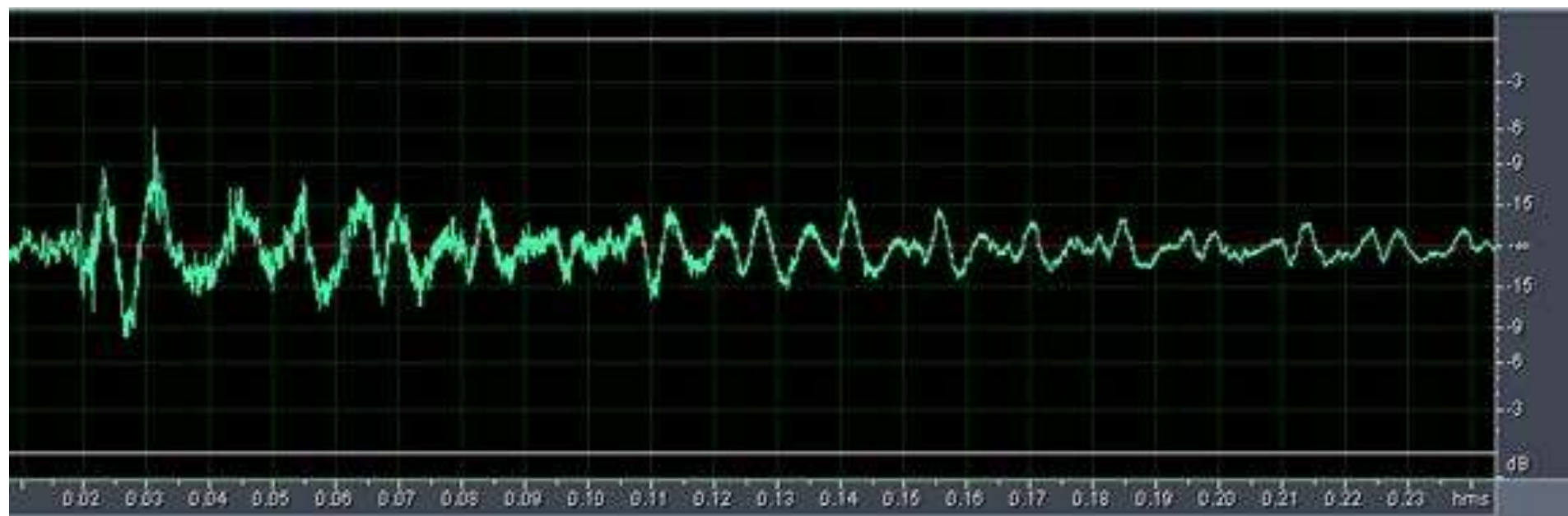


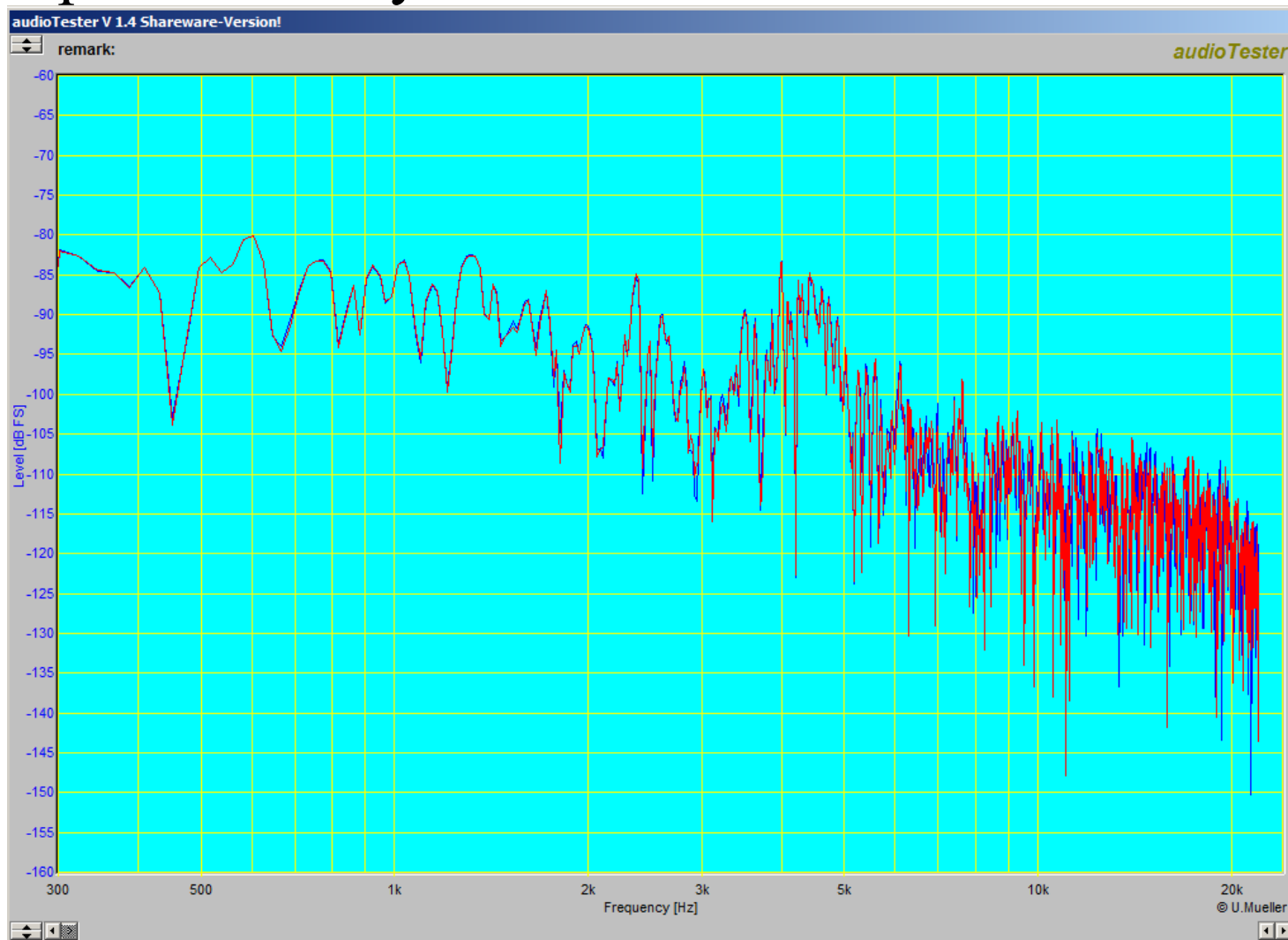
## **Спектр сигнала**

Спектр сигнала – набор частот, из которых состоит *реальный* сигнал.

# График реальной звуковой волны



# График реальной звуковой волны



## **Спектр сигнала**

Спектр сигнала – набор частот, из которых состоит *реальный* сигнал.

## Спектр сигнала

Спектр сигнала – набор частот, из которых состоит *реальный* сигнал.

*Реальный* сигнал можно разложить на составляющие.



[http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/2\\_1.htm](http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/2_1.htm)

Существует общая методика исследования периодических негармонических сигналов (входных воздействий и их реакций) в электрической цепи, которая основана на разложении сигналов в ряд Фурье.

*Данная методика состоит в том, что всегда можно подобрать ряд гармонических (т.е. синусоидальных) сигналов с такими амплитудами, частотами и начальными фазами, алгебраическая сумма ординат которых в любой момент времени равна ординате исследуемого несинусоидального сигнала.*

Так, например, напряжение  $u$  на рис. 2.1. можно заменить суммой напряжений  $u_1$  и  $u_2$ , поскольку в любой момент времени имеет место тождественное равенство

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t)$$

Каждое из слагаемых представляет собой синусоиду, частота колебания которой связана с периодом  $T$  целочисленными соотношениями.

[http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/2\\_1.htm](http://ets.ifmo.ru/osipov/os1/2_1.htm)

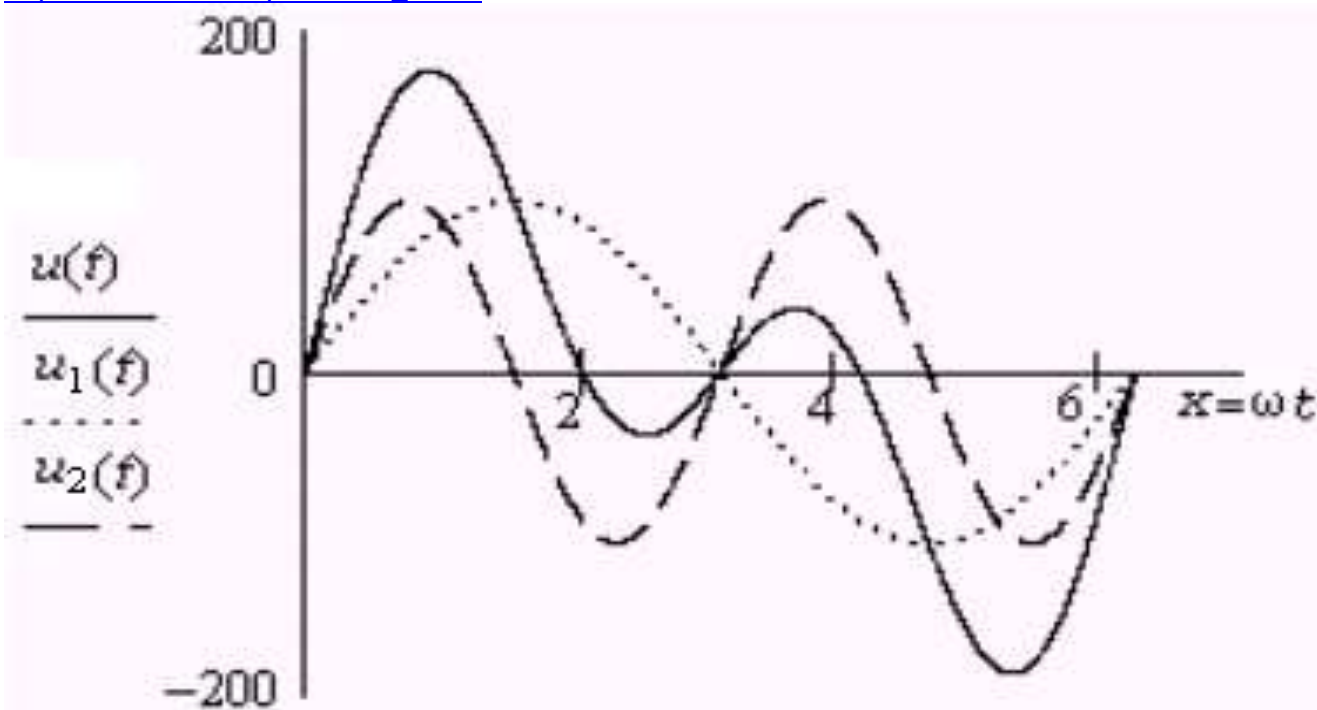


Рис. 2.1



## Спектр сигнала

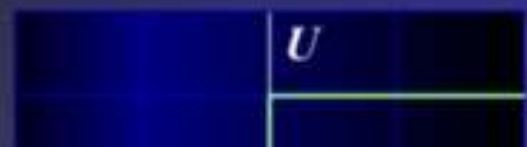
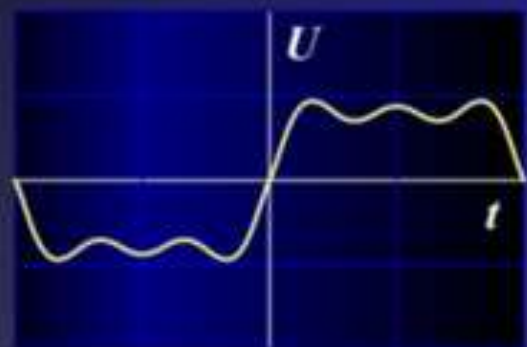
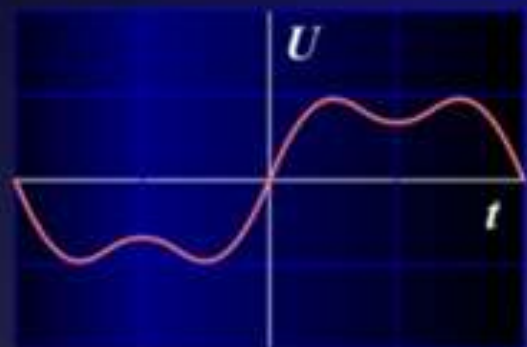
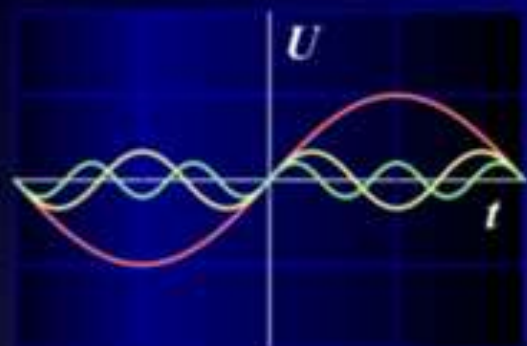
Спектр сигнала – набор частот, из которых состоит *реальный* сигнал.

*Реальный* сигнал можно разложить на составляющие.

В нем всегда можно выделить:

- минимальную частоту  $F_{min}$
- максимальную частоту  $F_{max}$

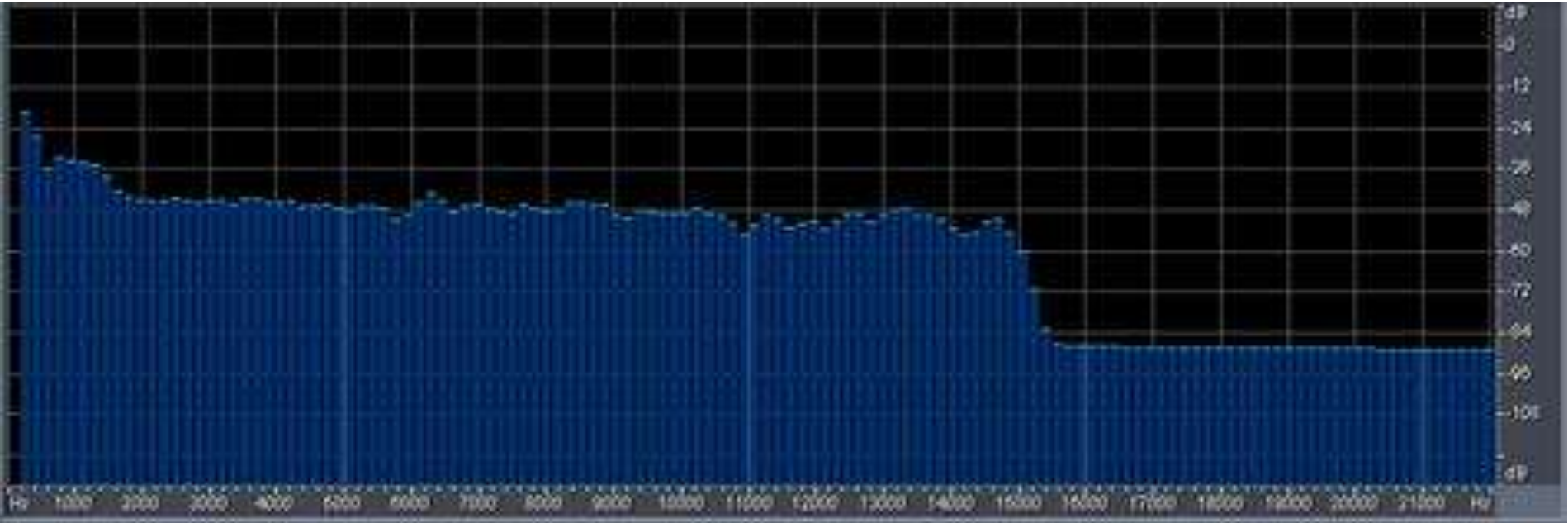
### Сигналы

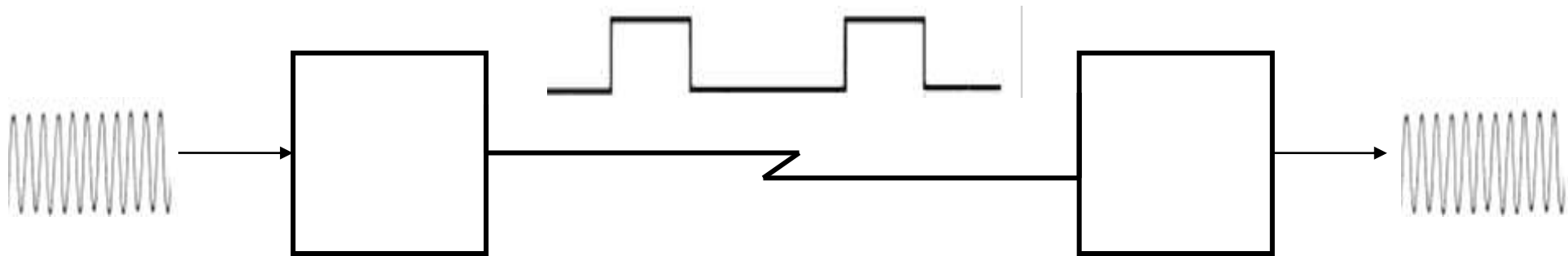


### Спектры



На графике спектра по оси абсцисс откладывается частота спектральных составляющих (измеренная в Гц), а по оси ординат – амплитуда этих спектральных составляющих.





