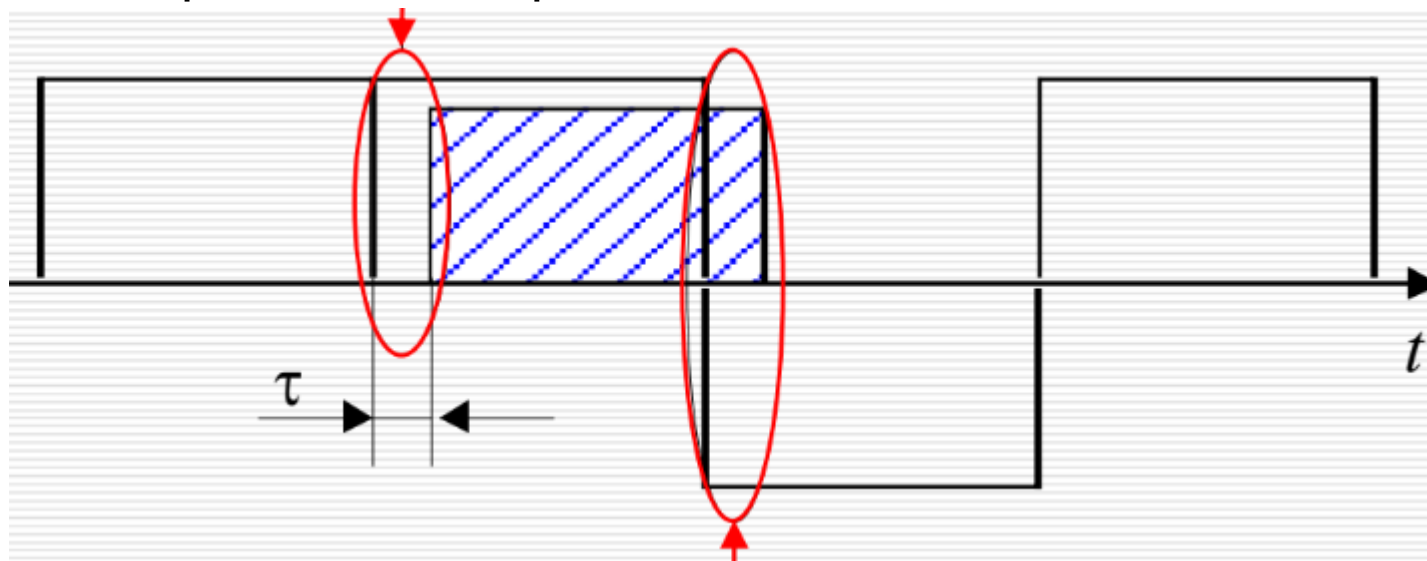
Два способа синхронизации:

- для синхронизации может использоваться специальный синхронизирующий сигнал
- выполняется непосредственно по информационному сигналу

# УХУДШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИЗ-ЗА ОШИБОК СИНХРОНИЗАЦИИ

Ошибка временной синхронизации (на примере  
АИМ-2 с прямоугольными сигнальными посылками)

Потеря части энергии сигнала

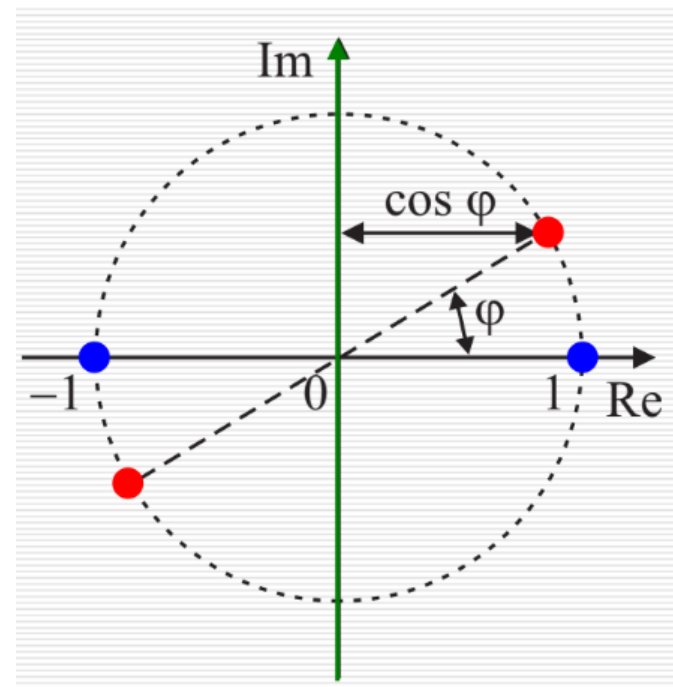


Возникновение межсимвольной  
интерференции

# УХУДШЕНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ИЗ-ЗА ОШИБОК СИНХРОНИЗАЦИИ

Ошибка фазовой синхронизации (на примере  
ФМ-2, BPSK)

Расстояние до границы  
областей принятия решения  
уменьшается  
пропорционально косинусу  
фазовой ошибки



