

Федеральное агентство связи  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
Поволжский государственный университет  
телекоммуникаций и информатики

СИСТЕМА СВЯЗИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ

Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»

Составитель:  
к.т.н., доц. каф. Систем связи  
Диязитдинов Р.Р.

Самара, 2015

## 1 Исходные данные

Дана система с временным разделением каналов (ВРК).

На трассе, связывающей оконечные пункты  $A$  и  $C$ , установлен промежуточный пункт  $B$  для усиления сигнала.

Коэффициент усиления равен в п.  $B$  равен  $K$ .

Расстояние между  $A$  и  $B$  составляет  $L_1$ , между  $B$  и  $C$  –  $L_2$ .

Средняя мощность сигнала на выходе передатчика в п.  $A$  равна  $W_A$ .

Система предназначена для передачи речевых сообщений. Для преобразования аналогового сигнала  $X$  в дискретный используется нелинейный цифровой кодер.

Для поддержания синхронизации используется скремблер, структура которого определяет образующим полиномом  $p(x)$ .

В приемном п.  $C$  установлен корректор для исправления амплитудно-частотных характеристик канала связи.

В курсовой работе необходимо:

1. Изобразить схему с ВРК в соответствии с описанной задачей.
2. Определить затухание сигнала на участках  $AB$  и  $BC$ .
3. Определить усиление в промежуточном п.  $B$ .
4. Построить диаграмму уровней канала связи.
5. По заданному значению амплитуды кодирующего сигнала определить цифровой сигнал по схеме нелинейного кодирующего устройства.
6. По найденному сообщению и используя скремблер найти сообщение, передаваемый в канал связи.
7. По амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) канала связи, заданной в виде импульсной характеристики (ИХ) определить ИХ корректора.

Задание выбирается по последним двум числам зачетной книги –  $nm$  (см. табл. 1).

Таблица 1 – Исходные данные для расчета

№	Параметр	Значение	Примечание
1	$K$	$\min(10, (n+m) \cdot 2)$	Коэффициент усиления в п. $B$
2	$a$ , дБ/км	$0,5 + (n+m)/10$	Ослабление сигнала на 1 км
3	$L_1$ , км	$20+(n-m)$	Расстояние между п. $A$ и $B$
4	$L_2$ , км	$10+(m-n)$	Расстояние между п. $B$ и $C$
5	$W_A$ , мВт	$\max(40, 20 + (n+m) \cdot 5)$	Средняя мощность сигнала на выходе передатчика в п. $A$
6	$X, B$	56,4, если $n$ -чет., $m$ -чет. -46,7, если $n$ -нечет., $m$ -чет. -71,3, если $n$ -чет., $m$ -нечет. 39,9, если $n$ -нечет., $m$ -нечет.	Амплитуда кодируемого сигнала
7	$\Delta$ , В	0,1	Шаг квантования
8	$p(x)$	$x^4 + x + 1$ , если $m$ -чет. $x^5 + x^2 + x + 1$ , если $m$ -нечет.	Образующий полином скремблера
9	$g_{лс}(n)$	$g[0]=1$ $g[1]=0,5+(n-m)/10$ ;	Импульсная характеристика канала связи

## 2 Пример

Исходные данные:

№	Параметр	Значение	Примечание
1	$K$	5	Коэффициент усиления в п. $B$
2	$\alpha$ , дБ/км	0,5	Ослабление сигнала на 1 км
3	$L_1$ , км	10	Расстояние между п. $A$ и $B$
4	$L_2$ , км	12	Расстояние между п. $B$ и $C$
5	$W_A$ , мВт	40	Средняя мощность сигнала на выходе передатчика в п. $A$
6	$X, B$	70,0	Амплитуда кодируемого сигнала
7	$\Delta$ , В	0,1	Шаг квантования
8	$p(x)$	$x^3+x^2+1$	Образующий полином скремблера
9	$g_{лс}(n)$	$g[0]=1$ $g[1]=0,5$	Импульсная характеристика канала связи

1. Схема системы передачи с ВРК в соответствии с описанной задачей показана на рис. 1.