# **Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ) Pulse Code Modulation (PCM)**

**Преобразование аналогового сигнала в цифровой поток, заключающееся в фиксации мгновенного уровня аналогового сигнала через равные промежутки времени.**

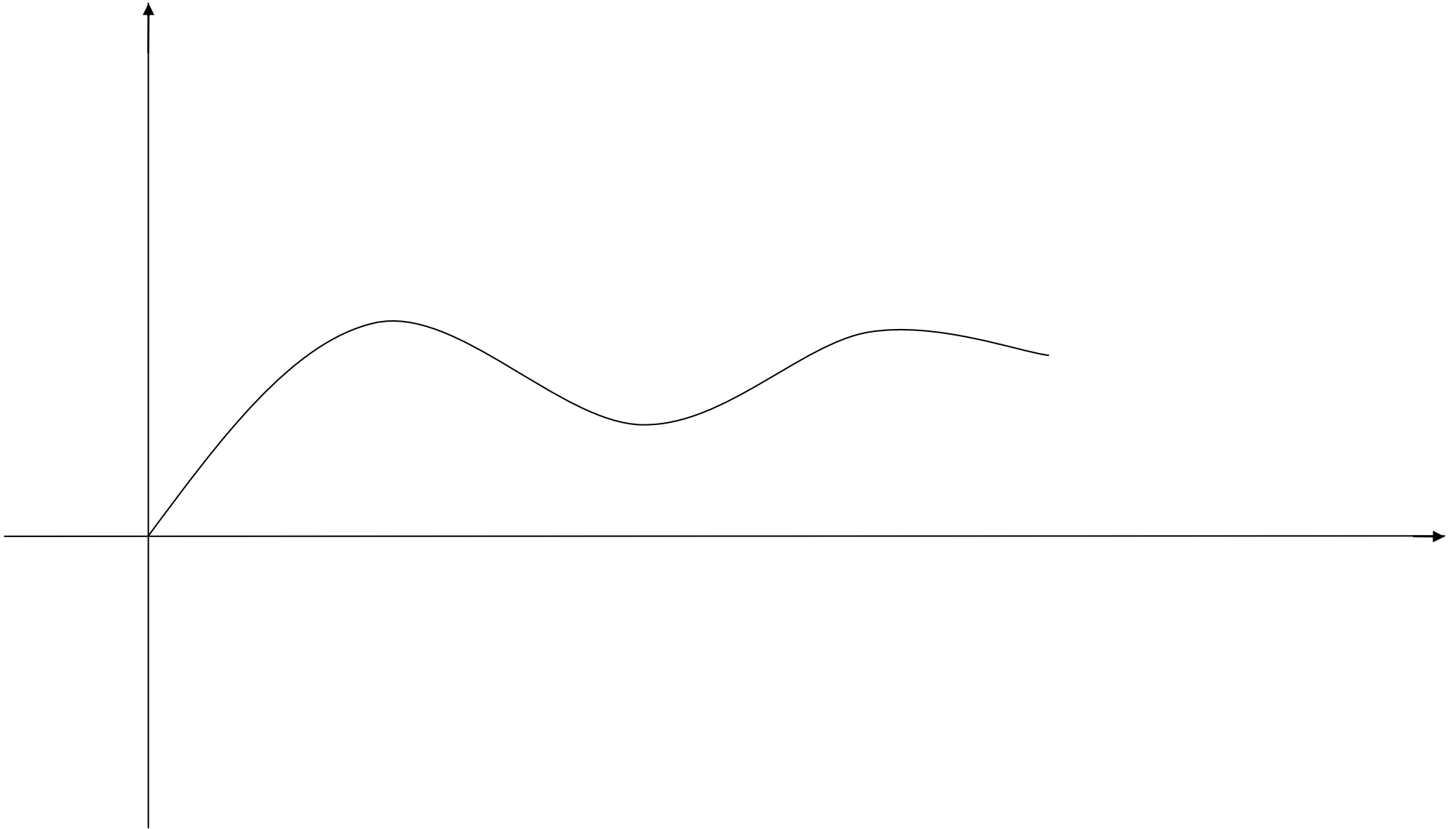


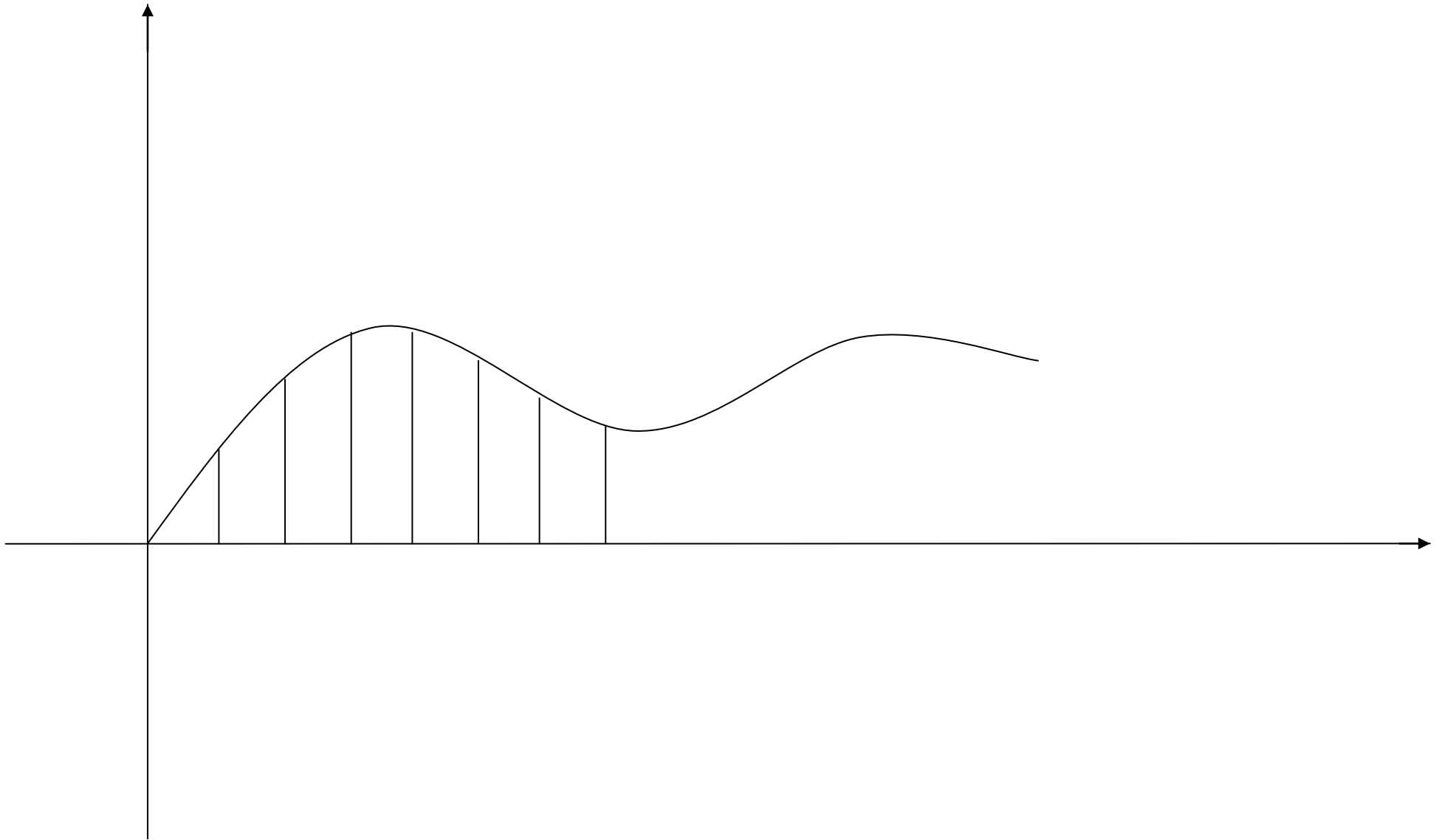
# **Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ)**

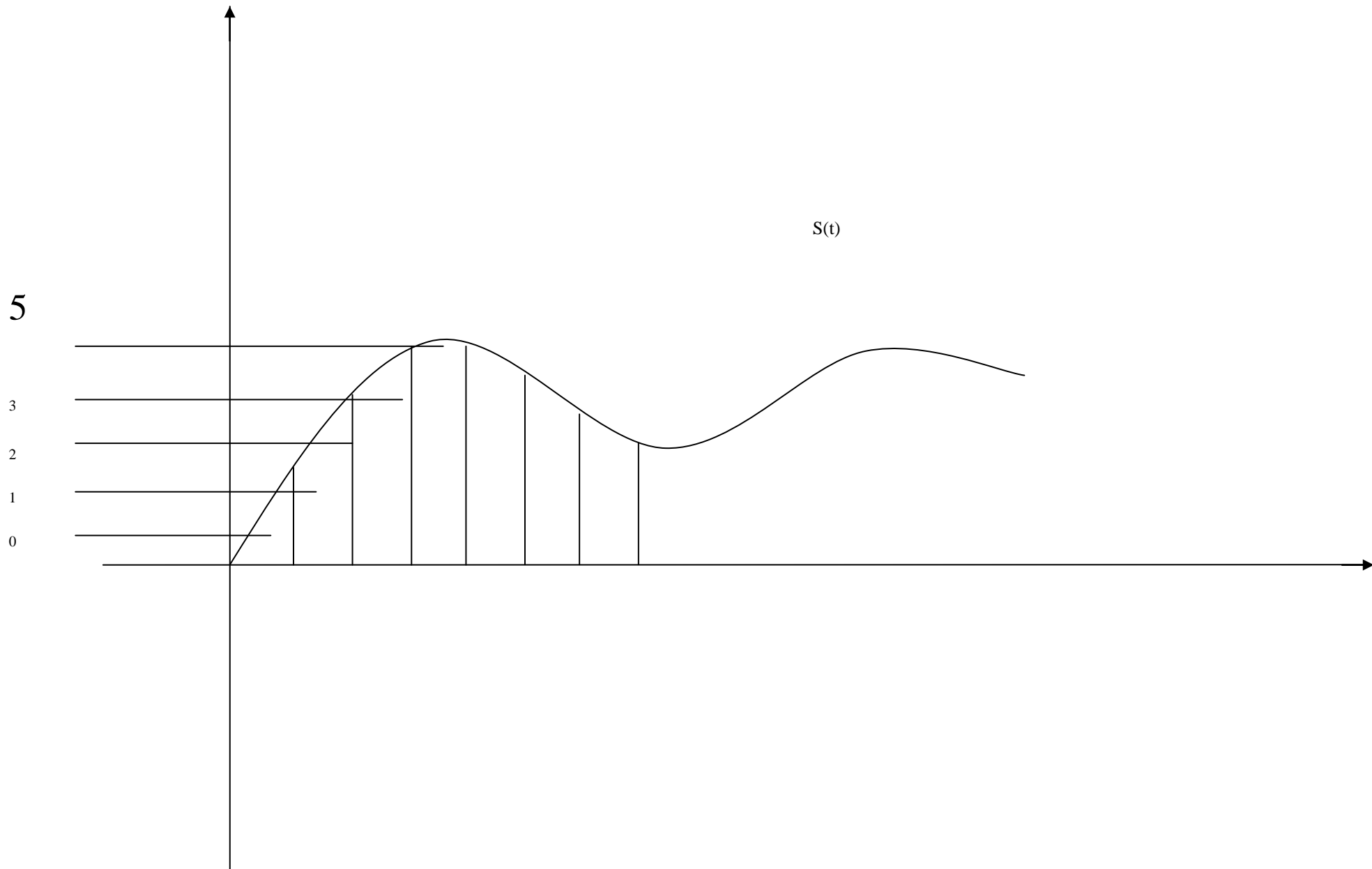
## **Pulse Code Modulation (PCM)**

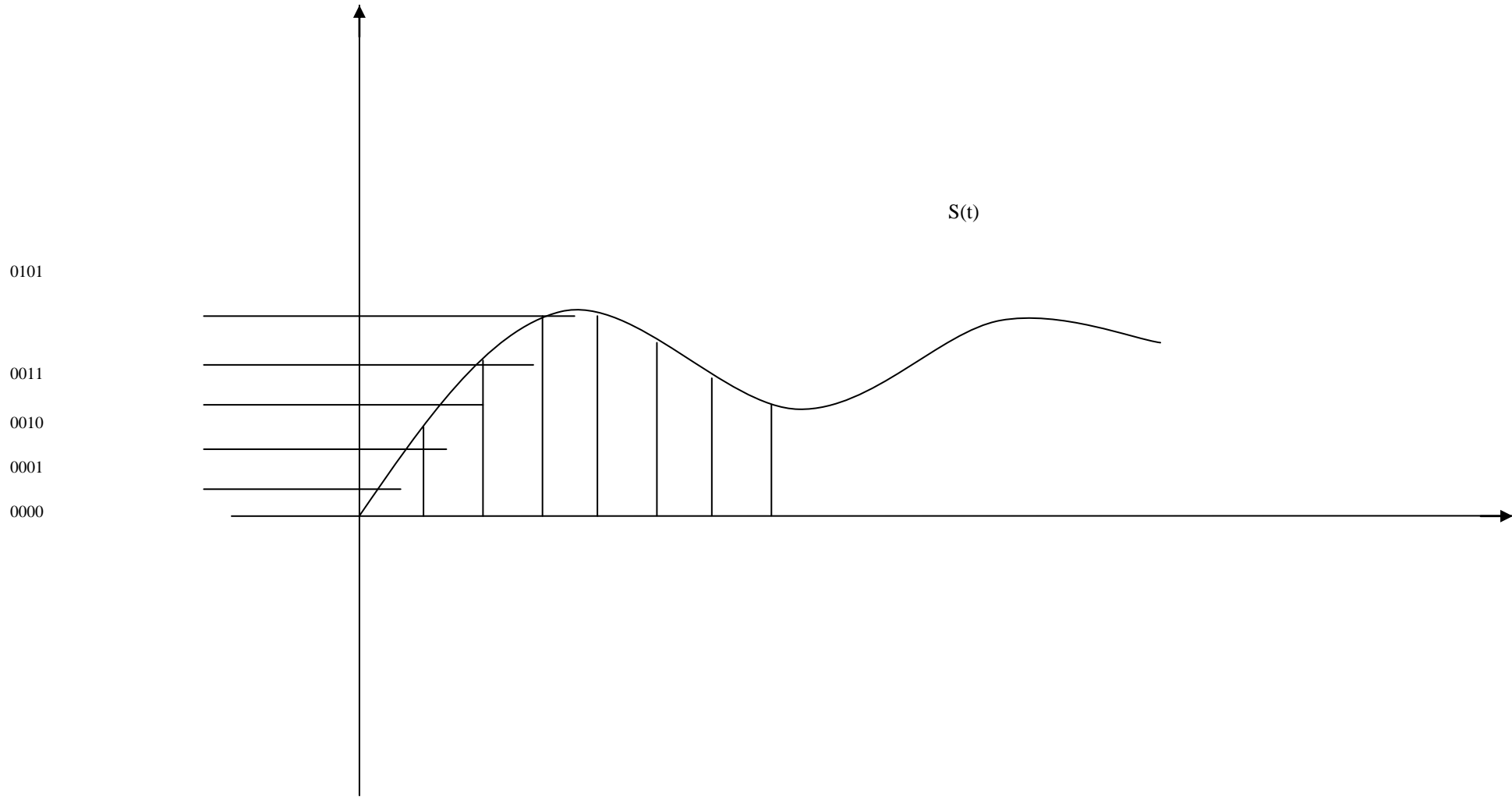
**Преобразование аналогового сигнала в цифровой поток**, заключающееся в фиксации мгновенного уровня аналогового сигнала через равные промежутки времени.

