

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**КЫРГЫЗСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ им. И. Раззакова**

**Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций**

**Кафедра «Телекоммуникации»**

## **ЦИФРОВЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ**

**Методические указания к выполнению практических занятий  
по дисциплине «Системы коммутации и их ПО»**

**Бишкек – 2011**

«Рассмотрено»  
на заседании кафедры  
«Телекоммуникации»  
Прот. № 8 от 29.04.2011 г.

«Одобрено»  
учебно-методической  
комиссией ФИТ  
Прот. № 7 от 21.05.2011 г.

Составитель СЛАВИНСКАЯ Т.В.

Цифровые способы передачи сигналов. Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине «Системы коммутации и их ПО»/ КГТУ им. И.Раззакова; сост. Т.В. Славинская. – Б.: ИЦ «Текник», 2011. – 15 с.

Приведены общие методические указания, учебная литература, вопросы и задачи, на которые необходимо обратить внимание.

Предназначены для студентов направления 552802 «Информационные системы», специальности 552802.01 «Информационные системы и технологии» очной формы обучения.

Ил.: 15. Рис.: 2 табл. Библиогр.: 3 назв.

Рецензент ст. преп. каф. Ванюков А.Ю.

© Славинская Т.В., 2011.

---

Цифровые способы передачи сигналов  
Методические указания к выполнению практических занятий по дисциплине  
«Системы коммутации и их ПО»  
Составитель *Славинская Т.В.*

Тех. редактор *Субанбердиева Н.Е.*

---

Подписано к печати 07.06.2011 г. Формат бумаги 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага офс. Печать офс. Объем 0,8 п.л. Тираж 100 экз. Заказ 237. Цена 12,8 с.  
Бишкек, ул. Сухомлинова, 20. ИЦ «Текник» КГТУ им. И.Раззакова, т.: 54-29-43  
e-mail: beknur@mail.ru

## 1. ВРЕМЕННОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ СИГНАЛОВ (ВРК)

Принцип временного разделения сигналов основывается на том, что весь непрерывный аналоговый сигнал передавать не требуется, а достаточно передавать только часть исходного сигнала, см. рис.1.

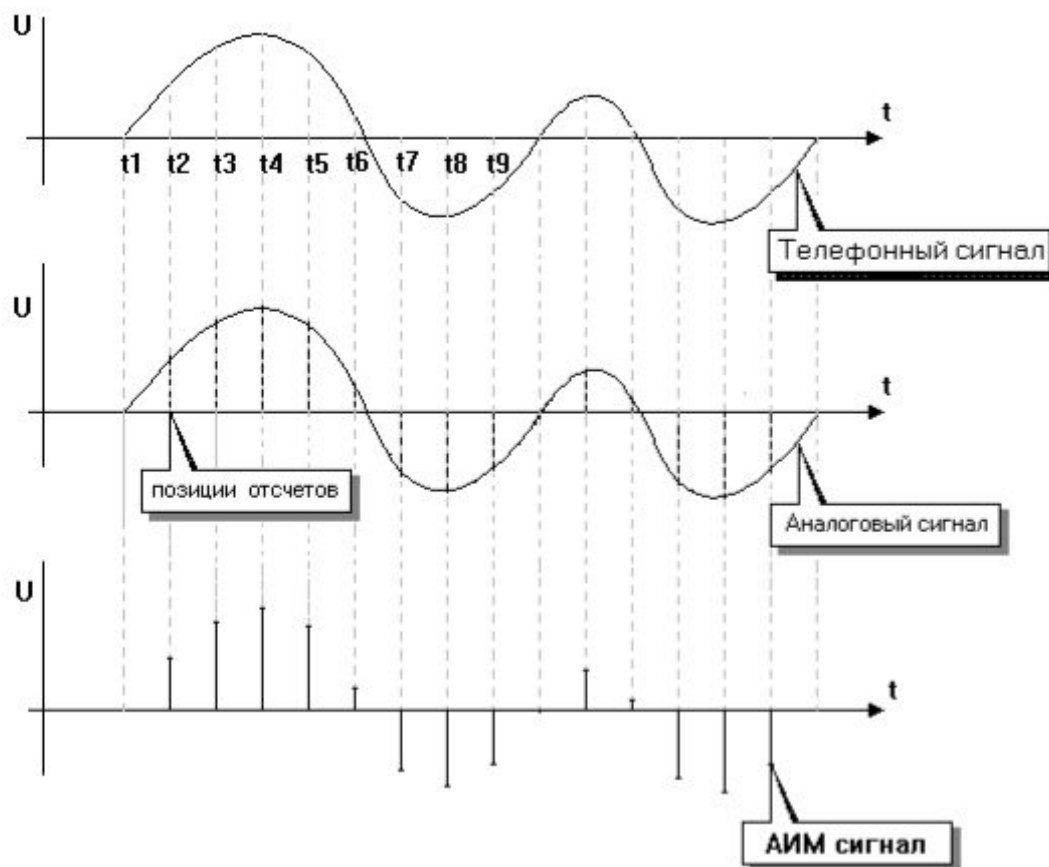


Рис.1. Принцип временного разделения сигналов

Этот способ обработки сигнала подобен замене изображения непрерывной кривой линией в виде точек или коротких отрезков. Если отрезки изображать с определенной периодичностью, то по ним можно будет восстановить исходную непрерывную кривую. Первым, кто обосновал и определил частоту отсчетов, был В.А.Котельников.