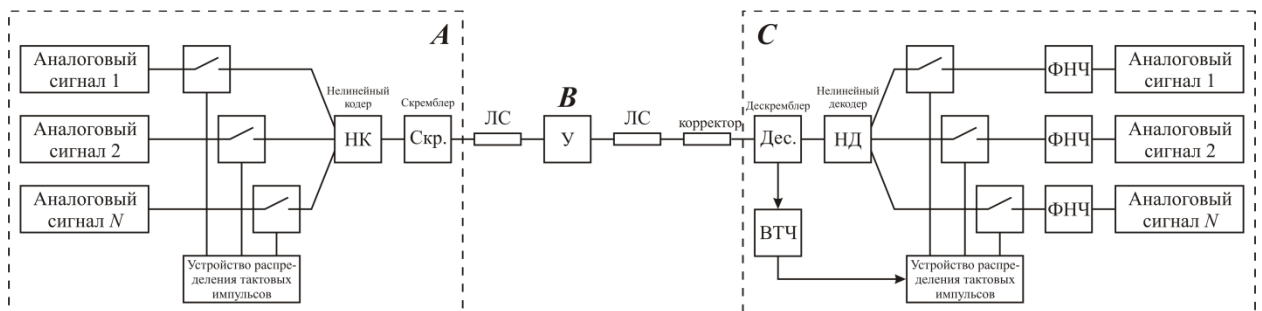


Рис. 1 – Схема системы передачи с ВРК

На схеме:

У – усилитель,

ВТЧ – выделить тактовой частоты,

ФНЧ – фильтр нижних частот,

НК/НД – нелинейный кодер/декодер,

Скр./Дес. – скремблер/дескремблер,

ЛС – линия связи.

Устройства распределения тактовых импульсов совместно с ключами в п. *A* предназначены для дискретизации сигнала, нелинейный кодер преобразовывает дискретный сигнал в цифровой, который скремблируется и поступает в линию связи.

В промежуточном п. *B* происходит усиление сигнала, прошедшего по участку *AB*.

Пройдя по участку *BC*, сигнал поступает в корректор, который исправляет амплитудно-частотные характеристики канала связи.

В дескремблере восстанавливается исходный цифровой сигнал. Одновременно сигнал, пришедший из линии связи, поступает на устройство выделения тактовой частоты (ВТЧ). Эта частота управляет работой устройства распределения тактовых импульсов.

В нелинейном декодере цифровой сигнал преобразуется в дискретный.

Для разделения сигналов, пришедших от различных источников сообщений, используются электронные ключи и устройство распределения тактовых импульсов.

ФНЧ необходим для выделения огибающей (преобразование дискретного сигнала в аналоговый).

2. Затухание на участке *AB*:

$$a_{AB} = \alpha \cdot L_1 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ дБм.}$$

Затухание на участке *BC*:

$$a_{BC} = \alpha \cdot L_1 = 0,5 \cdot 12 = 6 \text{ дБм.}$$

3. Усиление в п. *B*:

$$S = 10 \cdot \lg(K) = 10 \cdot \lg(5) = 7 \text{ дБ.}$$

4. Для построения диаграммы уровней, рассчитаем уровень сигнала во всех пунктах:

На выходе п. *A*:  $p_{A\_вых} = 10 \lg\left(\frac{W_A}{W_0}\right) = 10 \lg\left(\frac{40}{1}\right) = 16 \text{ дБм}$  (примечание,

нулевой уровень  $W_0 = 1 \text{ мВт}$ ).

На входе п. *B*:  $p_{B\_вх} = p_{A\_вых} - a_{AB} = 16 - 5 = 11 \text{ дБм}$ .

На выходе п. *B*:  $p_{B\_вых} = p_{B\_вх} + S = 11 + 7 = 18 \text{ дБм}$ .

На входе п. *C*:  $p_{C\_вх} = p_{B\_вых} - a_{BC} = 18 - 6 = 12 \text{ дБм}$ .

Диаграмма уровней представлена на рис. 2.



Рис. 2 – Диаграмма уровней

5. По заданному значению амплитуды кодирующего сигнала  $X=70,0 \text{ В}$  и величине шага квантования  $\Delta = 0,1 \text{ В}$ , поступающего на вход нелинейного кодера, определим цифровой сигнал:

Схема цифрового нелинейное кодирования представлена на рис. 3.