# СИНХРОНИЗАЦИЯ

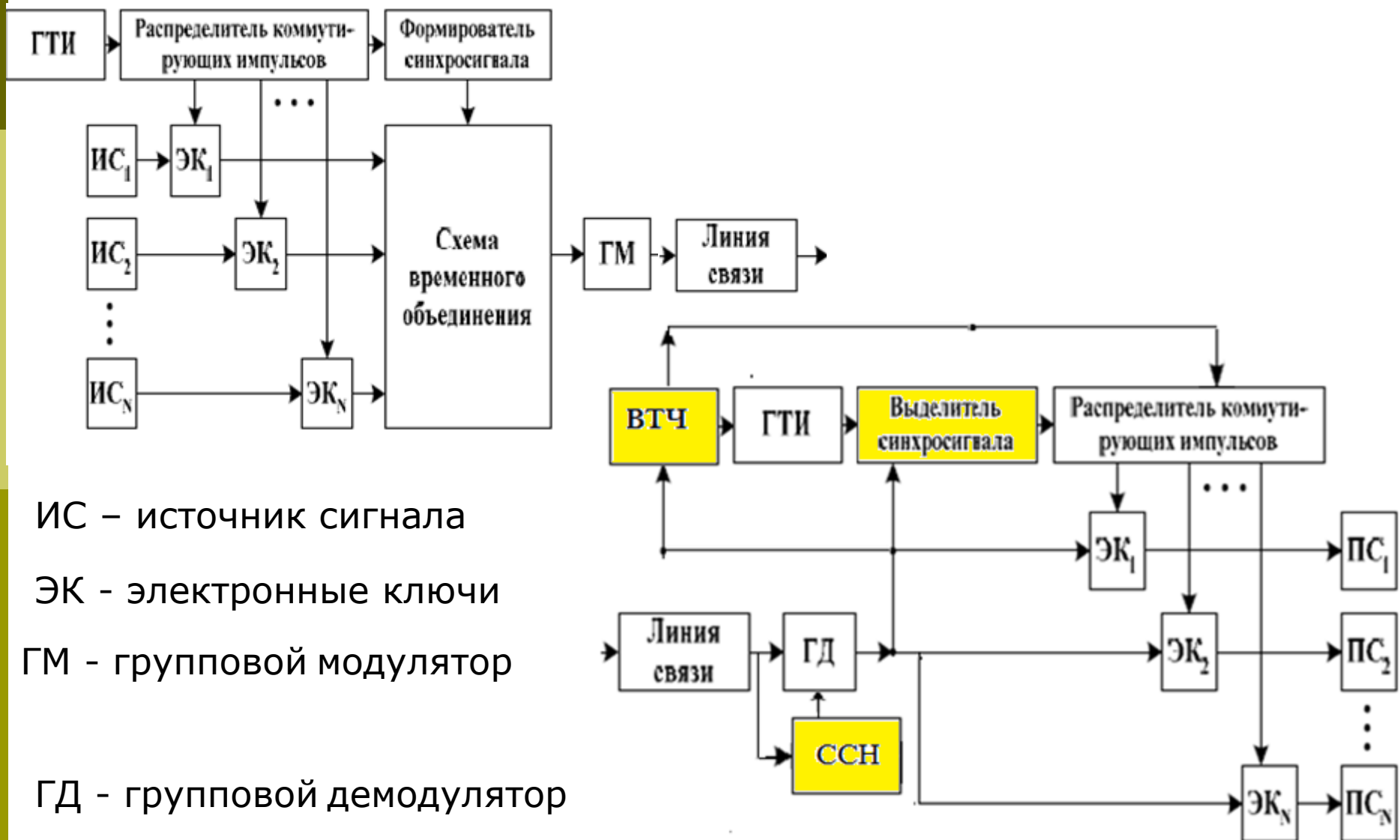
---

**Синхронизации по несущей** - формирование гармонического колебания, совпадающего по частоте и по фазе с колебанием несущей (или промежуточной) частоты принимаемого сигнала.

**Тактовая синхронизация** обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов в устройствах ЦСП, осуществляющих обработку сигнала с тактовой частотой  $F_t$ .

**Цикловая синхронизация** обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры.

# УПРОЩЕННАЯ БЛОК-СХЕМА СИСТЕМЫ МНОГОКАНАЛЬНОЙ СВЯЗИ (TDM)



# СИНХРОНИЗАЦИИ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ ПЕРЕДАЧИ .

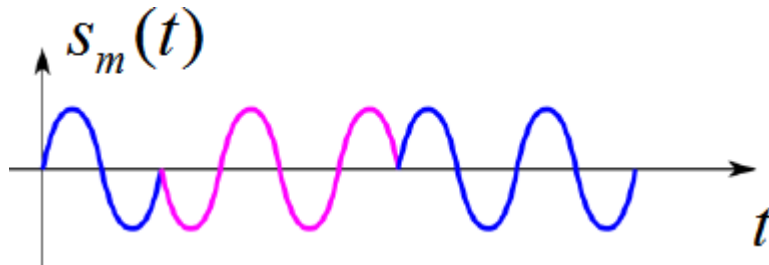
## СИНХРОНИЗАЦИЯ ПО НЕСУЩЕЙ

---

**Схема синхронизации по несущей** (ССН) формирует гармоническое колебание, совпадающее по частоте и по фазе с колебанием несущей (или промежуточной) частоты принимаемого сигнала.