По его теории частота отсчетов, необходимая для восстановления исходного сигнала, должна быть не меньше, чем удвоенная наивысшая частота в спектре исходного сигнала.

Например: аналоговый телефонный сигнал (0.3 – 3.4) кГц может быть представлен в виде сигнала, состоящего из отсчетов амплитуд, взятых с частотой равной:

$$F \geq 2 * F_{\text{в}} = 2 * 3,4 = 6,8 \text{ кГц}$$

По рекомендации МККТТ эта частота равна 8 кГц и называется *частотой ДИСКРЕТИЗАЦИИ*. Способ получения такого сигнала называется ДИСКРЕТИЗАЦИЕЙ телефонного сигнала, а сам сигнал называется АМПЛИТУДНО – ИМПУЛЬСНО-МОДУЛИРОВАННЫМ (АИМ).

На приемной стороне по этим отсчетам производится восстановление исходного телефонного сигнала. Между отсчетами АИМ сигнала образуются интервалы времени, в течение которых можно передавать отсчеты других сигналов и тем самым производить уплотнение линии.

Такой принцип уплотнения сигналов в линии называется ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ СИГНАЛОВ (ВРК). Способ объединения телефонных сигналов для передачи по линии производится с помощью МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАНИЯ нескольких АИМ сигналов, см рис.2.

АИМ сигнал является сигналом с переменной амплитудой, поэтому он по-прежнему остается АНАЛОГОВЫМ сигналом.

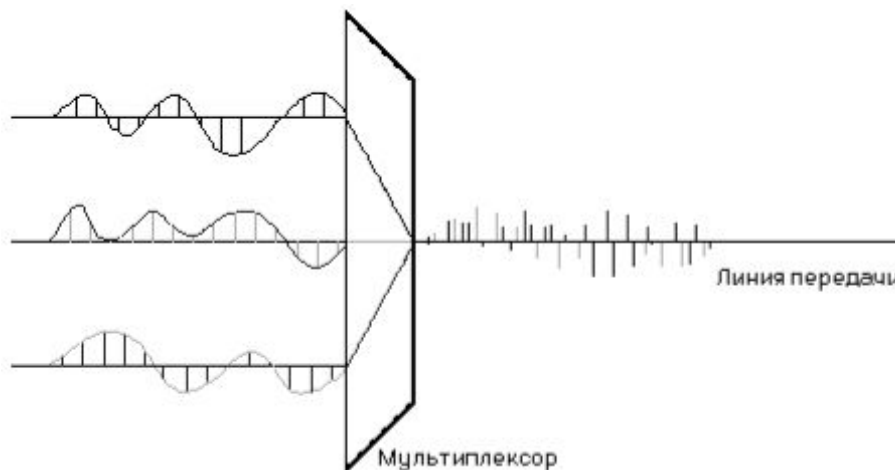


Рис.2. Прохождение сигнала через мультиплексор

## 2. ЦИФРОВАЯ ПЕРЕДАЧА СИГНАЛА

### ИМПУЛЬСНО – КОДОВАЯ МОДУЛЯЦИЯ (ИКМ)

Если вместо отсчетов с переменной амплитудой (АИМ сигнала) передавать числовое значение этой амплитуды, представив его в двоичном коде, то такой способ обработки сигнала называется ИМПУЛЬСНО–КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ (ИКМ). Такой сигнал является ЦИФРОВЫМ сигналом, т. к. значение амплитуды сигнала выражено *числом*, рис.3.

Амплитуды отсчетов аналогового АИМ сигнала кодируются 8–ми разрядными словами. Закодированная восьмью битами амплитуда передается во временном интервале между двумя соседними отсчетами разных АИМ сигналов. Этот временной интервал называется КАНАЛЬНЫМ ИНТЕРВАЛОМ (TS), рис.4.

На приемной стороне по этим числовым значениям ИКМ сигнала восстанавливается исходное значение амплитуды отсчета АИМ сигнала. При передаче цифрового сигнала на большие расстояния требуется восстановление (регенерация) искаженного ИКМ сигнала с помощью регенераторов, рис.5.