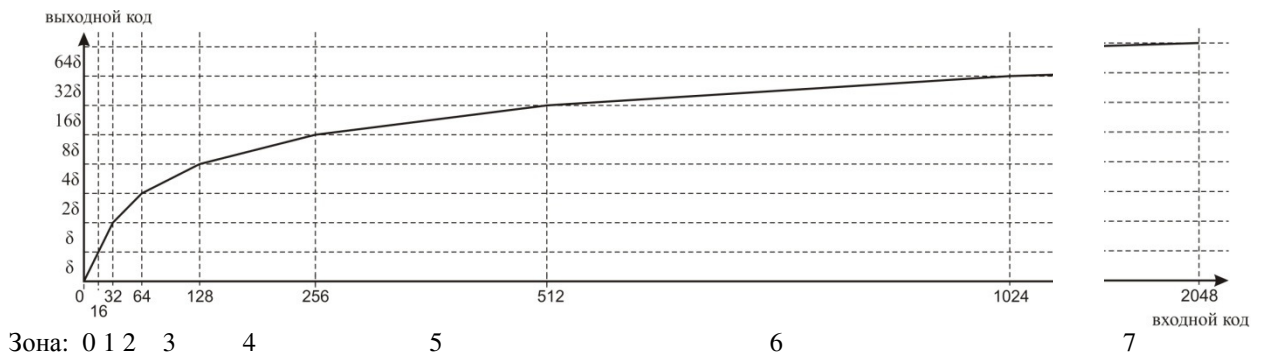


Рис. 3 – Схема нелинейного кодирования

Нелинейное кодирование производится следующим образом:

Знаковый бит	Кодирование номера зоны 1-ой из 8-ми зон (с 0 до 7)			Кодирование 1-ого из 16-ти уровней (с 0 до 15)			
+(1)							
-(0)							

Алгоритм преобразования:

$$X = 70,0 \text{ В}, \delta = 0,1 \text{ В.}$$

$$N_{\text{ВХ}} = X / \delta = 70,0 / 0,1 = 700,$$

700 располагается между 512 и 1024.

$$\text{Это } 6 \text{ зона } b_{10} = 110_2$$

$$700 - 512 = 188.$$

В 6-ой зоне используется шаг квантования 32,

$$188 / 32 = 5, \text{ остаток } 28.$$

$$5_{10} = 0101_2$$

28 = 0,28 В – это погрешность.

В итоге код будет:

Знаковый бит	Кодирование номера зоны 1-ой из 8-ми зон (с 0 до 7)			Кодирование 1-ого из 16-ти уровней (с 0 до 15)			
+(1)	1	1	0	0	1	0	1

6. Сигнал, передаваемый в линию связи, определяется сообщением и сигналом скремблера. Образующий полином имеет вид:

$$p(x) = x^3 + x^2 + 1$$

Схема скремблера для этого полинома представлена на рис. 4.

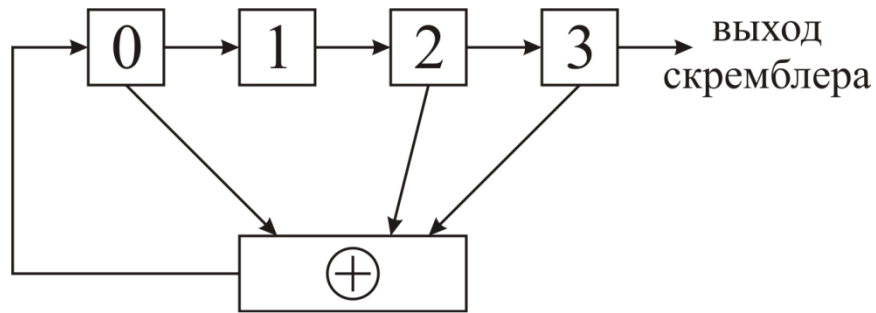


Рис. 4 – Схема скремблера

Схема формирования сигнала на выходе скремблера показана на рис. 5.