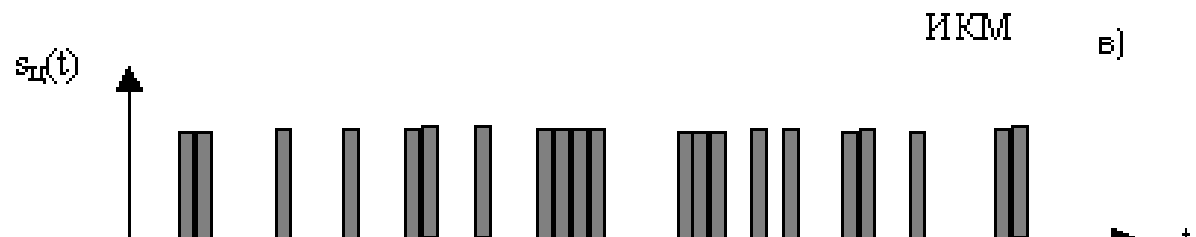
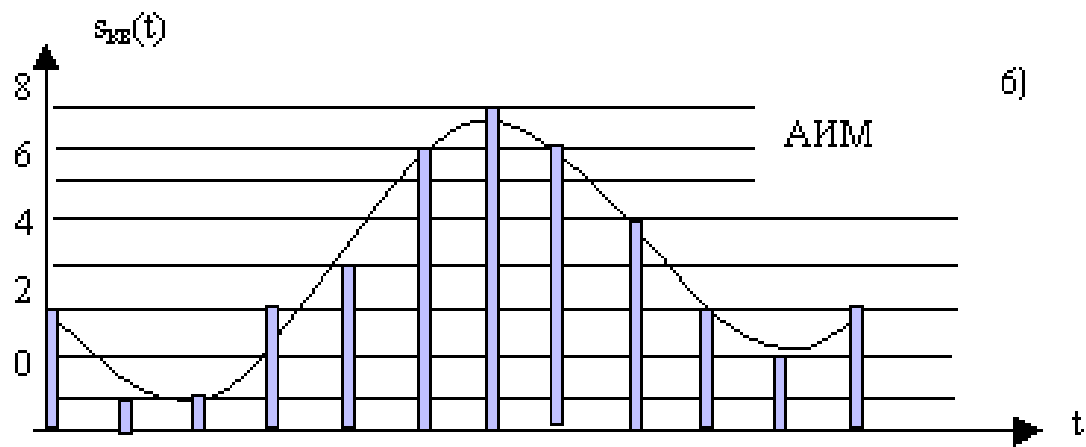
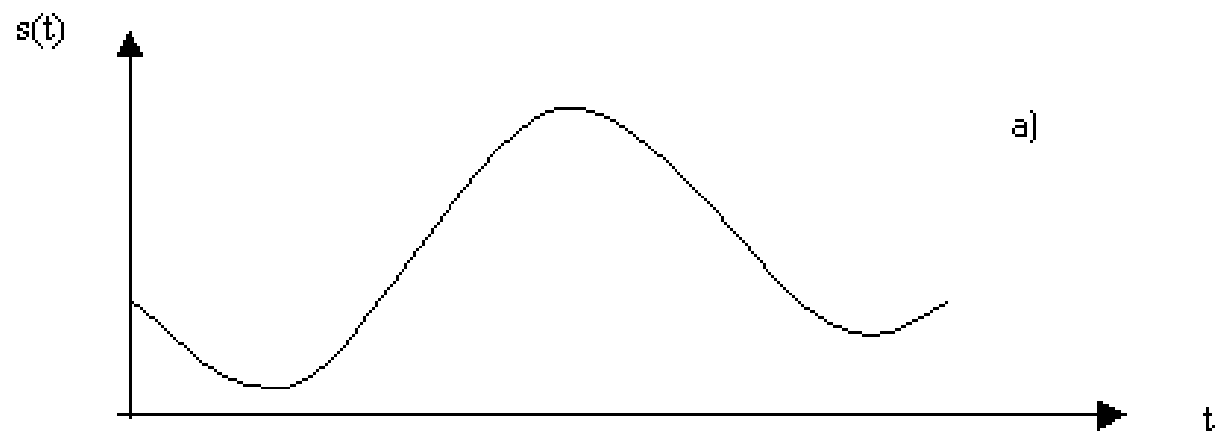
Основная идея ИКМ: *лишь через некоторые промежутки времени* снимать отсчеты уровня сигнала, и передавать их на принимающую сторону.

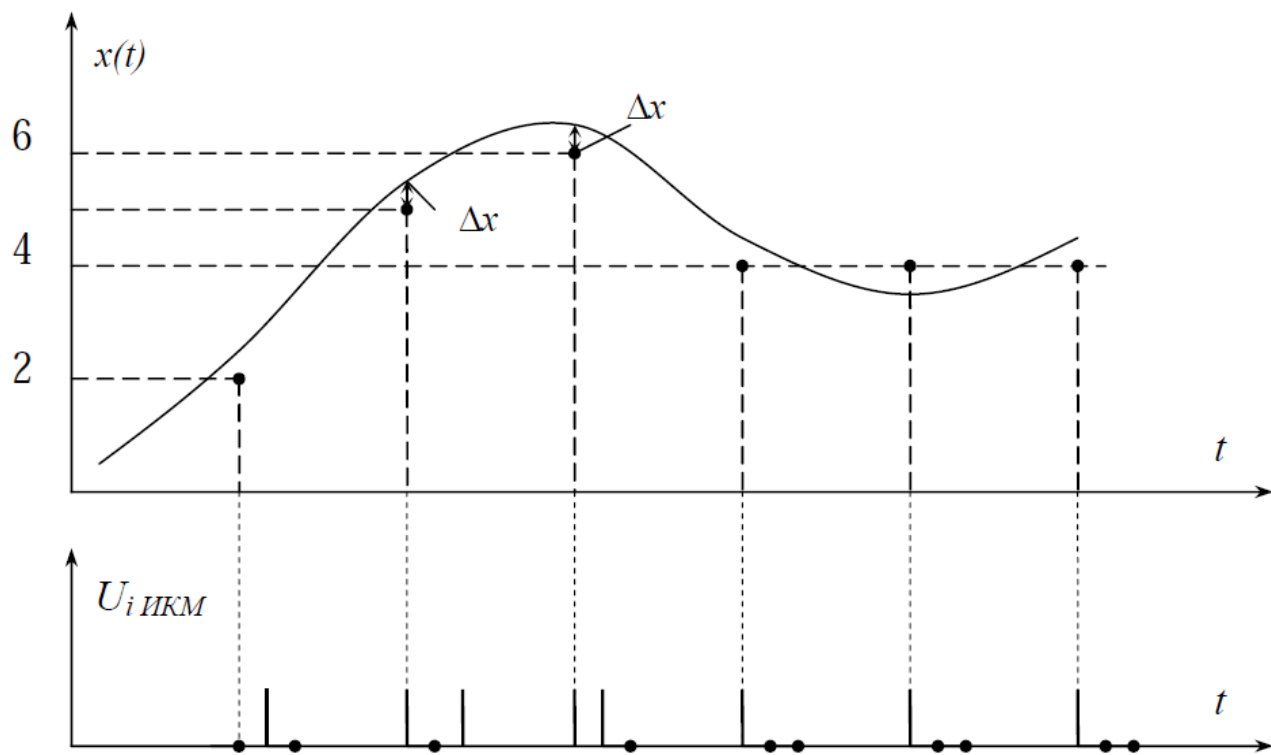


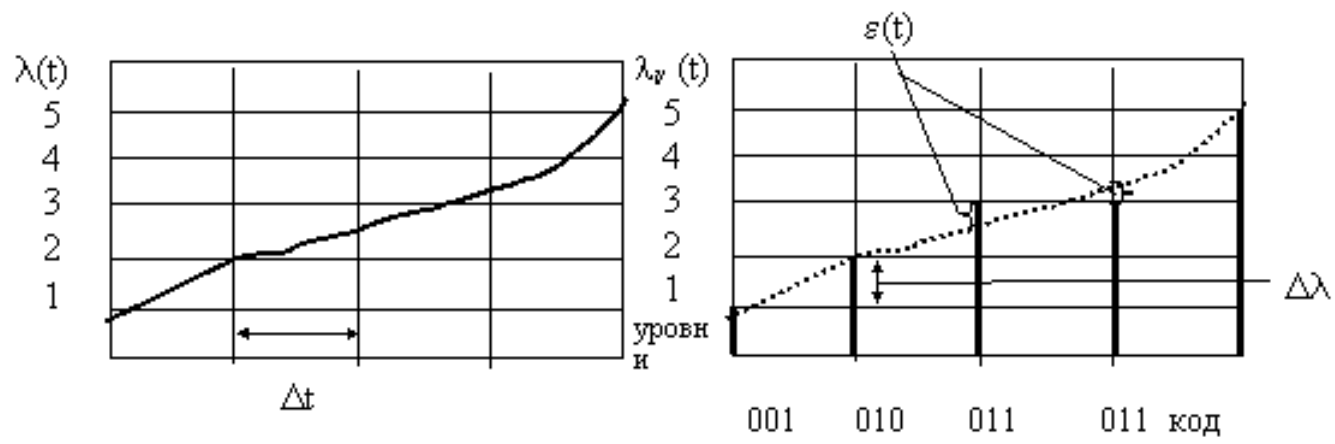








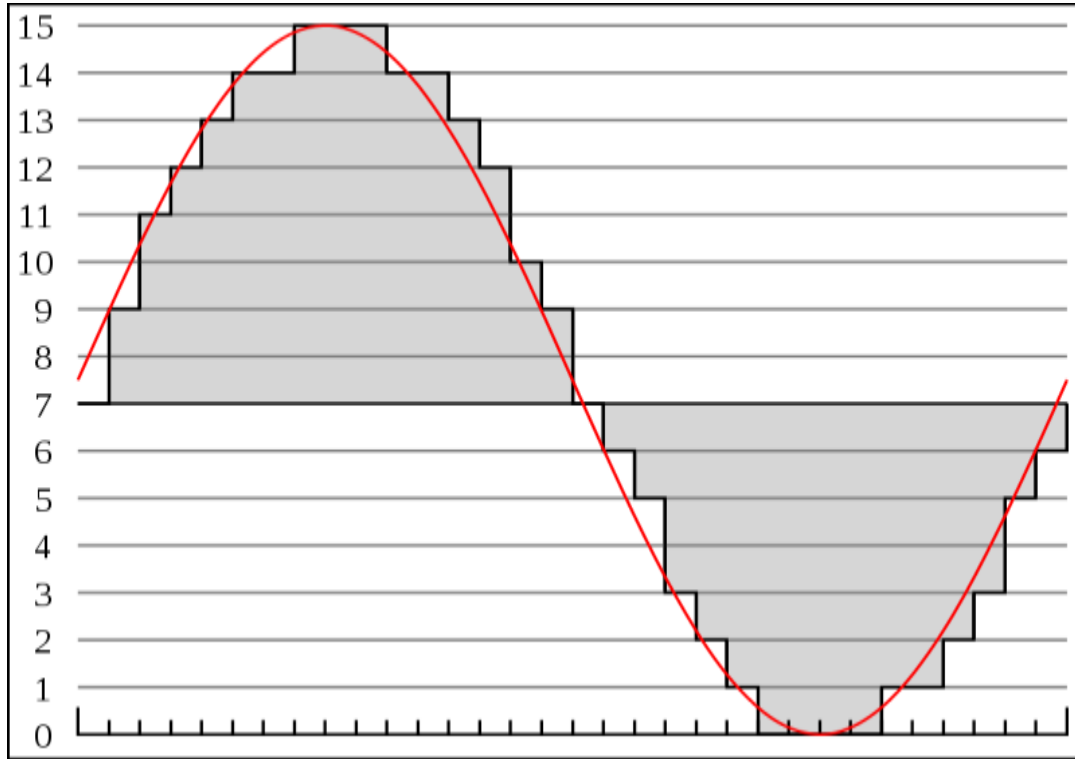


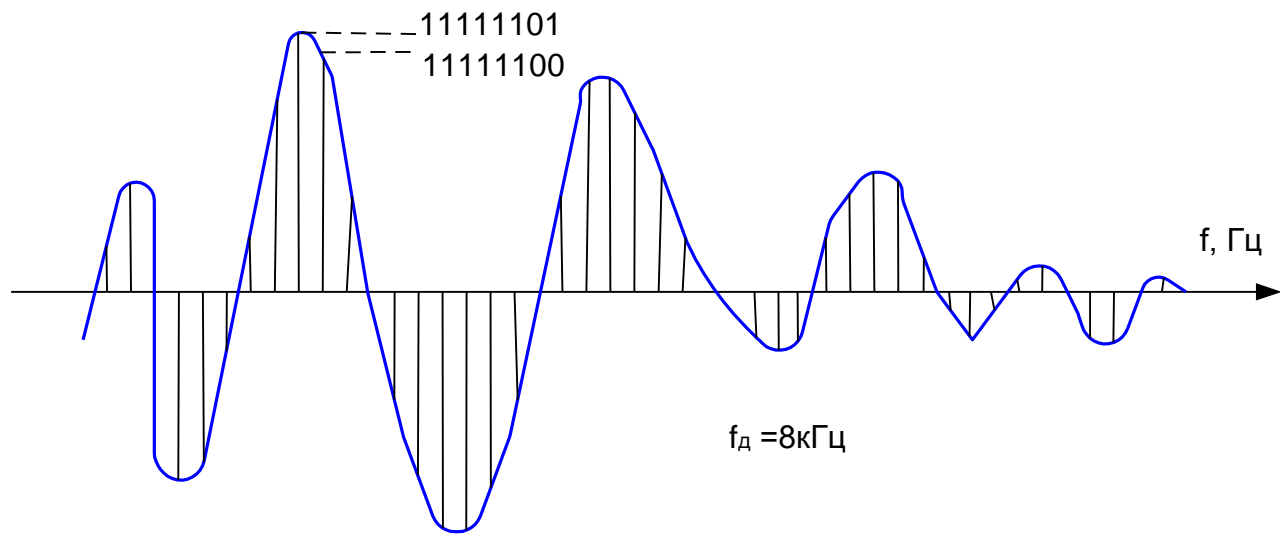


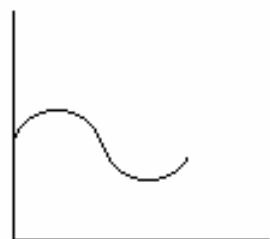




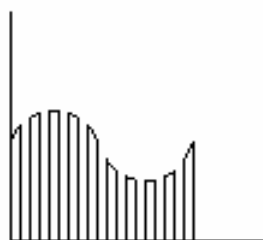
1010110111011110111101111011101101010101010100100010000100001000100010010101010