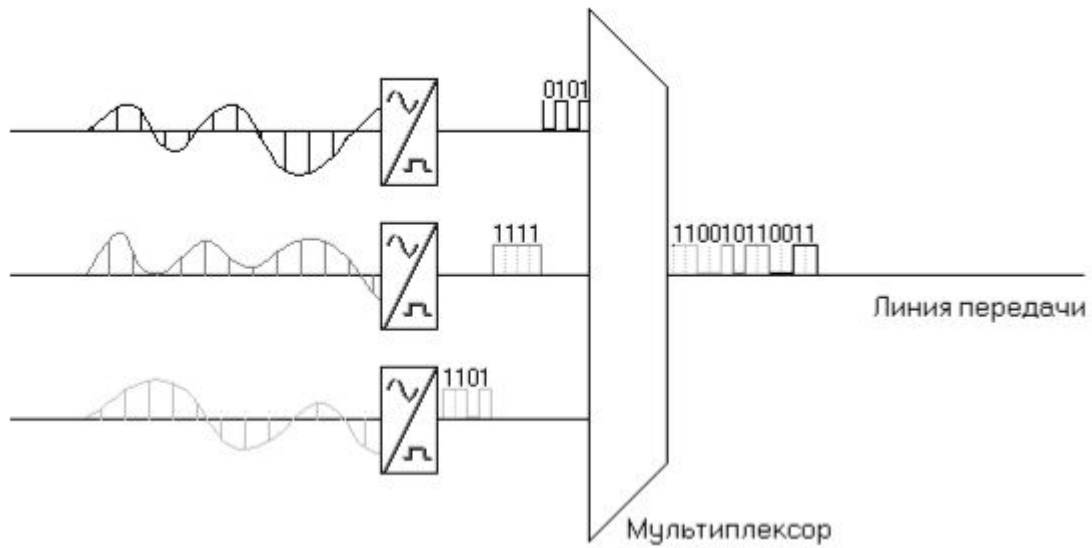


Рис.3. Цифровой сигнал

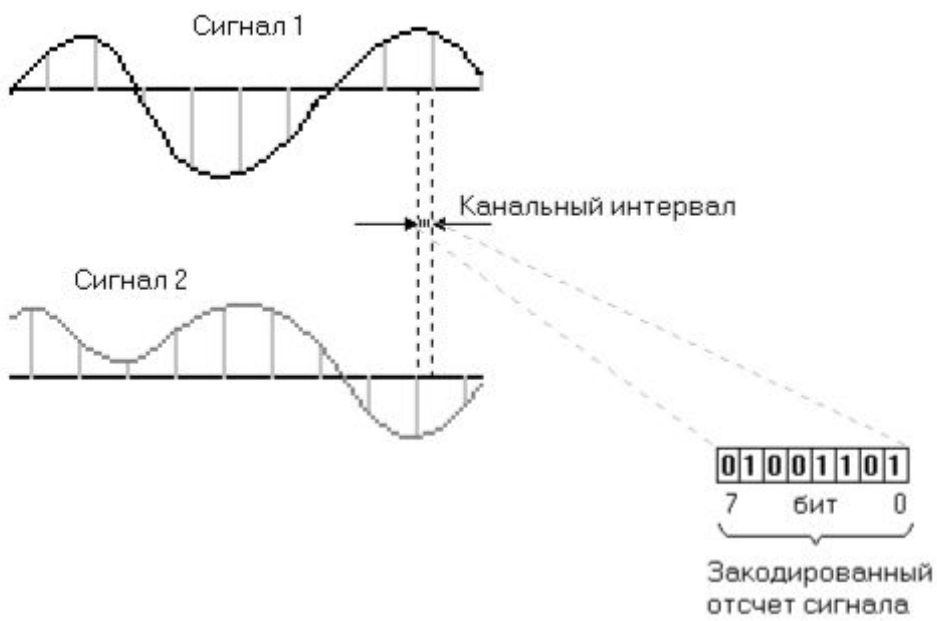


Рис.4. Канальный интервал

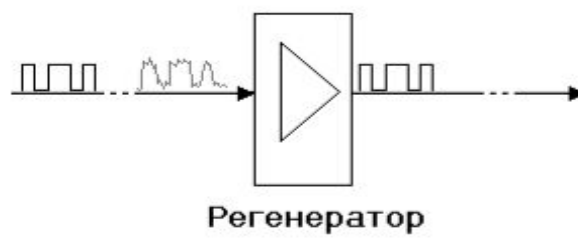


Рис.5. Регенерация

Регенерация цифрового сигнала является одним из достоинств цифровой передачи над аналоговой передачей, т. к. аналоговый сигнал при усилении на промежуточном пункте усиливается вместе с шумами, которые на него накладываются при прохождении по линии.

## ТЕХНОЛОГИЯ ИМПУЛЬСНО – КОДОВОЙ МОДУЛЯЦИИ (ИКМ)

Задача импульсно–кодовой модуляции (ИКМ) состоит в преобразовании АНАЛОГОВОГО сигнала в ЦИФРОВОЙ сигнал, рис.6. В дальнейшем цифровой сигнал может передаваться отдельно сам по себе или вместе с другими цифровыми сигналами.

Любая ИКМ система состоит из следующих основных компонентов:

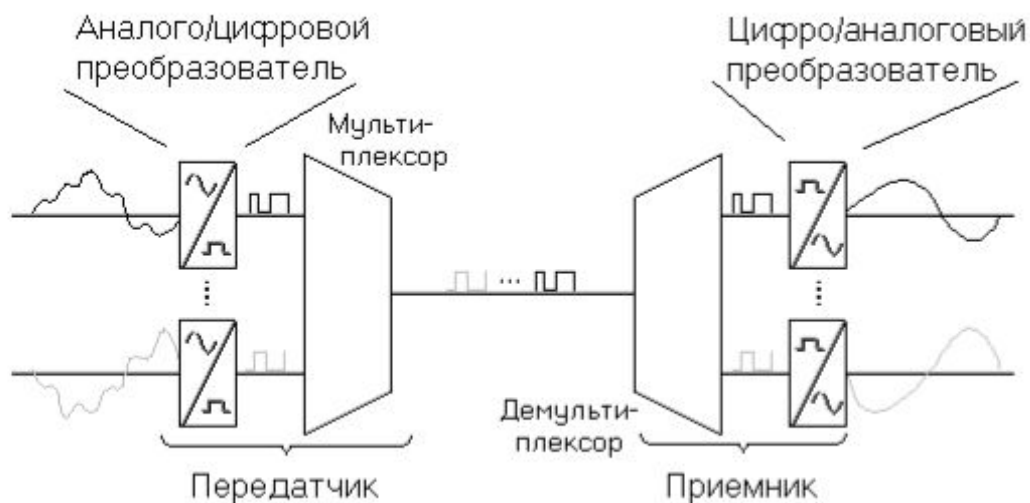


Рис.6. Преобразование сигнала

## АНАЛОГО-ЦИФРОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (А/D) СИГНАЛОВ

Аналого-цифровой преобразователь производит преобразование исходного речевого сигнала в цифровой сигнал, рис.7.