ФМ-2 сигнал (BPSK):  $s_m(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi_m(t))$

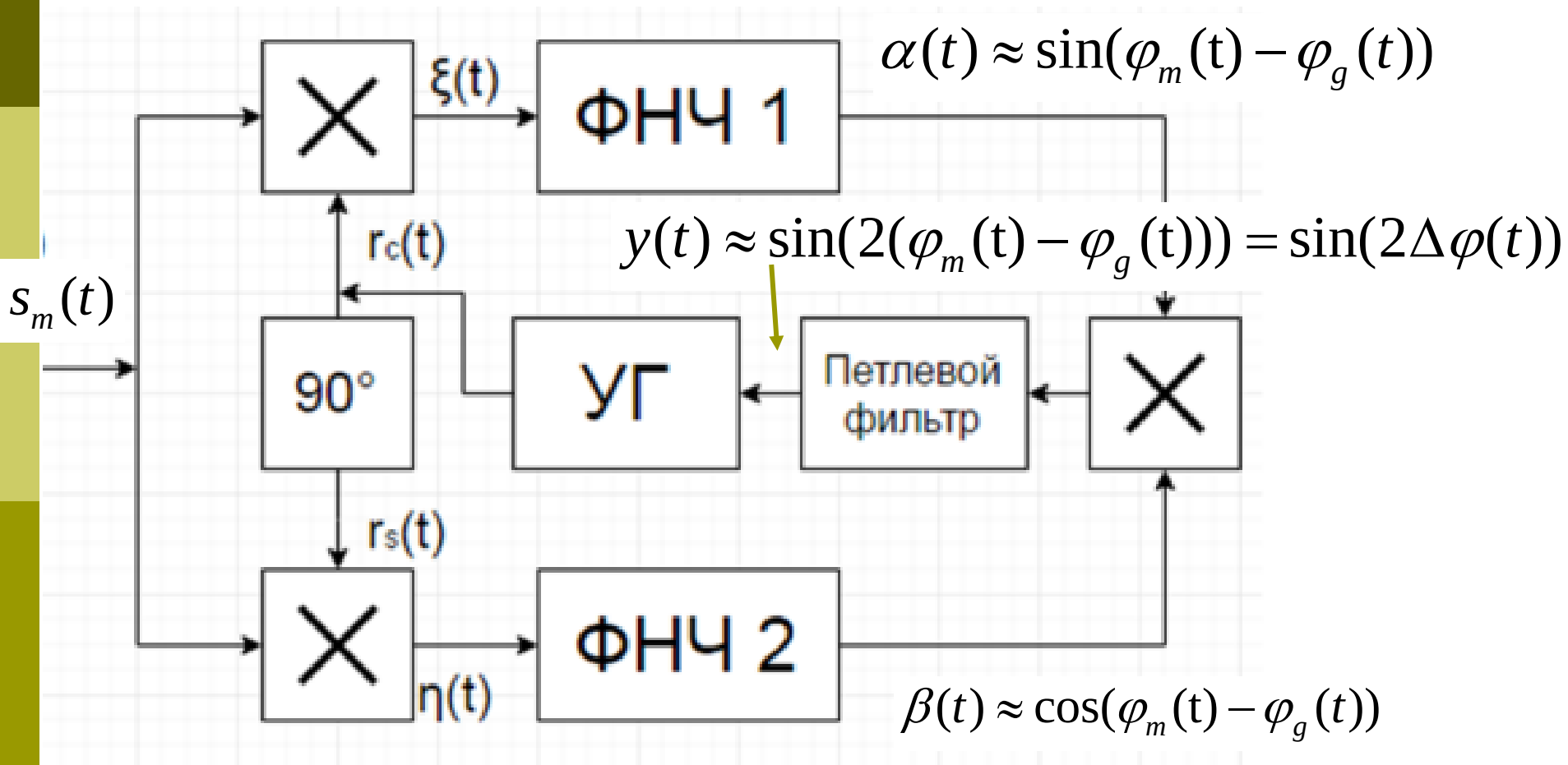
$$\varphi_m(t) = \{0^\circ \text{ или } 180^\circ\}$$