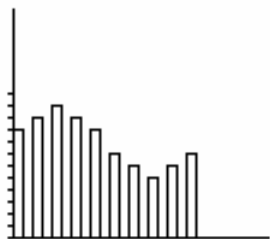




Дискретизация



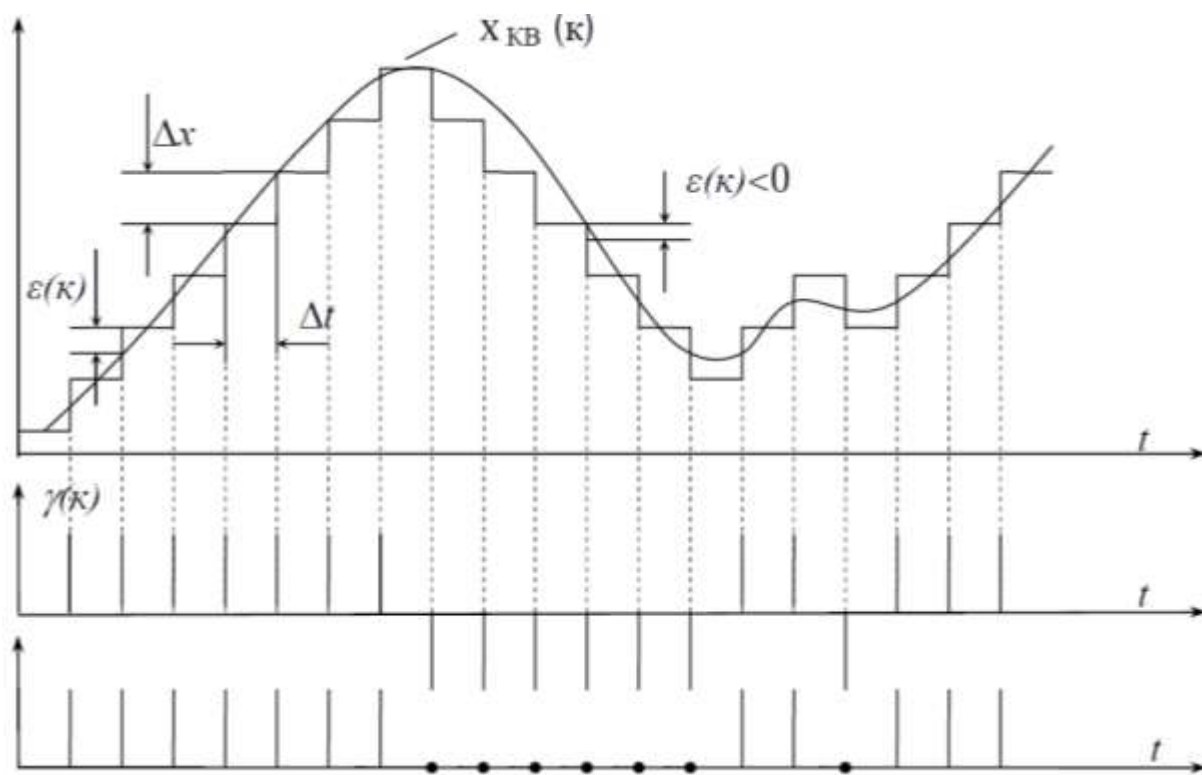
Квантование

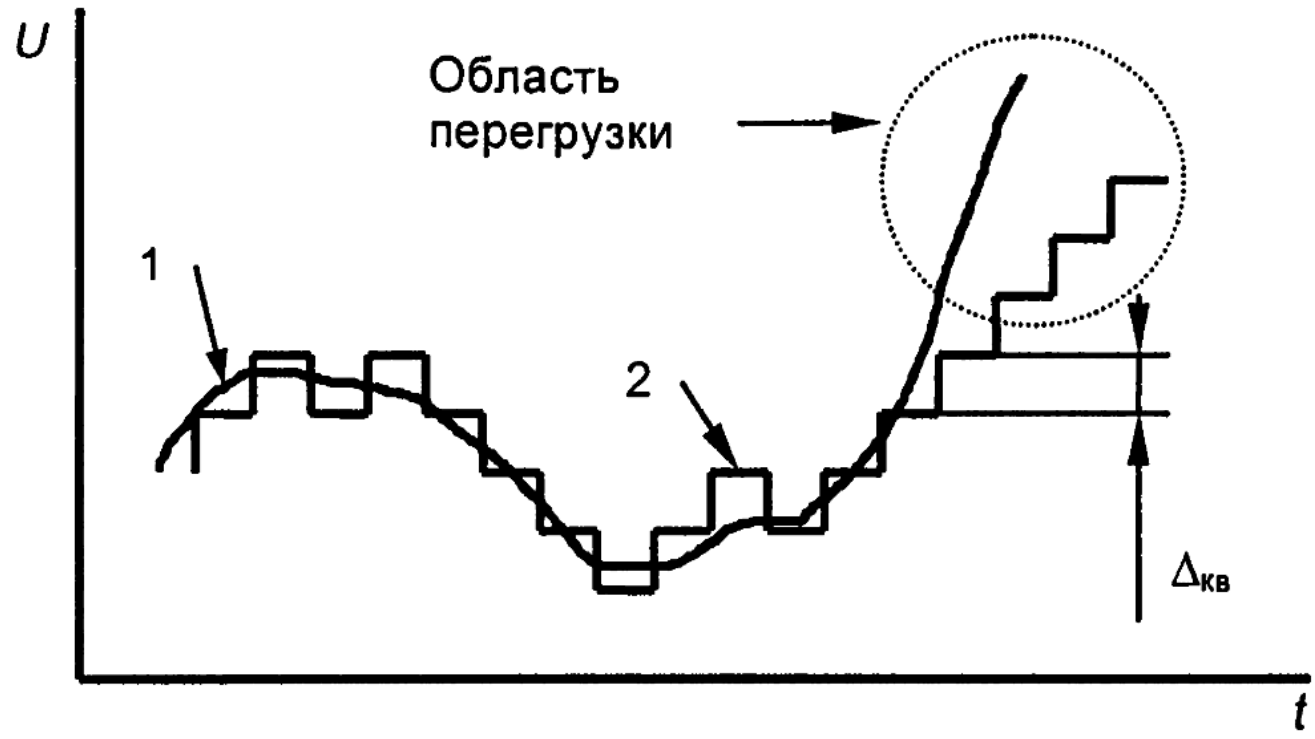


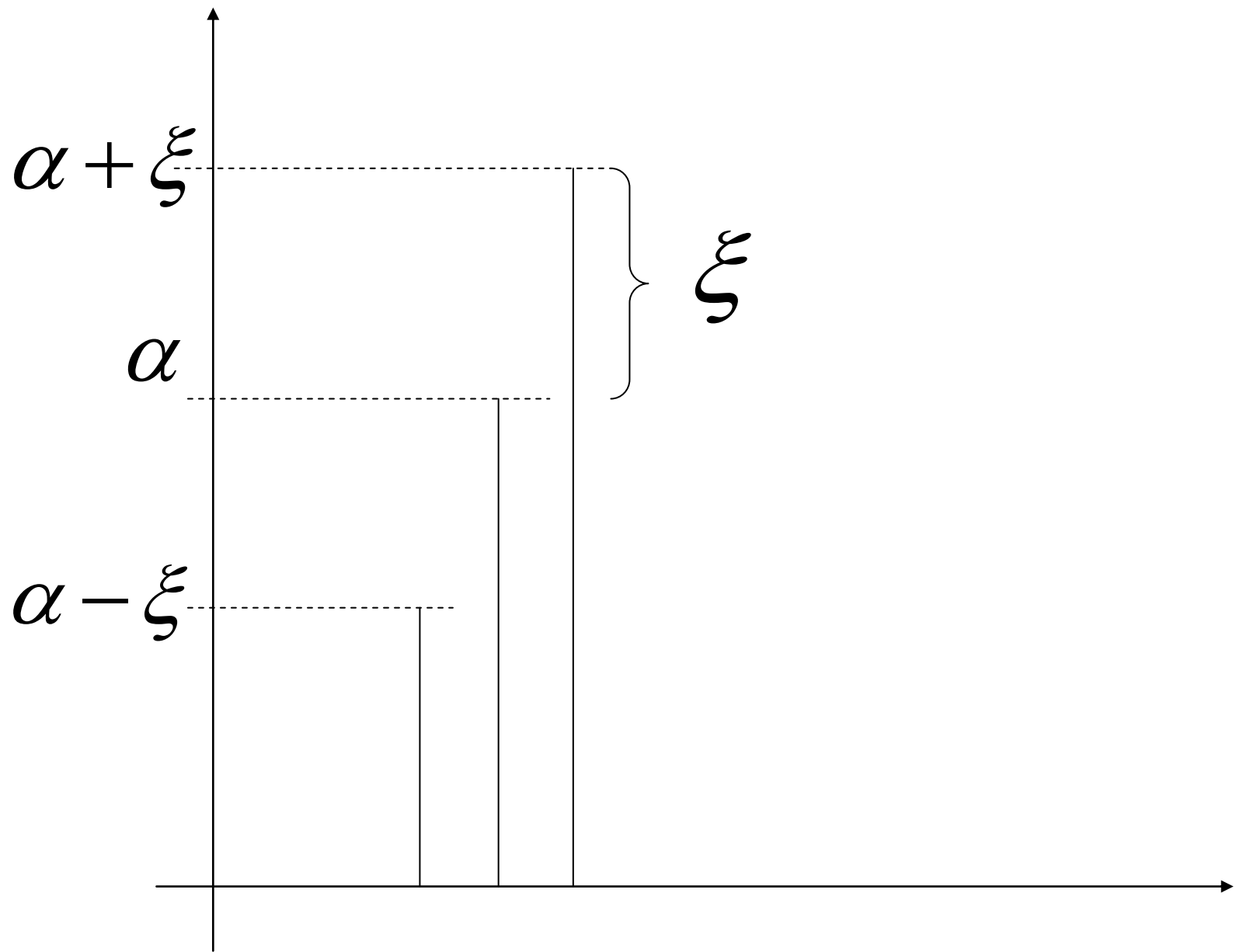
Кодирование



0101001011







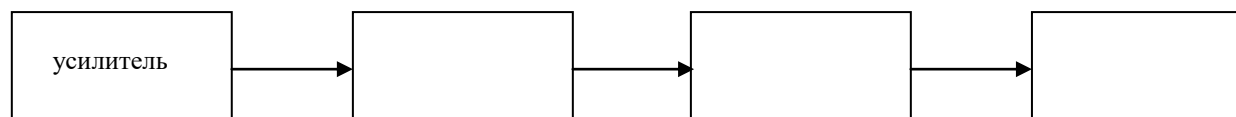
$$\Delta a > 2\xi$$

Если передается исходный сигнал со значением уровня  $\alpha$ , то принимается  $[\alpha - \xi \dots \alpha + \xi]$ .

При повторном квантовании в любом случае получится исходное значение  $\alpha$ .

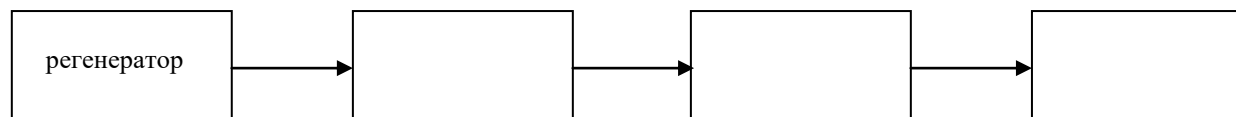
Помехи усиливаются вместе с сигналом

аналоговая



Сигнал восстанавливается в каждом регенераторе

цифровая





## **Импульсно-кодовая модуляция (ИКМ):**

измерение амплитуды аналогового сигнала в моменты времени, отстоящие друг от друга на  $\Delta t$ , и кодирование этих амплитуд цифровым кодом.

Величина  $\Delta t$  определяется по *теореме Котельникова*: для неискаженной передачи нужно иметь не менее двух отсчетов на период колебаний, соответствующий высшей составляющей в частотном спектре сигнала.

## Теорема Котельникова (Найквиста, отсчетов)

Если функция  $S(t)$  не содержит частот выше  $F_{\max}$ , то она полностью определяется последовательностью своих значений, отстоящих друг от друга на величину

$$\Delta t = \frac{1}{2F_{\max}}$$

## Характеристики квантующего устройства

- число уровней квантования  $N_{\text{КВ}}$
- шаг квантования  $\Delta a$  – разность между двумя соседними разрешенными уровнями
- напряжение ограничения  $U_{\text{ОГР}}$  - максимальное значение амплитуды отсчета, подвергаемого квантованию.

Если  $\Delta a = \text{const}$ , то квантование называют равномерным.

**Ошибка квантования** (шум квантования) – разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением. При равномерном квантовании величина ошибки квантования не превышает половины шага квантования.

Недостатком **равномерного квантования** является меньшая защищенность от шумов квантования малых уровней сигнала.