Основными этапами аналого-цифрового преобразования является:

1. Ограничение полосы частот (фильтрация);
2. Дискретизация телефонного сигнала;
3. Кодирование отсчетов АИМ сигнала.



Рис.7. Аналого/цифровой преобразователь

Спектр исходного речевого сигнала необходимо ограничить сверху, чтобы обозначить верхнюю частоту ( $F_{\text{в}}$ ) сигнала для выполнения условий теоремы Котельникова ( $F \geq 2F_{\text{в}}$ ), рис.8.

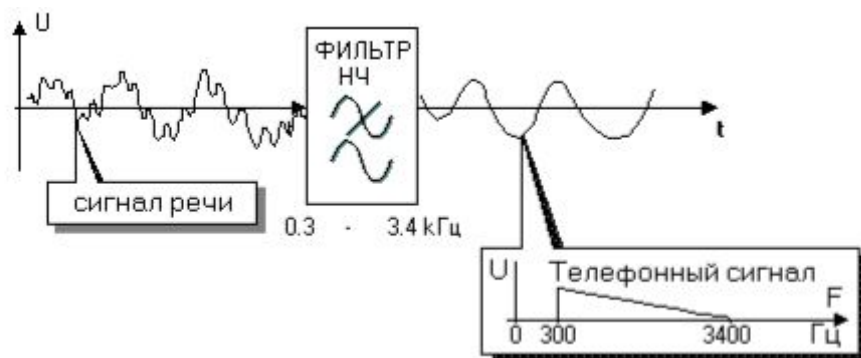


Рис.8. Ограничение полосы частот аналогового сигнала

Ограничение выполняется фильтром нижних частот с верхней частотой среза  $F_{\text{в}} = 3.4$  кГц. Таким образом, спектр исходного речевого сигнала ограничивается до спектра обычного телефонного сигнала (0.3 – 3.4) кГц.

### Дискретизация телефонного сигнала

Из ограниченного телефонного сигнала, через регулярные интервалы времени, выбирают отсчеты. Из последовательности этих отсчетов образуется АИМ сигнал, рис.9. Частота следования отсчетов равна частоте дискретизации  $F_{\text{д}} = 8$  кГц. Величина периода следования отсчетов равна:  
 $T = 1/8000 = 0.000125$  (сек.) = 125(мксек.).

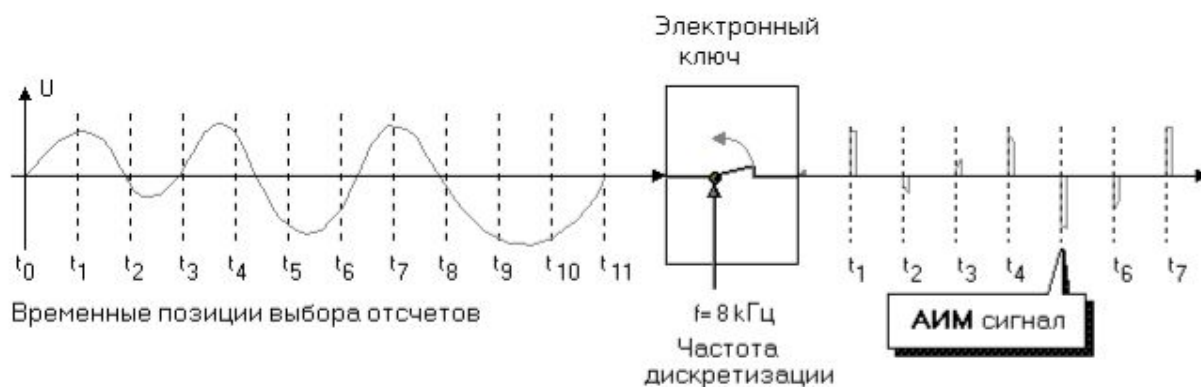


Рис. 9. Частота следования отсчетов

Дискретизация телефонного сигнала технически реализуется с помощью электронного ключа, который проключает соединение через каждые 125 мксек на короткий период времени.

### Кодирование отсчетов АИМ сигнала

При кодировании отсчетов АИМ сигнала, каждое значение амплитуды АИМ сигнала преобразуется в число, выраженное в двоичном коде, т.е. в виде 0 и 1, рис.10.

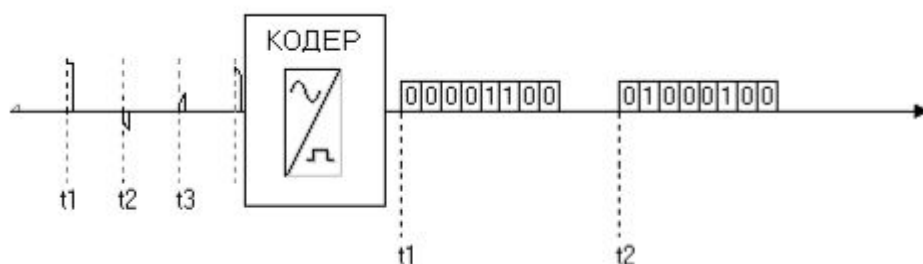


Рис.10 АИМ сигнал в двоичном коде

Для кодирования отсчетов используют восьмиразрядные числа. Каждый разряд двоичного числа может принимать только два определенных значения 0 или 1. Из этого следует, что возможных комбинаций восьмиразрядного числа может быть  $2^8 = 256$ .