# СИНХРОНИЗАЦИЯ ПО НЕСУЩЕЙ.

## СХЕМА КОСТАСА

$$s_m(t) = A \sin(2\pi f_0 t + \varphi_m(t))$$

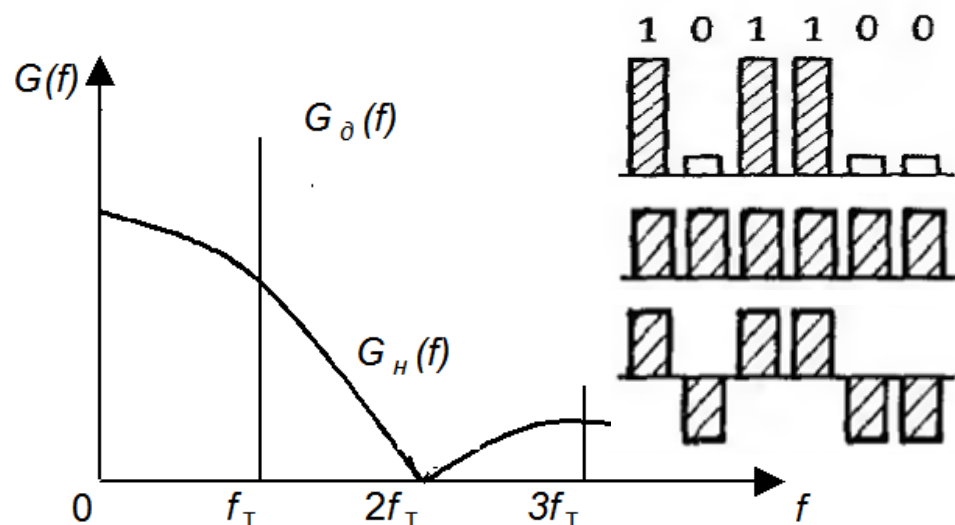


$$\sin \alpha \cos \beta = \frac{1}{2}(\sin(\alpha + \beta) + \sin(\alpha - \beta))$$

# ТАКТОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ

**Система тактовой синхронизации (СТС)** обеспечивает равенство скоростей обработки цифровых сигналов на тактовой частоте.

Формирует на выходе последовательность периодических импульсов, совпадающих по времени с моментами окончания импульсов принимаемых кодовых комбинаций. Энергетический спектр случайной последовательности импульсов со скважностью  $q > 1$  содержит непрерывную  $G_H(f)$  и дискретную  $G_D(f)$  составляющие

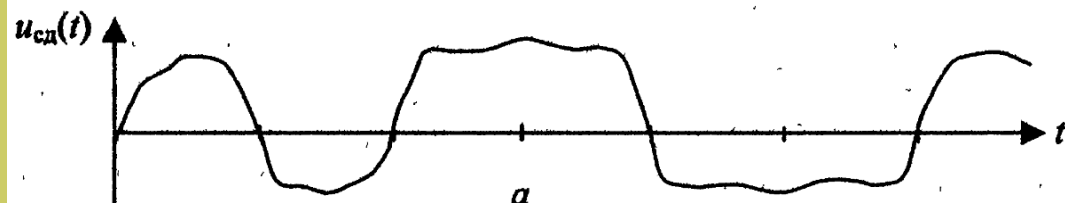
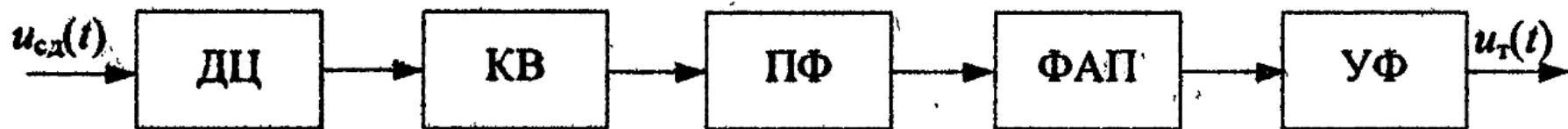


Цифровой модулированный сигнал -  
однополярная случайная  
последовательность импульсов ( $q = 2$ )

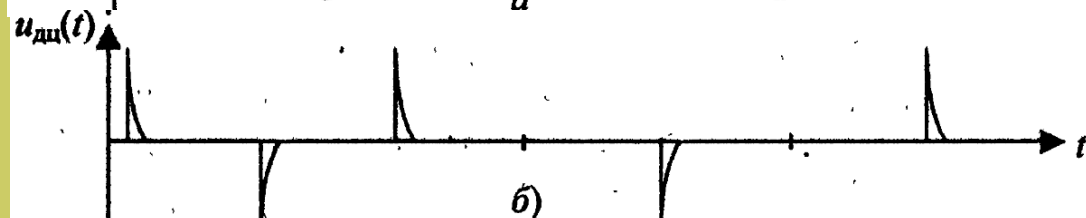
Тактовые импульсы.

Случайная составляющая

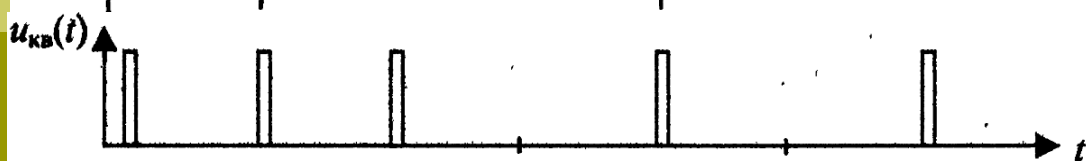
# ТАКТОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ. ВЫДЕЛИТЕЛЬ ТАКТОВОЙ ЧАСТОТЫ



Сигнал на выходе синхронного детектора



Сигнал на выходе дифференцирующей цепи (пересечение 0)



Сигнал на выходе квадратора (КВ) - в спектре которого содержится ТЧ

ТЧ выделяется полосовым фильтром ПФ и фильтруется следящим узкополосным фильтром на основе ФАП.