## ИКМ. Основные операции

- **Дискретизация аналогового сигнала по времени**  
Результат – импульсный сигнал, промодулированный по амплитуде (АИМ-сигнал)  
Процесс дискретизации эквивалентен амплитудной модуляции последовательности импульсов с постоянной амплитудой → Амплитудно-импульсная модуляция (АИМ)
- **Квантование АИМ-сигнала по уровню**
- **Кодирование отсчетов АИМ-сигнала**



Канал тональной частоты (ТЧ)

300 ... 3400 Гц

Телефонный канал на базе ИКМ

$R = ?$

$$\Rightarrow F_{\max} = 4000 \text{ Гц}$$

$$\Rightarrow \Delta t = \frac{1}{2F_{\max}} = \frac{1}{8000} = 0,125 \text{ [s]} = 125 \text{ [\mu s]}$$

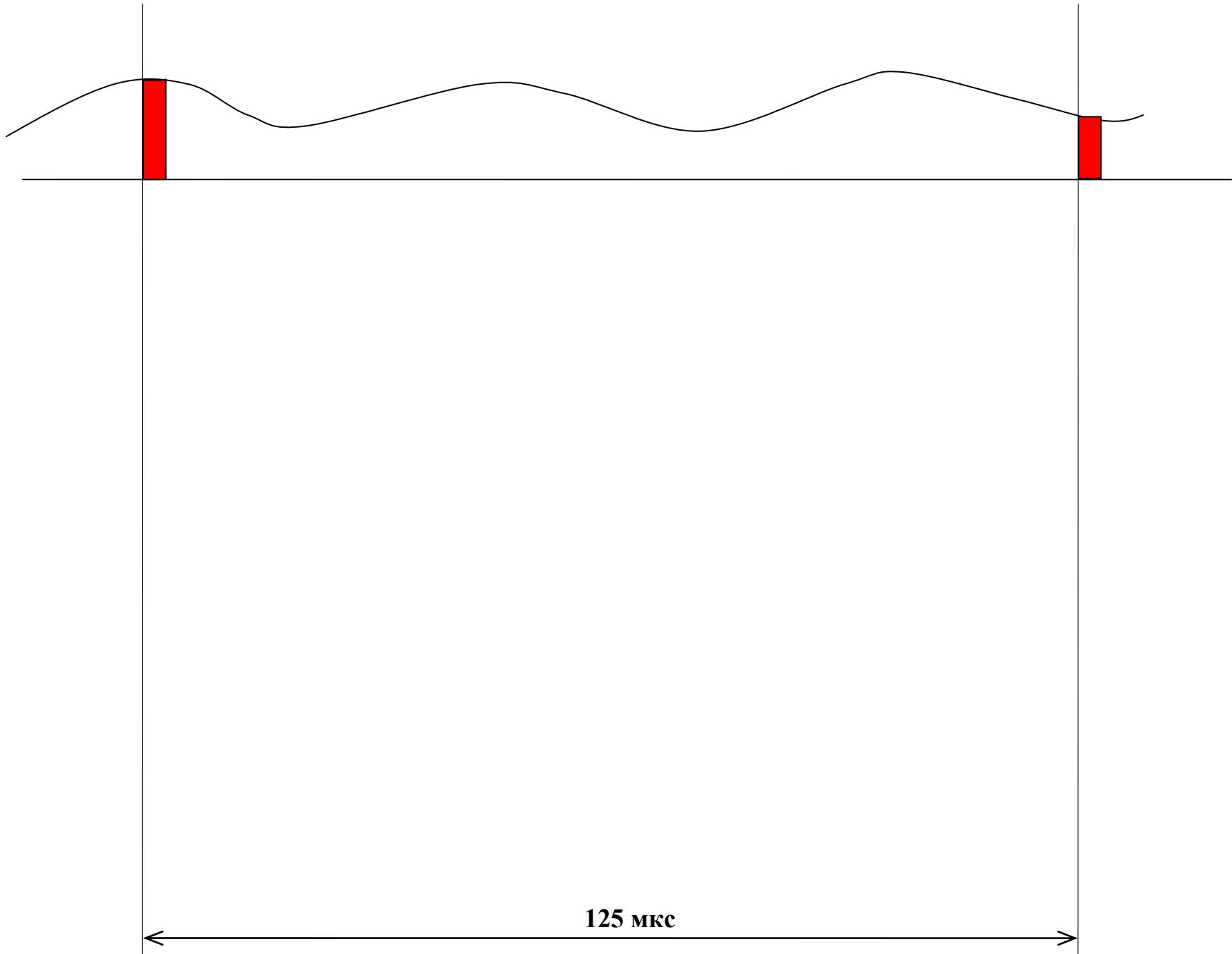
$$\Rightarrow 8000 \text{ отсчетов/с}$$

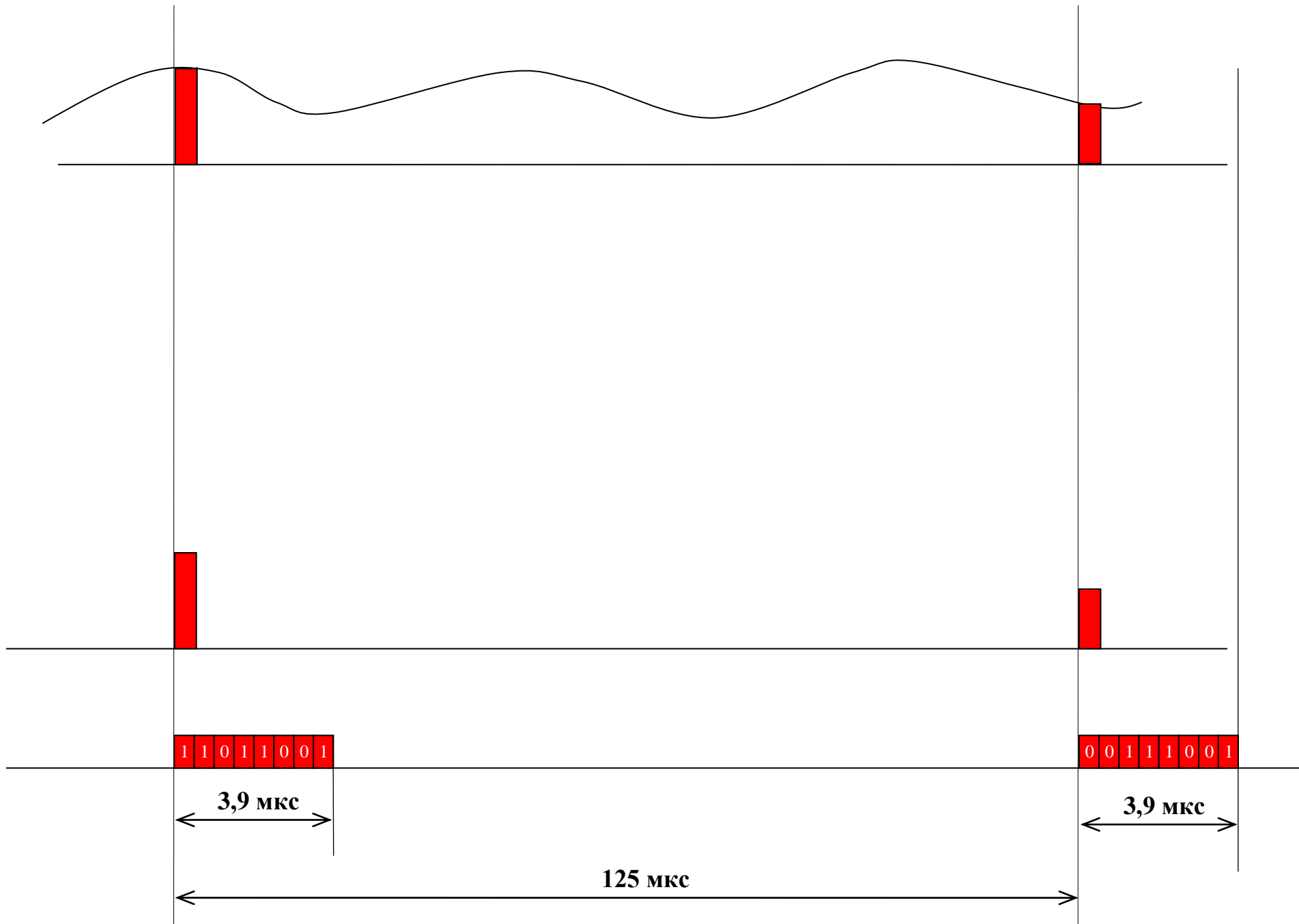
$$\Rightarrow R = 8000 \text{ [1/с]} * 8 \text{ [бит]} = \\ 64\,000 \text{ [бит/с]}$$