Перед тем, как выполнять кодирование отсчетов АИМ сигнала, необходимо произвести *квантование* отсчетов, т.к. АИМ сигнал является аналоговым сигналом, а восемью разрядами кодового слова можно передать информацию лишь о 256 значениях амплитуды отсчетов. Для этого весь диапазон изменения амплитуды сигнала разбивают на 256 разрешенных уровней. Эти значения амплитуды получаются как бы пронумерованными, их называют РАЗРЕШЕННЫМИ значениями *квантованного* сигнала. Если значение амплитуды АИМ сигнала находится между двумя РАЗРЕШЕННЫМИ значениями, то значение квантованной амплитуды выбирается в зависимости от того, к какому из РАЗ-



РЕШЕННЫХ значений находится ближе значение амплитуды АИМ сигнала, рис.11.

Округление исходного значения амплитуды отсчета АИМ сигнала до ближайшего РАЗРЕШЕННОГО значения называется КВАНТОВАНИЕМ сигнала. В результате такого округления происходит преднамеренное искажение амплитуды исходного сигнала, такое искажение называется ШУМОМ КВАНТОВАНИЯ.

Различают два способа квантования: (см. рис. 12)

- ЛИНЕЙНОЕ квантование;
- НЕЛИНЕЙНОЕ квантование.

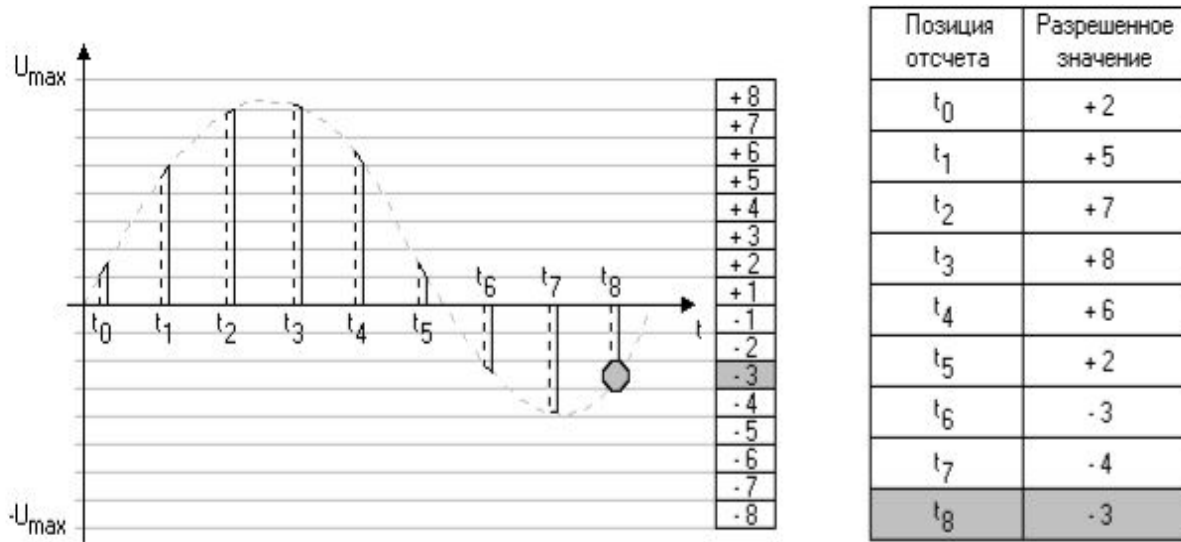


Рис.11 Значение квантованной амплитуды

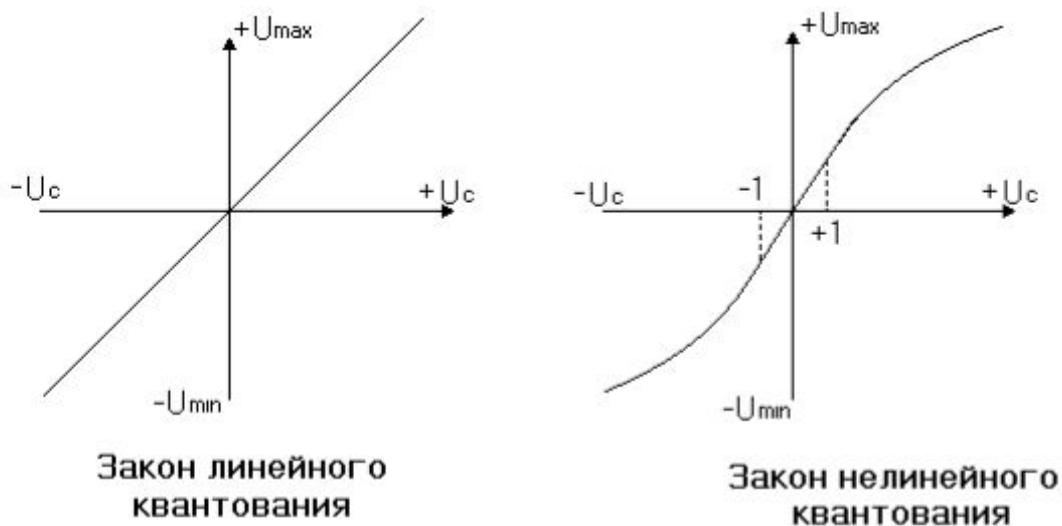


Рис.12 Виды квантования

Разница между этими типами квантования заключается в способах округления сигнала.