Устройство формирования УФ формирует из гармонического колебания ФАП импульсы тактовой синхронизации

# ТАКТОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ. СКРЕМБЛИРОВАНИЕ

scramble - перемешивать

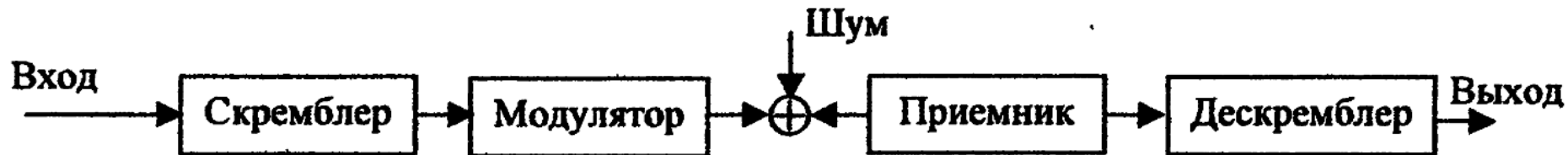
Цифровой поток 0111000000000000000000011

Скремблер 101010101010101010101010101

Сложение по модулю 2

Поток в линии 1101101010101010101010110

Схема преобразования сигнала скремблером и дескремблером

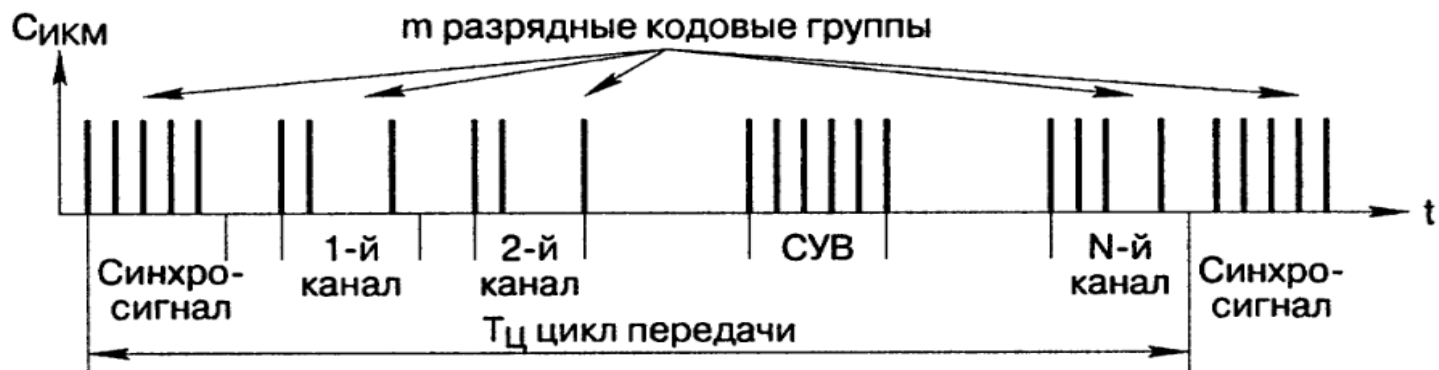


# ЦИКЛОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ

**Цикловая синхронизация** обеспечивает правильное разделение и декодирование кодовых групп цифрового сигнала и распределение декодированных отсчетов по соответствующим каналам в приемной части аппаратуры