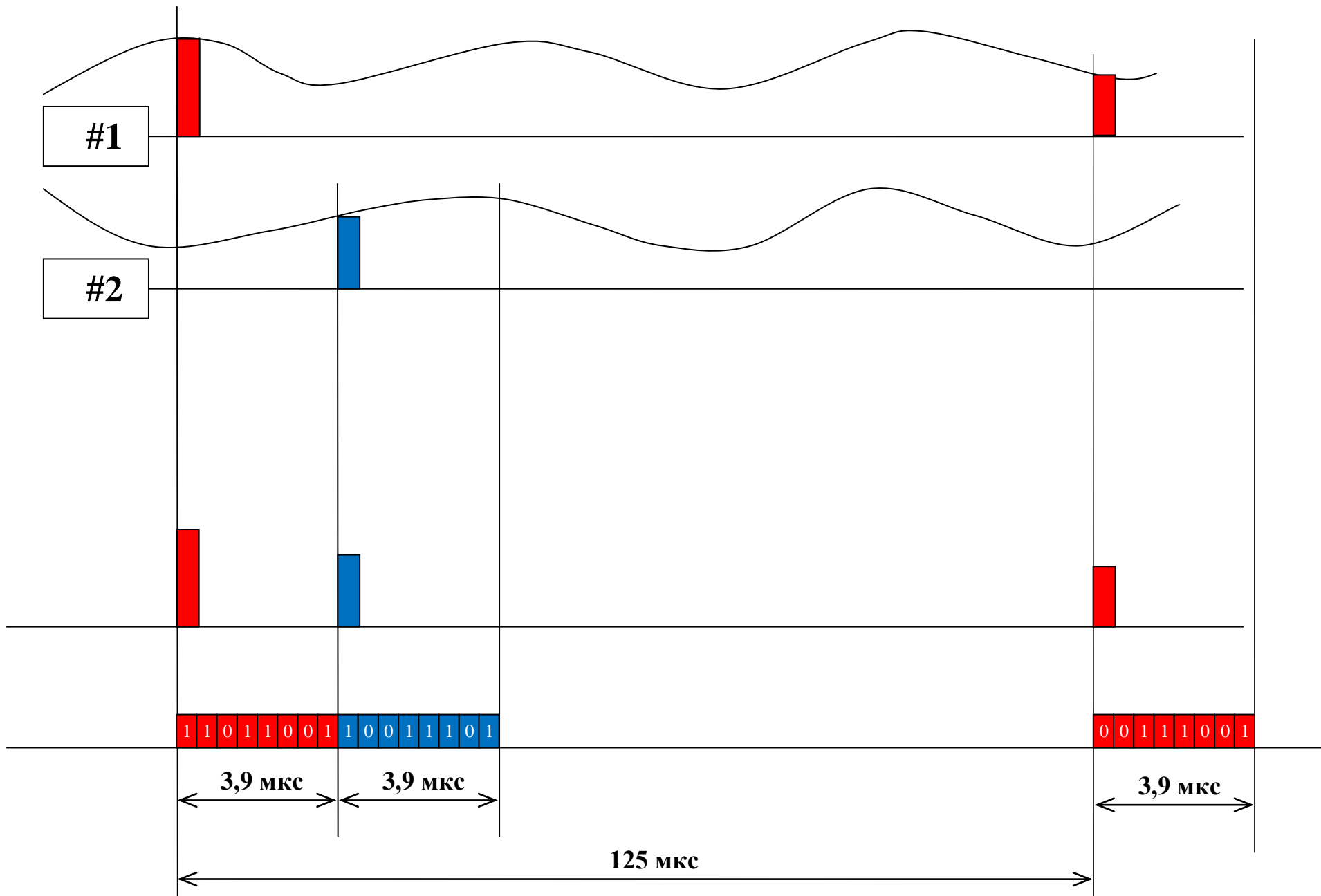


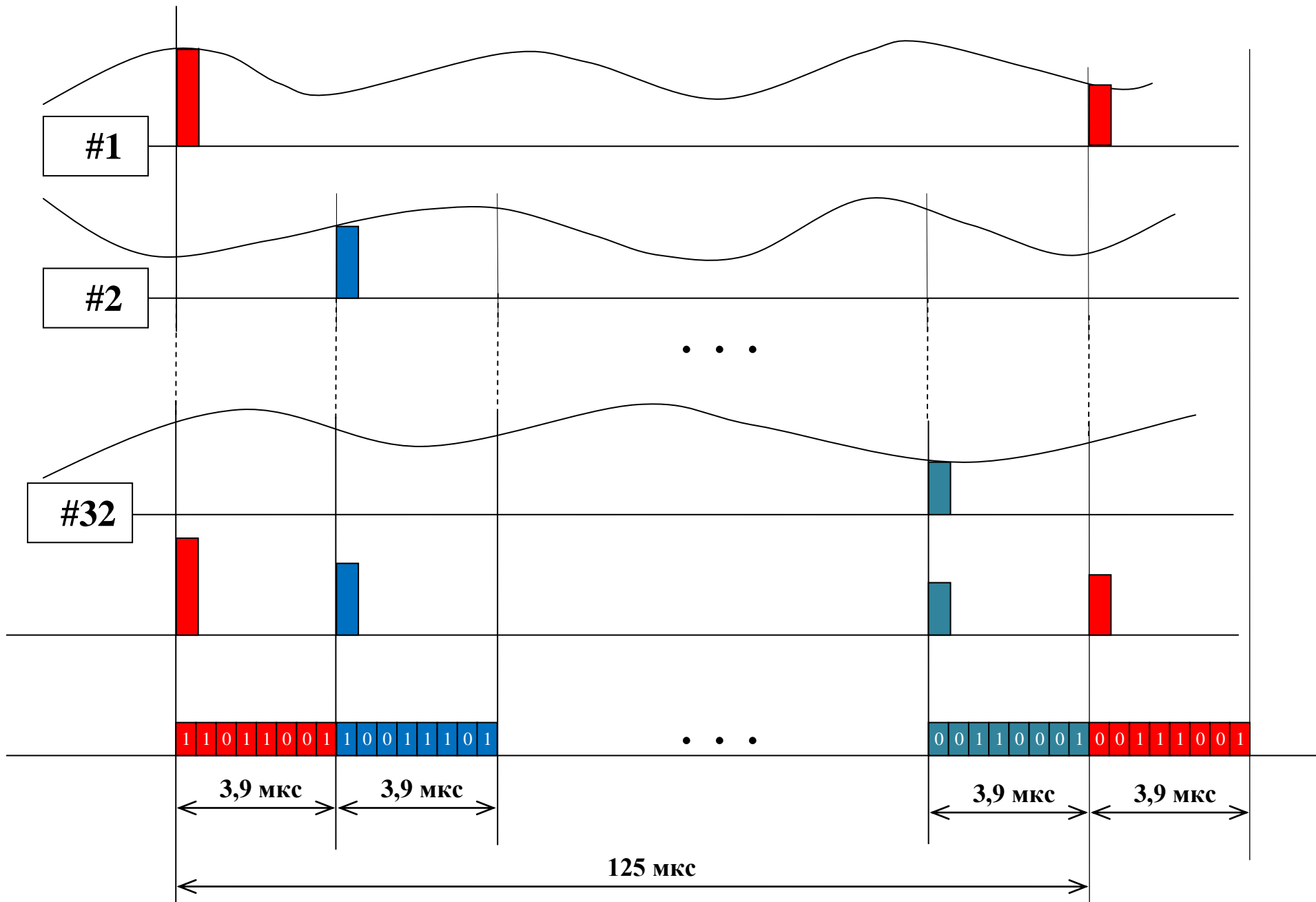
$$\Rightarrow R = 64 \text{ Кбит/с}$$

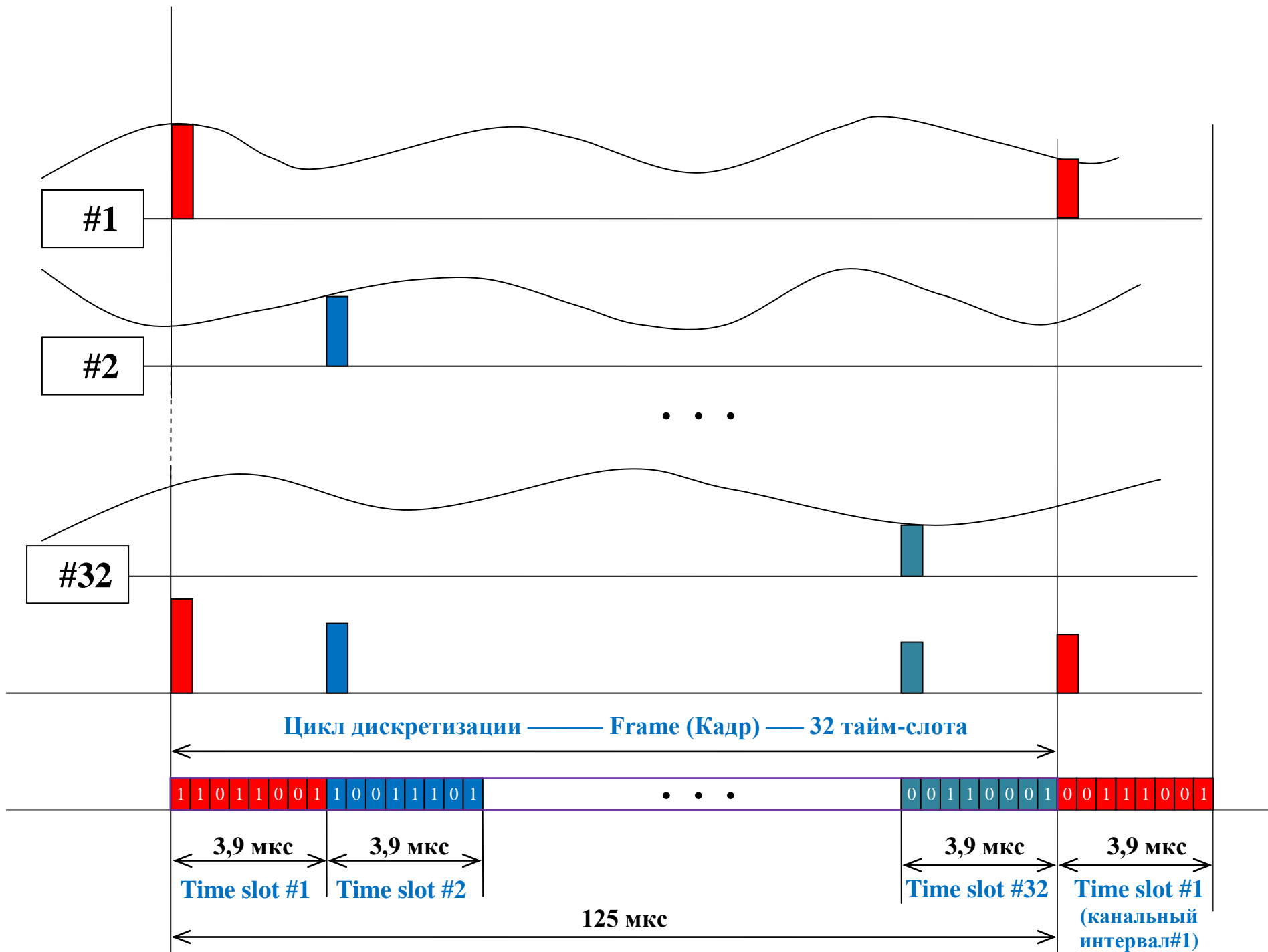


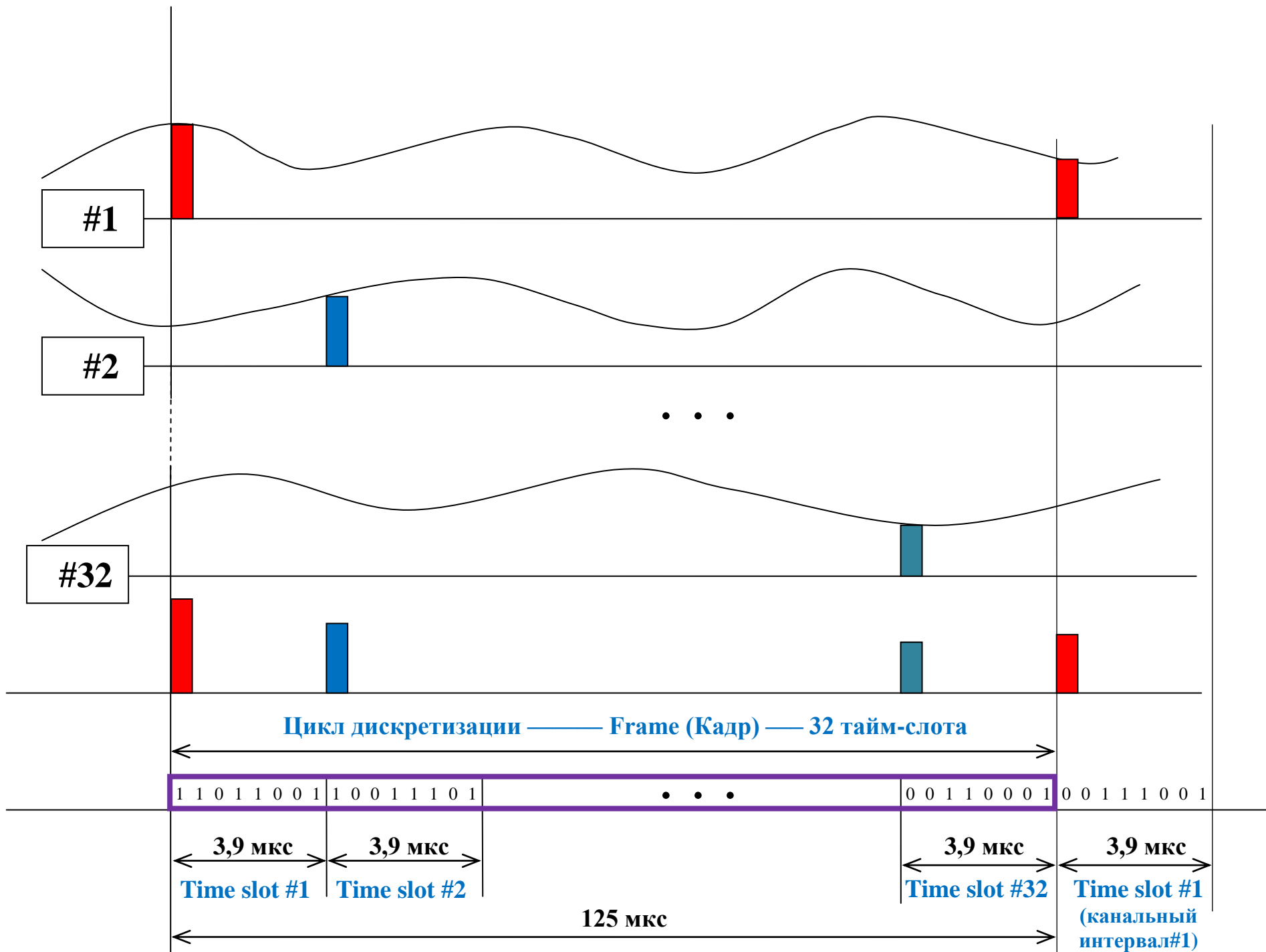




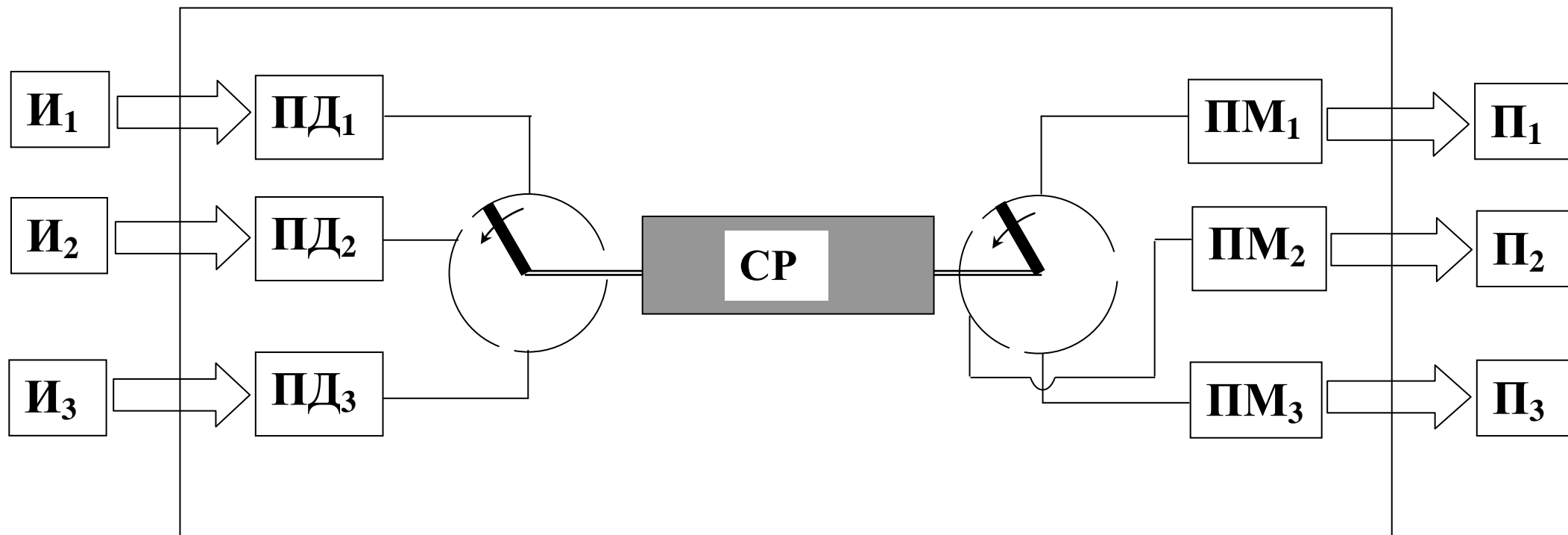




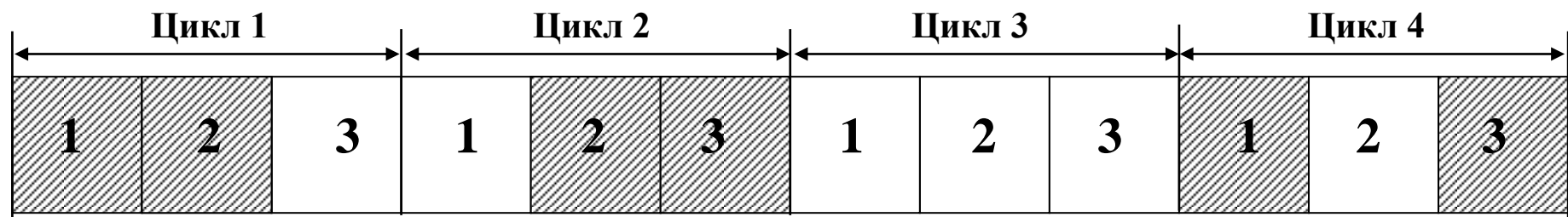
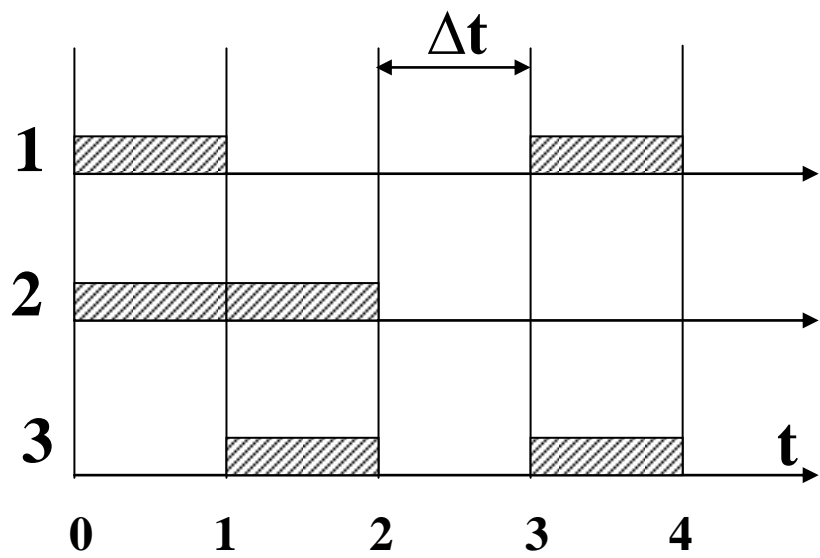








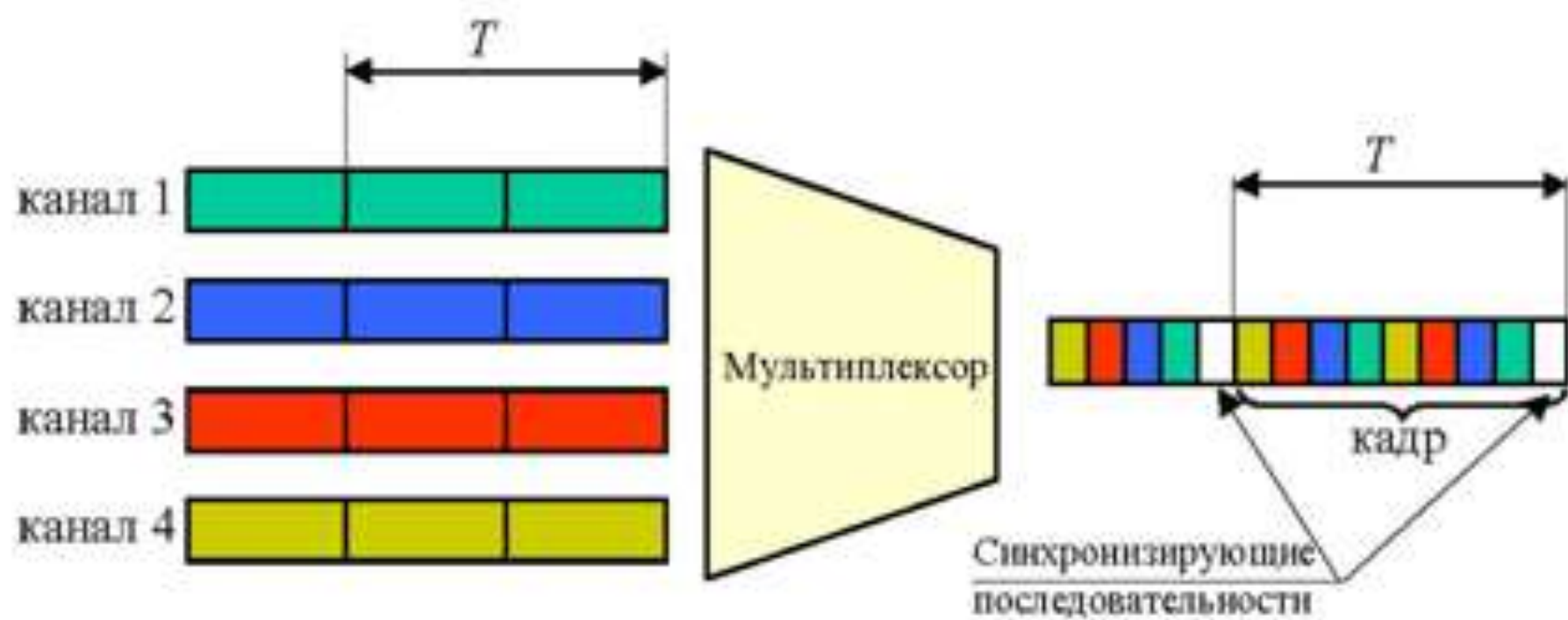
**Временное уплотнение (разделение/мультиплексирование)**  
Time Division Multiplexing (TDM)



**Синхронное временное уплотнение (СВУ)**

# PCM + TDM

- Каждую  $1/8000$  долю секунды необходимо производить измерение амплитуды аналогового сигнала.
- **Время передачи восьмизначного значения мгновенной амплитуды называется канальным интервалом (time slot) и равно длительности передачи восьми импульсов (один для каждого бита).**
- **Совокупность канальных интервалов за один цикл дискретизации составляет кадр.**



В Европе, как и почти во всем остальном мире, за исключением США и Японии, стандартной системой является **ИКМ-32/30 (Е1)**:

→ 32 временных канала по 64 кбит/с

→ 30 каналов – информационные (для передачи голоса, данных и т.д.)