При **ЛИНЕЙНОМ** квантовании весь динамический диапазон сигнала  $U_{\min} \dots U_{\max}$  разбивают равномерно на 256 разрешенных значений.

Величина интервала между соседними разрешенными значениями всегда постоянна и равна:

$$\Delta U = (U_{\max} - U_{\min}) / 256;$$

этот интервал называется **ШАГОМ КВАНТОВАНИЯ**.

При линейном квантовании максимальная величина округления амплитуды сигнала может равняться половине **ШАГА КВАНТОВАНИЯ**:

$U_{\text{ш}} = \Delta U / 2$  — эта величина определяет величину **ШУМА КВАНТОВАНИЯ**.

Таким образом, операция квантования аналогична операции округления чисел, а следовательно, неизбежно приводит к возникновению ошибки. Ошибкой квантования называется разность между истинным значением отсчета и его квантованным значением:  $\xi_{\text{кв}}(t) = U(t) - U_{\text{кв}}(t)$ .

При линейном квантовании значение округления амплитуды *одинаково* для любого уровня сигнала поступающего на вход кодера. Таким образом, слабый сигнал с малым уровнем подвергается такому же округлению, как и сигнал с высоким уровнем. Тем самым искажение слабых сигналов производится больше, чем сильных сигналов. Вследствие этого *помехозащищенность* сигналов с малым уровнем *ниже*, чем у сигналов с высоким уровнем амплитуды. Так как по статистике сигналы с высоким уровнем встречаются гораздо реже сигналов с малым уровнем, то при кодировании сигналов линейное квантование не применяется.

На практике применяют **НЕЛИНЕЙНОЕ** квантование, при котором степень округления сигнала зависит от величины кодируемого сигнала.

В отличие от линейного квантования для сигналов с различными уровнями *помехозащищенность* остается *постоянной*. Это достигается за счет *нелинейного* изменения шага квантования в зависимости от уровня сигнала. Так, для малых сигналов шаг квантования меньше, чем для больших. Тем самым меньше округление, а, следовательно, выше помехозащищенность.

Теоретически доказано, что помехозащищенность будет постоянной для сигналов с различными уровнями в случае, если шаг квантования будет изменяться по *логарифмическому закону*.

Для **НЕЛИНЕЙНОГО** квантования МККТТ рекомендует использовать два способа формирования шага квантования:

1. Формирование шага квантования по  $A$  – закону;
2. Формирование шага квантования по  $\mu$  – закону.

В этих двух способах шаг квантования изменяется по квазилогарифмическому закону. Отличие состоит в том, что при квантовании по  $A$  – закону кривая функции сопрягается с началом координат по касательной, а при квантовании по  $\mu$  – закону логарифмическая функция сдвинута к началу координат.  $A$  – закон применяется для систем передачи, работающих в Европе, а  $\mu$  – закон для систем передачи, работающих в Америке (РСМ–24). После квантования отсчетов АИМ сигнала, разрешенным значениям амплитуды присваивают *числовые*

значения, выраженные в двоичной форме. Таким образом, происходит *кодирование* отсчетов и преобразование *аналогового* АИМ сигнала в *цифровой* ИКМ сигнал. Старший разряд восьмиразрядного числа, кодирующего отрицательную амплитуду, имеет значение 0, а положительную амплитуду – 1, рис.13

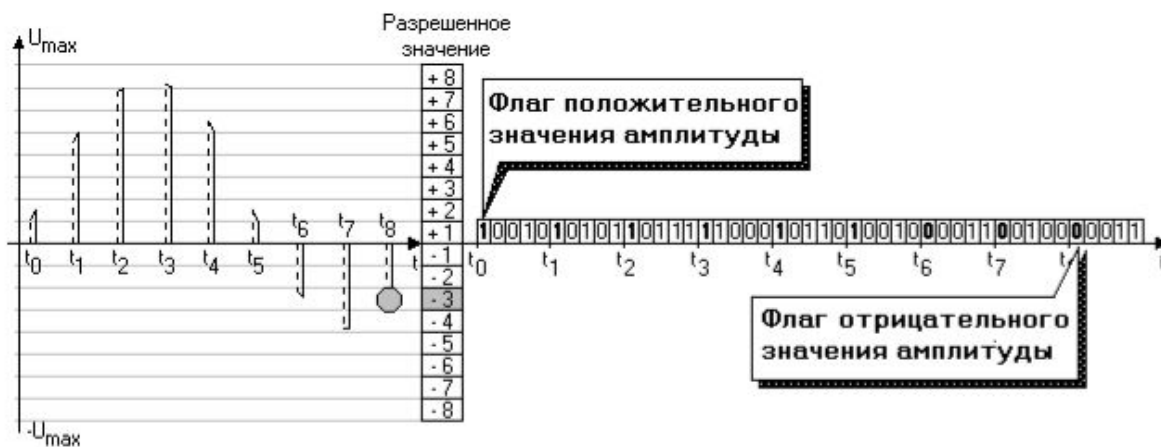


Рис.13. Кодирование сигнала

### ЦИФРО–АНАЛОГОВЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (A/D) СИГНАЛОВ

Цифро–аналоговый преобразователь производит *обратное* преобразование цифрового ИКМ сигнала в исходный аналоговый сигнал.