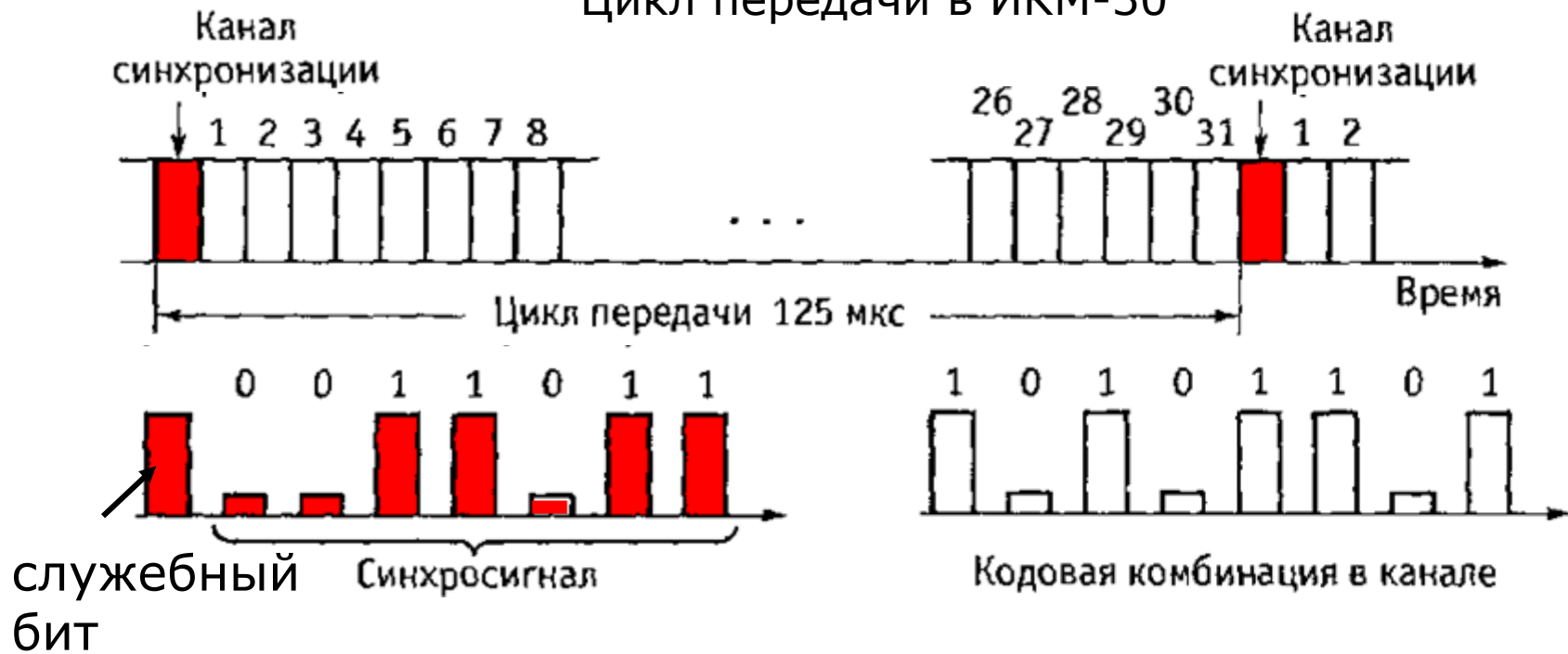
Цикловая синхронизация определяет начало цикла передачи (синфазность).

Основано на использовании избыточности группового сигнала



# ЦИКЛОВАЯ СИНХРОНИЗАЦИЯ

## Цикл передачи в ИКМ-30



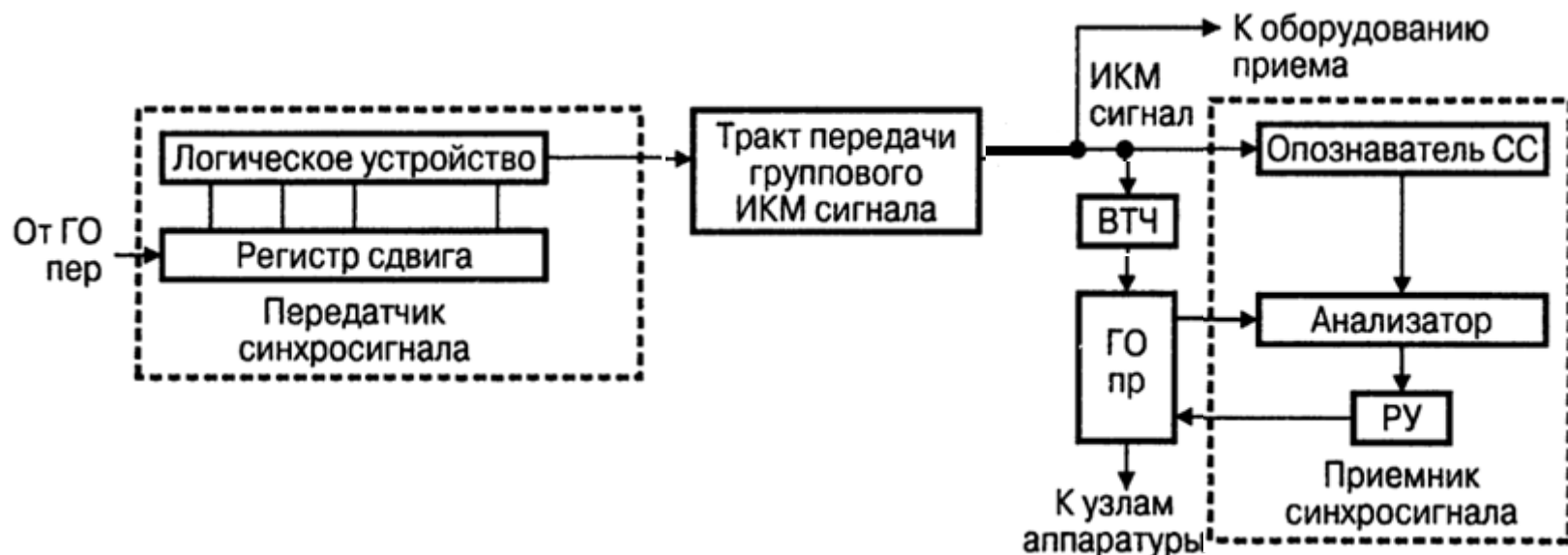
Свойства синхросигнала:

- выделена определенная кодовая группа;

$$p_{\text{л}} = (0,5)^7 = 0,0078125$$

- периодичность.