→ 2 канала – служебные, в том числе:

1 канал – для сигнализации (служебные сигналы установления связи)

1 канал - для синхронизации

→ Общая пропускная способность системы **ИКМ-32/30 (Е1)**

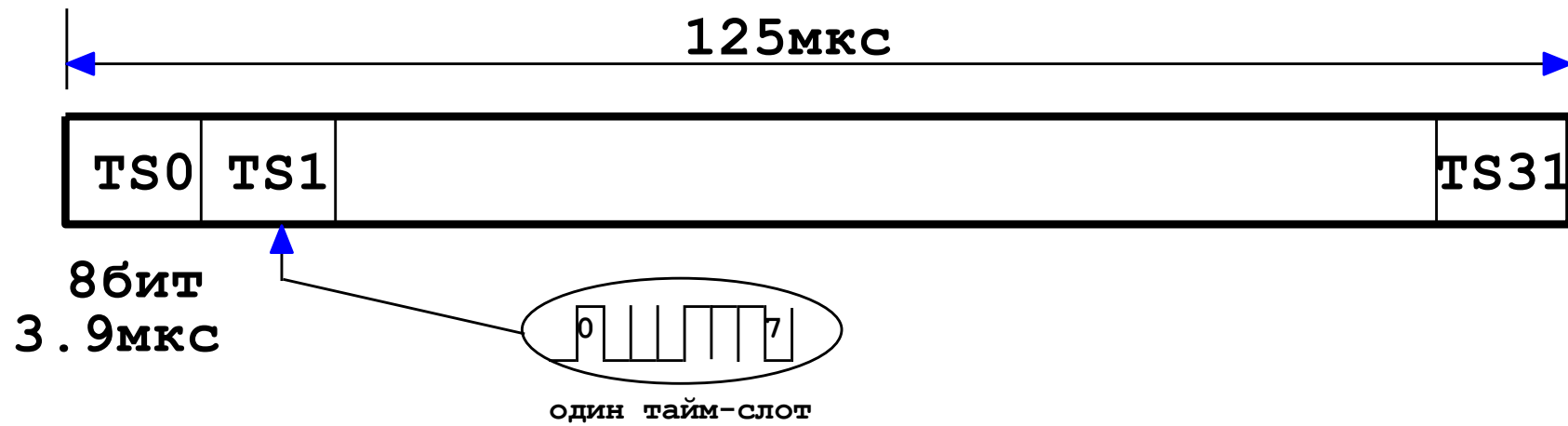
**R = 2,048 Мбит/с.**

<http://siblec.ru/index.php?dn=html&way=bW9kL2h0bWwvY29udGVudC83c2VtL2NvdXJzZTE0OS9sZWMyLmh0bQ==>

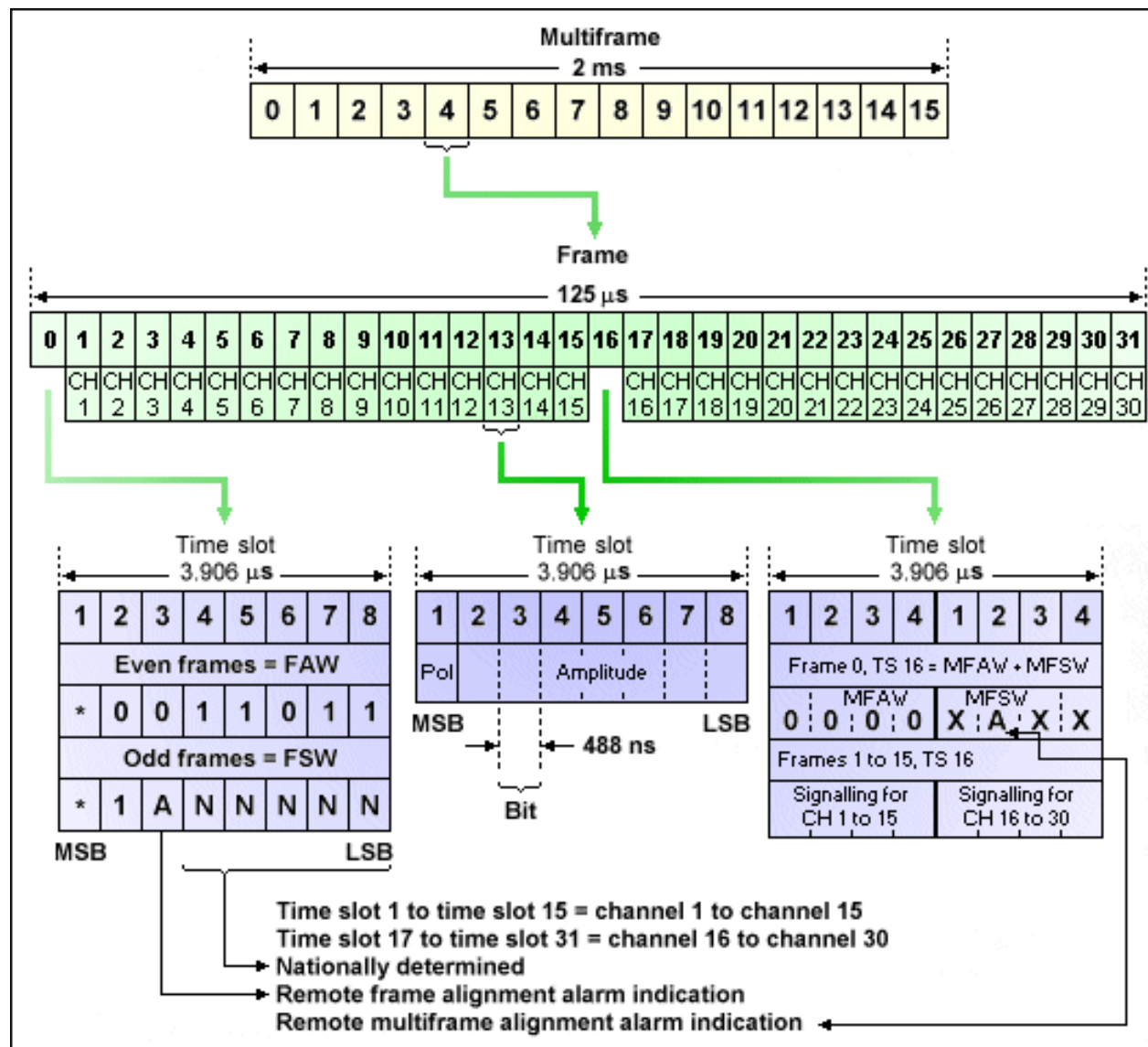
Параметры систем ИКМ-30/32, которые должны помнить:

1. Частота дискретизации ( $f=8\text{кГц}$ )
2. Период дискретизации ( $T=125\text{ мкс}$ )
3. Длительность временного интервала ( $T_{\text{и}}=125/32=3,9\text{ мкс}$ )
4. Количество каналов и их назначение в ИКМ-30/32
5. Порядок преобразования аналогового сигнала в цифровой (ИКМ)
6. Количество уровней квантования (256)
7. Количество бит для передачи речевого сигнала (8)
8. Пропускная способность 1 канала (64 кбит/сек)
9. Пропускная способность 1 ИКМ тракта (2048 кбит/сек)

# Основной цифровой канал E1



Интервал дискретизации для 8кГц – период 125мкс.  $8\text{кГц} \times 8\text{бит} = 64\text{ кбит/с}$





The 30/32 channel system uses a *frame* and *multiframe* structure, with each frame consisting of 32 pulse channel time slots numbered 0-31. Slot 0 contains the *Frame Alignment Word (FAW)* and *Frame Service Word (FSW)*. Slots 1-15 and 17-31 are used for digitised speech (channels 1-15 and 16-30 respectively). In each digitised speech channel, the first bit is used to signify the polarity of the sample, and the remaining bits represent the amplitude of the sample. **The duration of each bit on a PCM system is 488 nanoseconds (ns). Each time slot is therefore 3.904 µseconds (8 bits x 488 ns). Each frame therefore occupies 125 milliseconds (32 x 3.904 mseconds).**

In order for signalling information (dial pulses) for all 30 channels to be transmitted, the multiframe consists of 16 frames numbered 0-15. In frame 0, slot 16 contains the *Multiframe Alignment Word (MFAW)* and *Multiframe Service Word (MFSW)*. In frames 1-15, slot 16 contains signalling information for two channels. The frame and multiframe structure are shown below. The duration of each multiframe is 2 milliseconds (125 µseconds x 16).

[http://www.technologyuk.net/telecommunications/telecom\\_principles/pulse\\_code\\_modulation.shtml](http://www.technologyuk.net/telecommunications/telecom_principles/pulse_code_modulation.shtml)

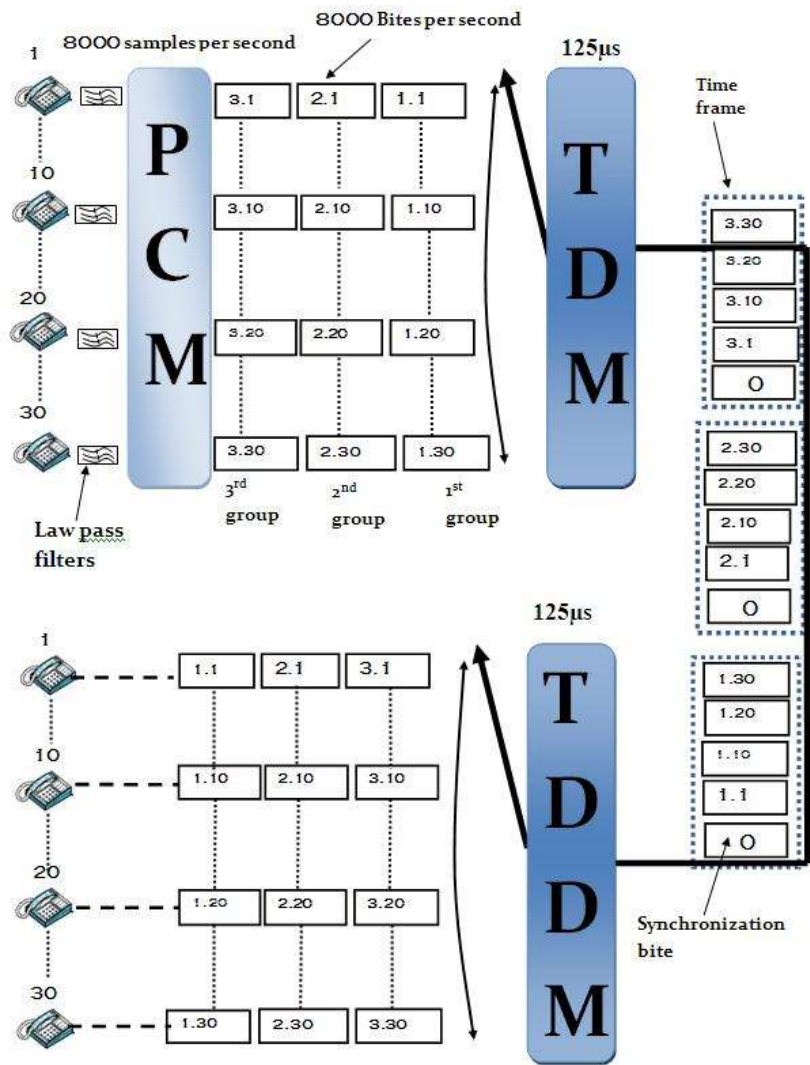
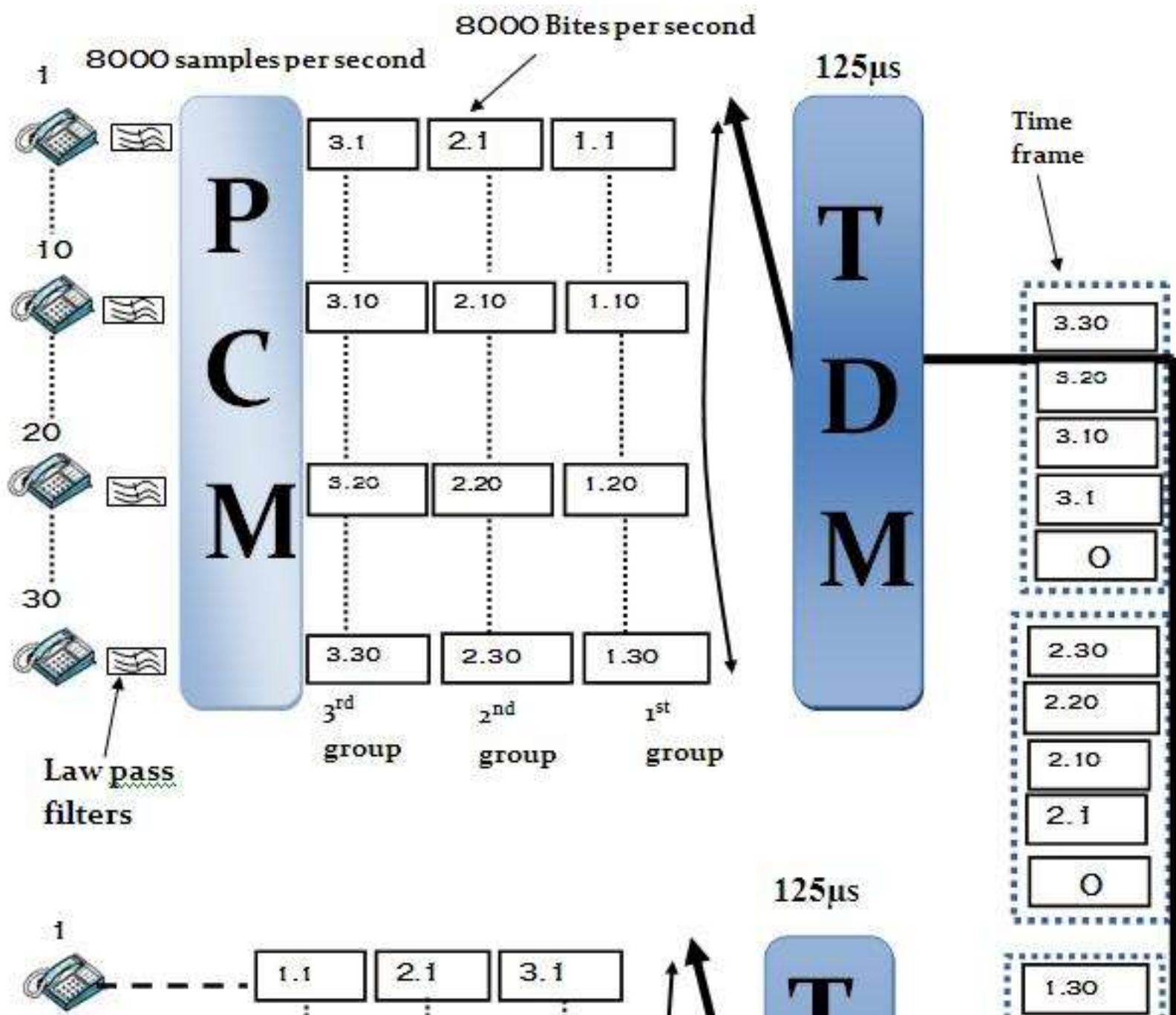