На основании получаемых цифровых комбинаций ИКМ сигнала производится восстановление (*декодирование*) отсчетов АИМ сигнала.

Спектр АИМ сигнала в своем составе несет спектр исходного телефонного сигнала. При прохождении АИМ сигнала через *фильтр нижних частот* происходит выделение спектра *исходного телефонного сигнала*, рис.14.

Последовательность бит, содержащая кодовые комбинации от каждого входящего ИКМ сигнала, называется *ЦИКЛОМ* сигнала (pulse frame).

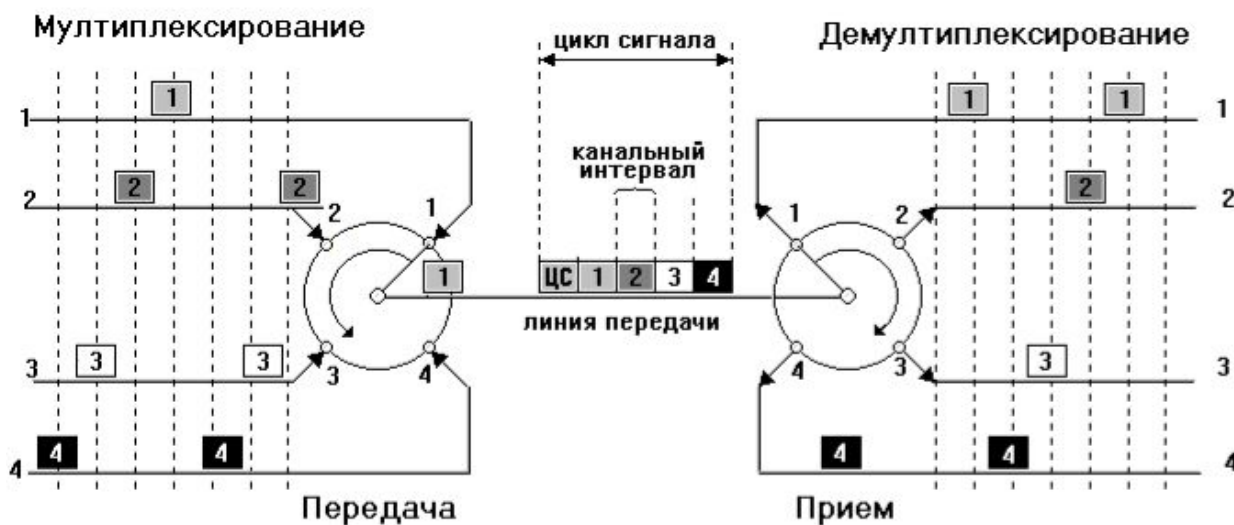


Рис.14. Цифро/аналоговый преобразователь

Чтобы на приеме правильно демultipлексировать принимаемый сигнал, нужно определить порядок следования ИКМ сигналов. Для этого на приемной стороне надо определить *первую кодовую комбинацию* ЦИКЛА передаваемого сигнала. Это достигается формированием при передаче специального *указателя* начала ЦИКЛА. Специальная, *заранее известная*, кодовая комбинация, отличная от других комбинаций в цикле, называется **СИНХРОСИГНАЛОМ** ЦИКЛА (frame alignment signal – FAS). Он *синхронизирует* работу мультимплектора и демultipлектора.

### Задание:

Построить три временных диаграммы: группового АИМ сигнала; ошибок квантования; группового цифрового сигнала.

Рассчитать частоту дискретизации  $F_d$ , длительность цикла  $T_c$ , длительность канального интервала  $T_k$ , тактовую частоту группового цифрового сигнала  $F_t$ , длительность тактового интервала  $T_t$ . Показать эти значения на графике.

### Варианты

Таблица 1

АИМ отсчет	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 канал 1отсчет	+2,5	+2,4	+2,3	+2,2	+2,1	+1,9	+1,8	+1,7	+1,6	+1,4
2канал 1отсчет	+0,9	+0,8	+0,7	+0,6	+0,5	+0,4	+0,3	+2,7	+2,6	+2,5
3канал 1отсчет	-1,5	-1,4	-2,8	-2,7	-2,6	-2,1	-2,0	-0,2	-0,3	-0,4
1 канал 2отсчет	+0,3	+0,2	+0,4	+0,1	+1,0	+1,1	+1,2	+1,4	+1,7	+1,5
2канал 2отсчет	-2,7	-2,9	-2,8	-1,8	-1,5	-0,9	-0,6	-2,5	-2,4	-2,3
3канал 2отсчет	-1,1	-1,5	1,0	-1,2	-0,8	-2,1	-2,3	-0,7	-0,8	-0,9
$F_b$ сигнала, кГц	3,5	5,0	10,0	15,0	6,0	3,0	4,0	2,5	12,0	7,0

Частота дискретизации  $F_d$  определяется по формуле:

$$F_d = 2 * F_B \text{ (Гц)} \quad (1)$$

$F_d =$  \_\_\_\_\_

---

Полученный результат расчета  $F_d$  округлите до ближайшего целого числа.  
Длительность цикла  $T_c$  определяется по формуле:

$$T_c = (1/F_d) * 10^3, \text{ мкс} \quad (2)$$

$T_c$  \_\_\_\_\_

Длительность канального интервала  $T_k$  определяется по формуле:

$$T_k = (1 / F_d * n) * 10^3, \text{ мкс} \quad (3)$$

$T_k$  \_\_\_\_\_

Где  $n$  – число каналов плюс дополнительный канальный интервал для передачи синхросигнала СС.