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СИСТЕМЫ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ



ГО - генераторное оборудование передающей и приемной станций соответственно;

ВТЧ - выделитель тактовой частоты, необходимый для обеспечения тактовой синхронизации;

СС - синхросигнал;

РУ - решающее устройство.

# ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К СИСТЕМАМ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

---

Должны быть минимальными:

- время вхождения в синхронизм при первоначальном включении аппаратуры в работу;
- время восстановления синхронизма после нарушения связи;
- объем синхрогруппы в цикле передачи при заданном времени восстановления синхронизма.

Состояние синхронизма при работе оборудования ЦСП должно поддерживаться непрерывно и автоматически. Приемник синхросигнала должен быть помехоустойчивым и среднее время между сбоями синхронизма должно быть по возможности большим.

Простая техническая реализация, экономичность и надежность оборудования систем передачи.

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ



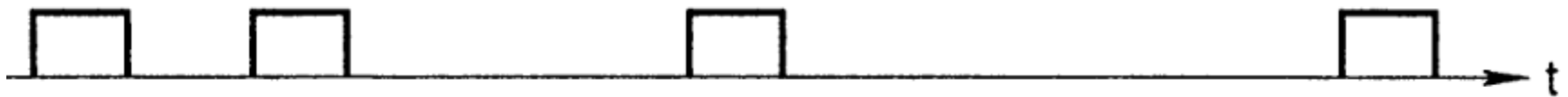
# РЕГЕНЕРАЦИЯ СИГНАЛОВ



Пункт усиления и регенерации телеграфного сигнала  
для аппарата Бодо

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

На выходе оконечной станции или предыдущего регенератора



На входе регенератора



Внешние факторы:

- ✓ внешние электромагнитные влияния, в том числе воздействие грозových разрядов;
- ✓ колебания температуры и другие климатические факторы;

✓

11.05.2022

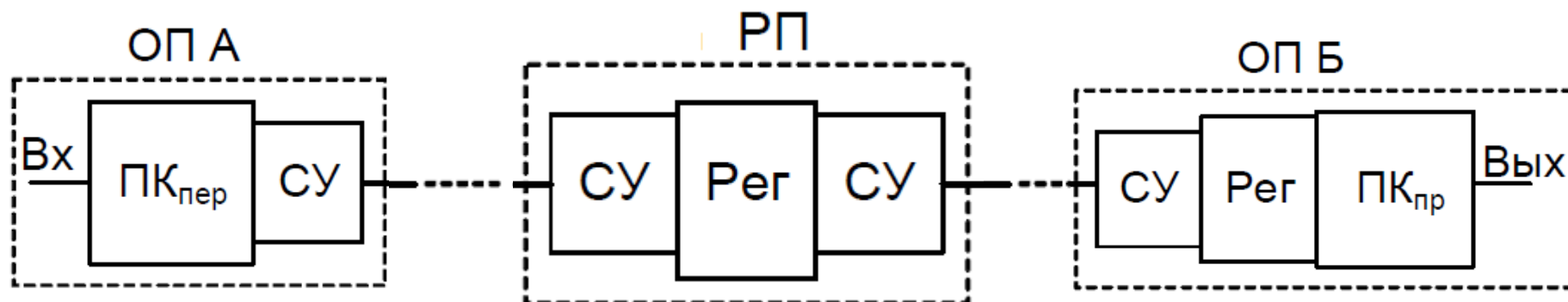
# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

---

Внутренние факторы:

- ✓ искажения, вносимые средой передачи;
- ✓ межсимвольные помехи;
- ✓ нестабильность тактовой частоты системы ;
- ✓ сбои тактовой синхронизации;
- ✓ нестабильность параметров комплектующих изделий и, как следствие, увеличение шумов, вызванное их старением;
- ✓ колебания напряжения питания;
- ✓ джиттер (флюктуации фазы цифрового сигнала) и накопление джиттера при ретрансляции сигнала;
- ✓ ....

# СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛИНЕЙНОГО ТРАКТА ЦСП



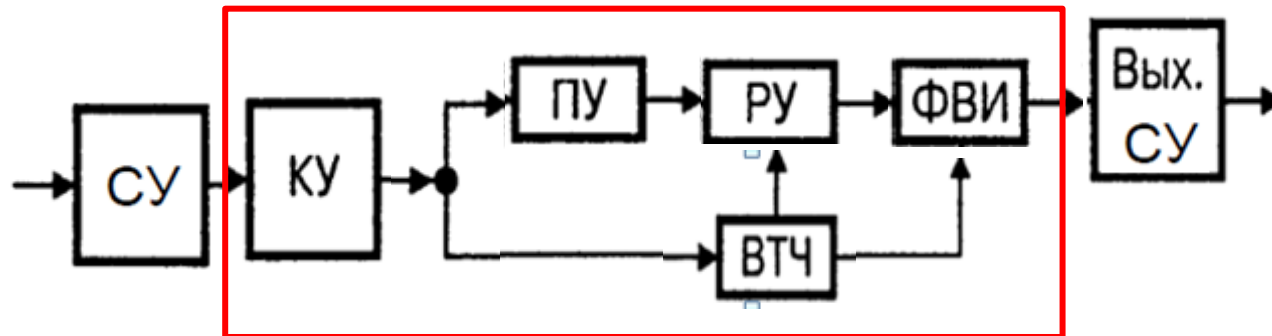
ОП - оконечный пункт (оконечная станция)