Figure 3.1.1



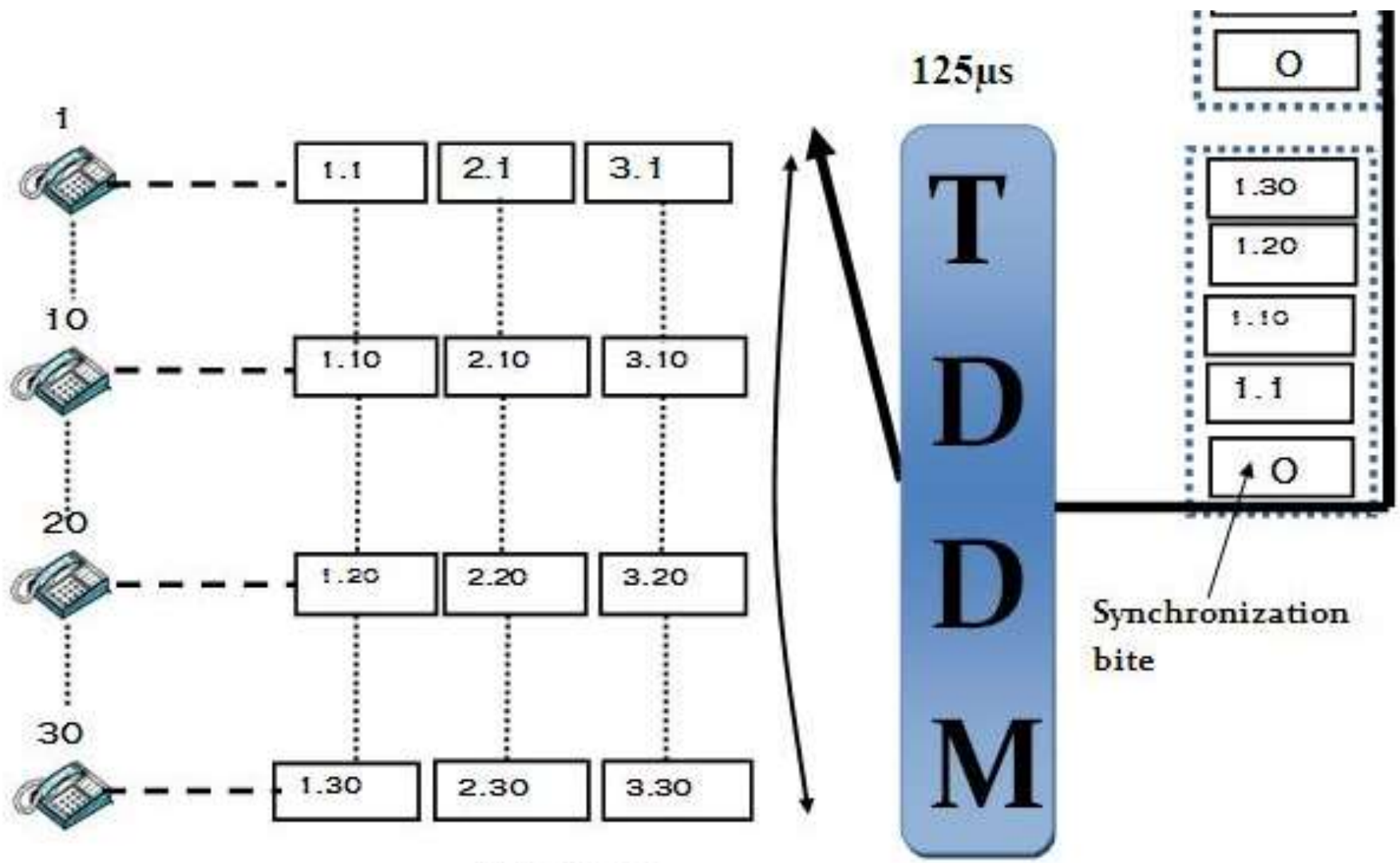


Figure 3.1.1

## ИЕРАРХИЯ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ PDH

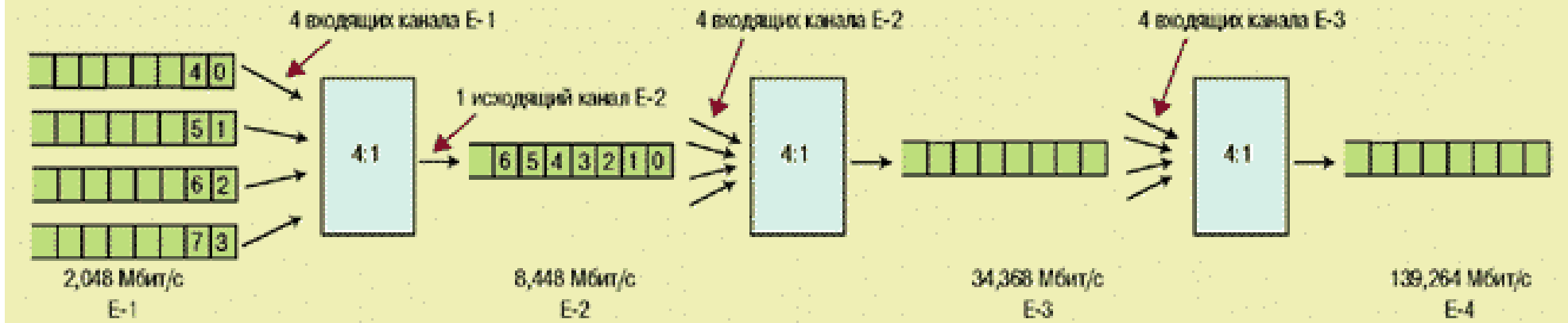


Рисунок «3»

- Система **E-1** образует **первичную группу**.
- **Вторичную группу E-2** образуют 4 канала E-1 с общей пропускной способностью 8,448 Мбит/с.
- **Третичную группу E-3** образуют 4 канала E-2 (или 16 каналов E-1) с общей пропускной способностью 34,368 Мбит/с.
- **Четверичную группу E-4** образуют 4 канала E-3 с общей пропускной способностью 139,264 Мбит/с.

Эти системы образуют [европейскую] плезиохронную цифровую иерархию (**PDH**).

<http://celnet.ru/pdh.php>

Принцип последовательного мультиплексирования каналов проиллюстрирован на Рисунке «3».

Четыре канала E-1 мультиплексируются в один канал E-2, причем на этом и последующих уровнях мультиплексирование осуществляется **побитно**, а **не побайтно**, как это имело место в случае мультиплексирования 30 голосовых каналов в один канал E-1. Суммарная емкость четырех каналов E-1 составляет 8,192 Мбит/с, в то время как полная емкость E-2 равна в действительности 8,448 Мбит/с. **Избыточные биты** используются для обрамления и восстановления синхронизации. Затем четыре канала E-2 мультиплексируются в один канал E-3 и т. д.

## **Рисунок «3»**

**Как малые притоки сливаются в одну большую реку, так и низкоскоростные линии объединяются в высокоскоростные с помощью иерархии мультиплексоров.**

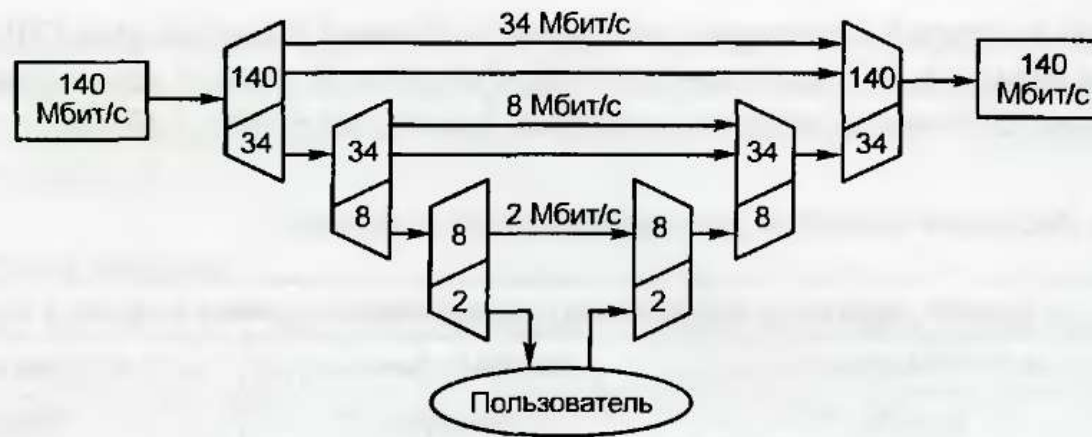
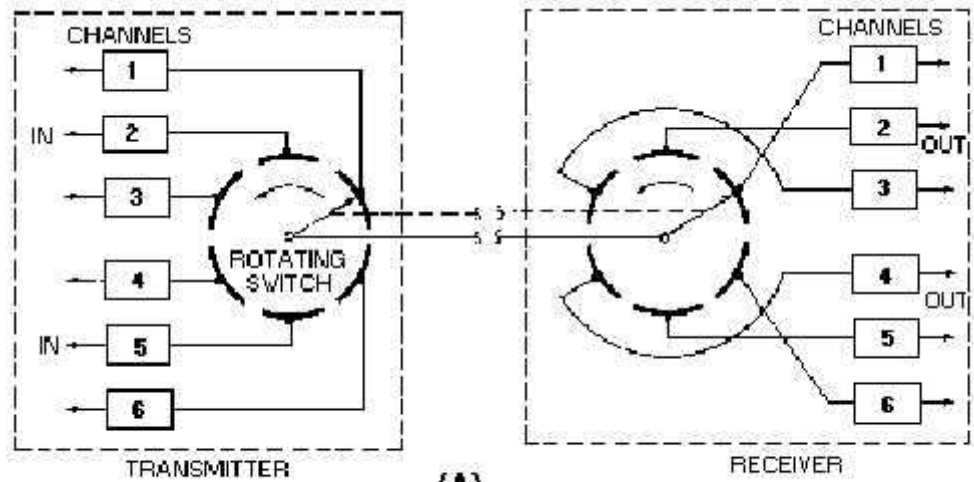
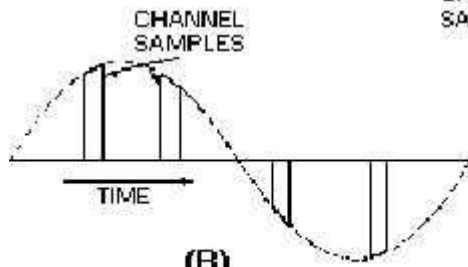


Рис. 1.69. Ввод/вывод потока пользователя  
2 Мбит/с в поток 140 Мбит/с в PDH

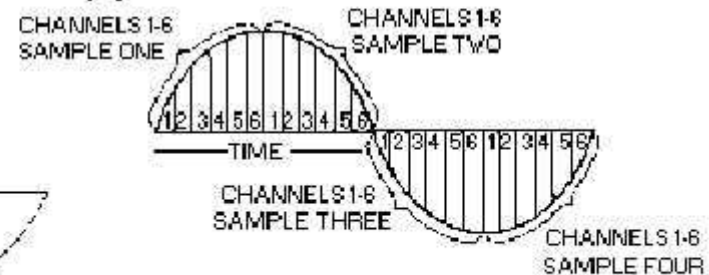




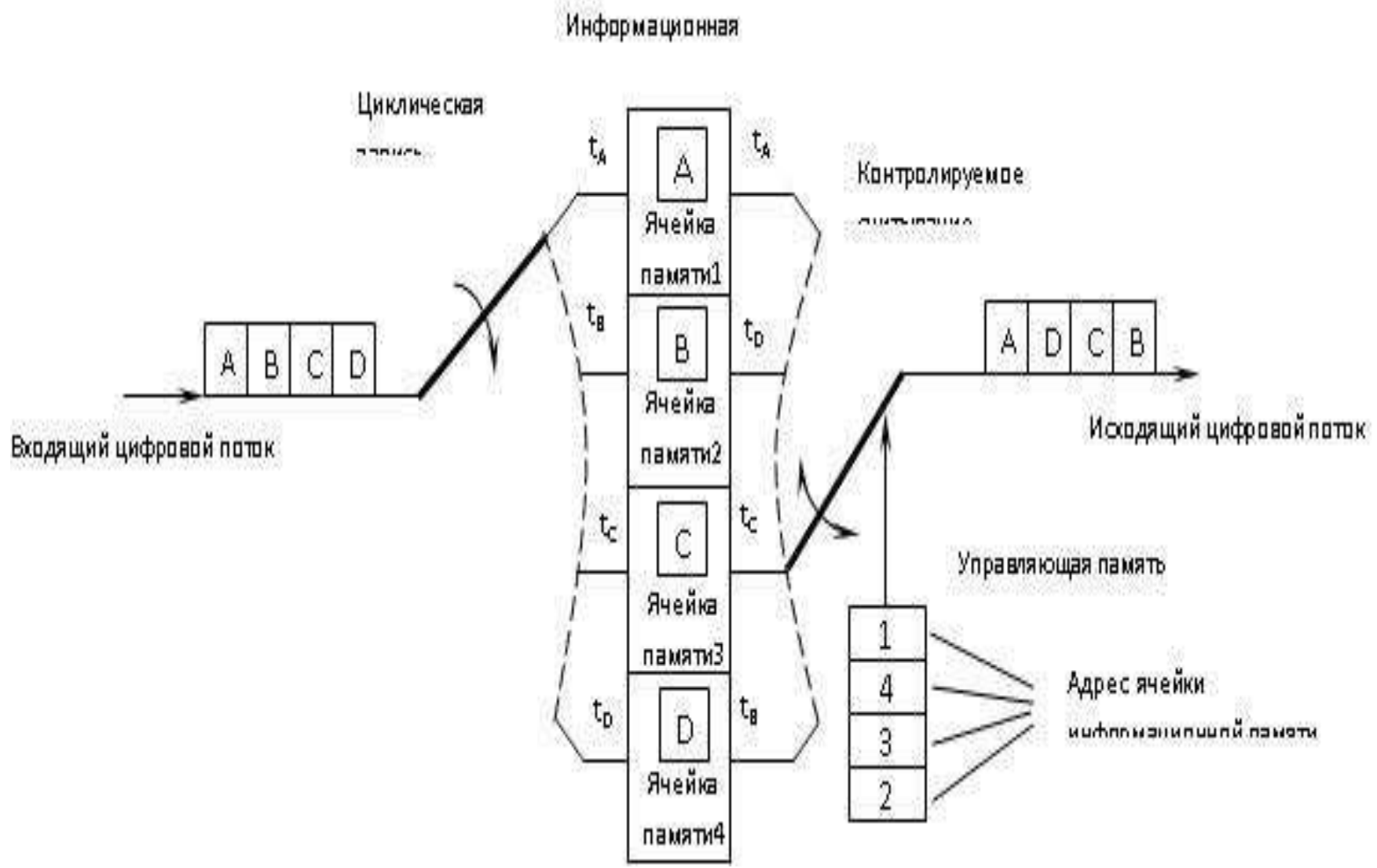
(A)



(B)



(C)



Цифровая коммутация.