---

Тактовая частота  $F_T$  определяется по формуле:

$$F_T = F_d * n * m, \text{ кГц} \quad (4)$$

$F_T =$  \_\_\_\_\_

где  $m$  – разрядность кодовой группы

---

Длительность тактового интервала  $T_T$  определяется по формуле:

$$T_T = 1 / (F_d * n * m) * 10^3, \text{ Мкс} \quad (5)$$

$T_T =$  \_\_\_\_\_

---

Рассчитанные значения  $T_c$ ,  $T_k$ ,  $T_T$  округлить до ближайшего целого числа и показать на нижнем графике рис.3.

Пример построения таблицы 2 и графика рис.15.

Таблица 2

Номер отсчета	Уаим ( $U_t$ )	Номер уровня квантования $U_{кв}(t)$	Ошибка квантования $\xi_{кв}(t)$	Двоичный код квантования
1канал 1отсчет				
2канал 1отсчет				
3канал 1отсчет				
1канал 2отсчет				
2канал 2отсчет				
3канал 2отсчет				

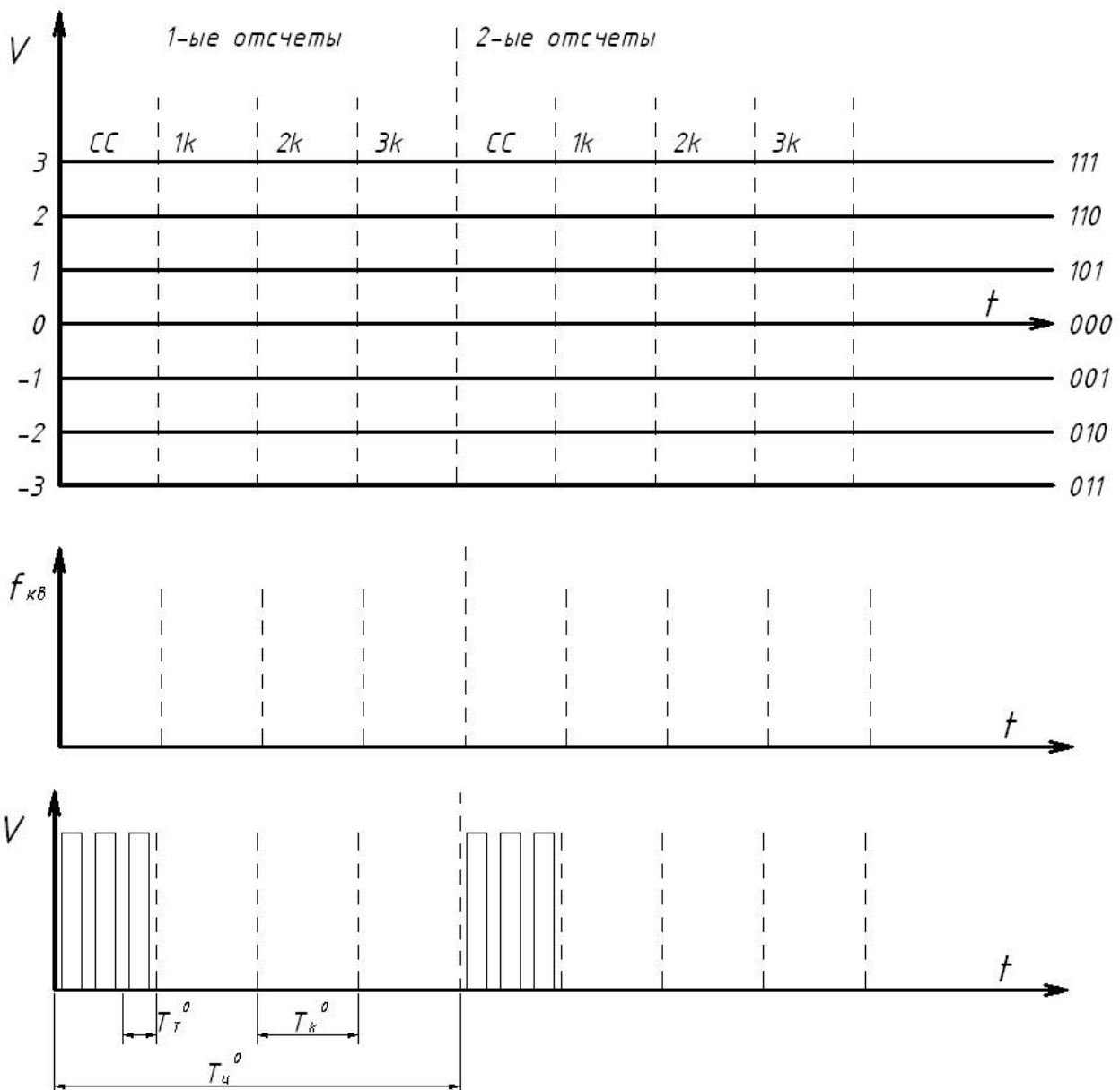


Рис. 15

## Литература

1. Крухмалев В.В. Цифровые системы передачи. Москва, 2007
2. Дж. Белами. Цифровая телефония. – М.: Радио и связь, 1986
3. Журавлев Ю.В. Цифровая телефония. Москва, 2001