ПК - преобразователя кода ПК

СУ - согласующее устройство

РП - регенерационные пункты

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ



СУ - согласующее устройство

КУ - корректирующий усилитель

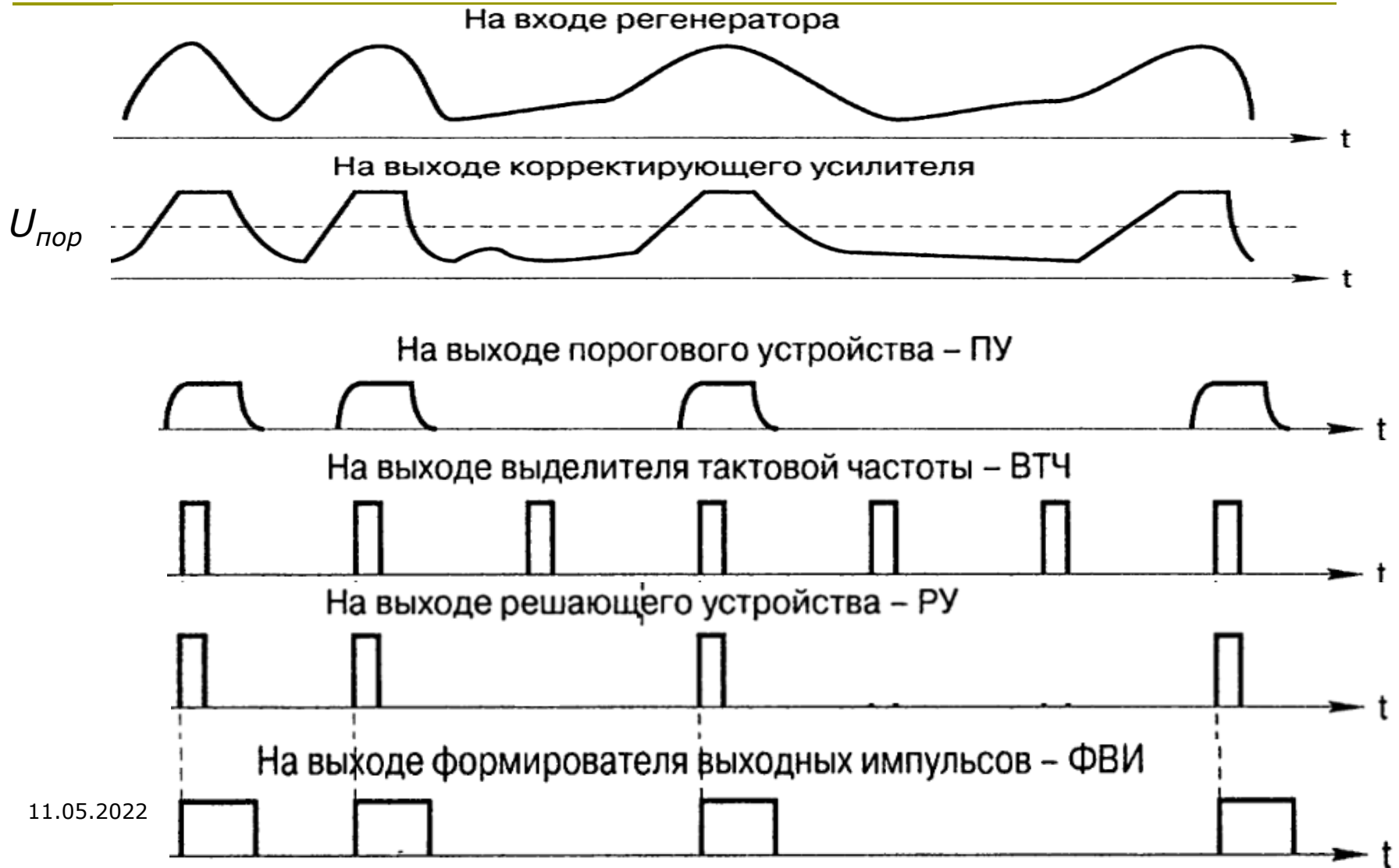
ПУ - пороговое устройство

РУ - решающее устройство

ВТЧ - выделитель тактовой частоты

ФВИ - формирователь выходных импульсов,

# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ



# РЕГЕНЕРАЦИЯ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛОВ

---

$$A_3 = 20 \lg \frac{U_m}{\sigma} \quad - \text{ на входе ПУ}$$

Условная вероятность ошибочного срабатывания ПУ при отсутствии сигнала

$$\alpha = \int_{U_{nop}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

Условная вероятность ошибочного не срабатывания ПУ при наличии сигнала

$$\beta = \int_{-\infty}^{U_{nop}} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-U_m)^2}{2\sigma^2}\right) dx$$

$$P_{ош} = \alpha p_0 + \beta p_1$$