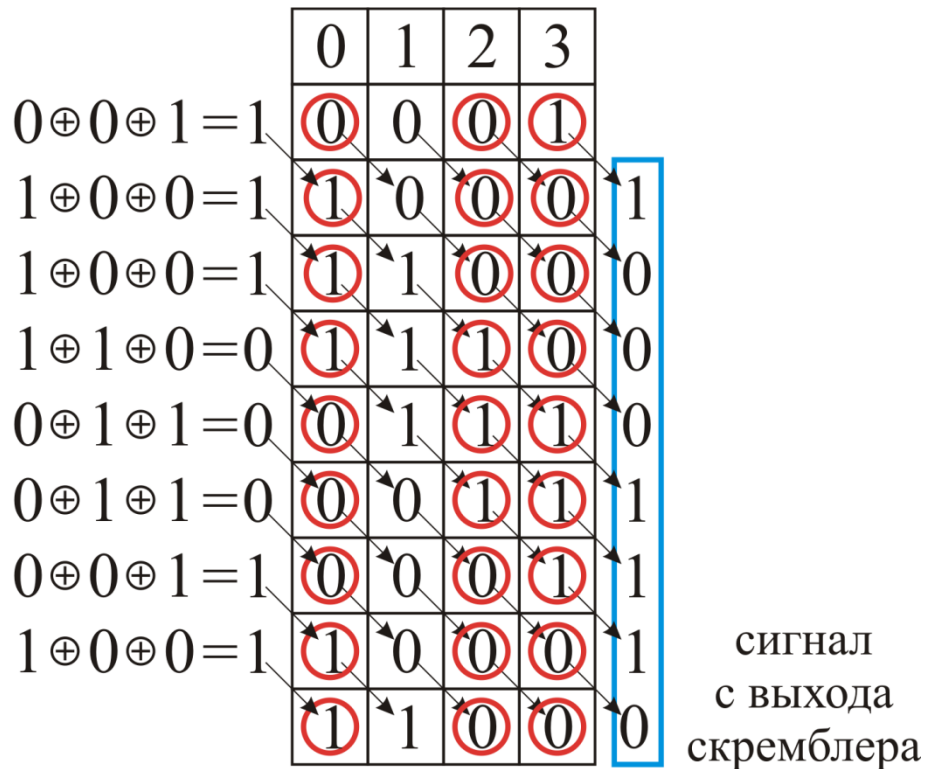


Рис. 5 – Сигнал на выходе скремблера

Сигнал, поступающий в линию связи, получается путем суммирования по модулю 2 сигнала с выхода кодера и скремблера:

Выход кодера	1	1	1	0	0	1	0	1
Скремблер	1	0	0	0	1	1	1	0
Суммирование по модулю 2	0	1	1	0	1	0	1	1

Сигнал, поступающий в линию связи: 0110 1011.

7. Для коррекции АЧХ канала связи используется корректор. Импульсная характеристика канала связи:  $g_{лс}(i) = [1 \ 0,5]$ . На выходе линии связи установлен эквалайзер, который представляет собой КИХ фильтр

порядка  $n = 3$ . Импульсную характеристику эквалайзера обозначим как  $g_{\text{ЭКВ}}(i) = [C_0 \ C_1 \ C_2]$ . Необходимо определить коэффициенты  $[C_0 \ C_1 \ C_2]$ .

На рис. 6 показано формирование выходного сигнала после прохождения единичного сигнала по линии связи и эквалайзера.

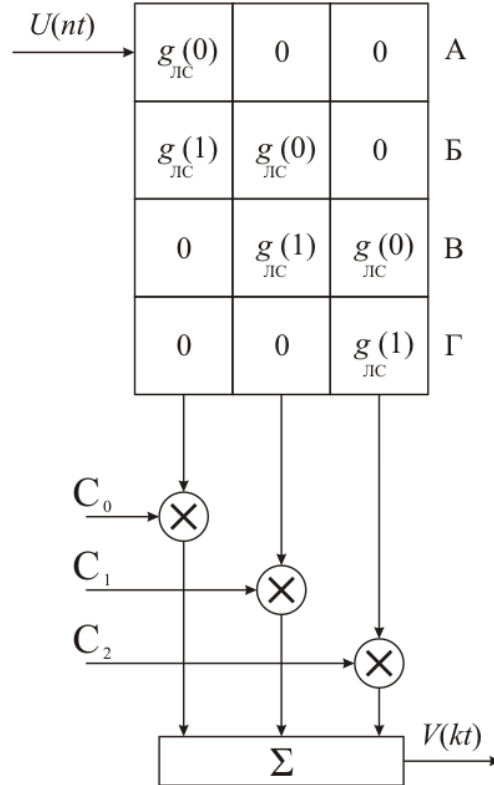


Рис. 6 – Формирование выходного сигнала на выходе цепи "линия связи" + "эквалайзер"

В отсчетные моменты времени сигнал на выходе цифрового корректора описывается следующей системой линейных алгебраических уравнений (СЛАУ):

$$\begin{cases} V_A = C_0 \cdot g_{\text{лс}}(0) + 0 + 0 \\ V_B = C_0 \cdot g_{\text{лс}}(1) + C_1 \cdot g_{\text{лс}}(0) + 0 \\ V_V = C_0 \cdot 0 + C_1 \cdot g_{\text{лс}}(1) + C_2 \cdot g_{\text{лс}}(0) \\ V_\Gamma = 0 + C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot g_{\text{лс}}(1) \end{cases} \quad (*)$$

где  $C_0 \ C_1 \ C_2$  – неизвестные коэффициенты корректора,

$g_{\text{лс}}(0), g_{\text{лс}}(1)$  – известные значения входного сигнала,

$V_A, V_B, V_V, V_\Gamma$  – желаемый сигнал на выходе цифрового корректора.

После прохождения единичного сигнала через линию связи будет сформирован сигнал  $[1 \ 0,5 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots]$ . А на выходе корректора



желательно иметь неискаженный сигнал, то есть:  $[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ \dots]$ .

Другими словами, коэффициенты:  $V_A = 1, V_B = 0, V_C = 0, V_D = 0$ .

Исходя из этого, можно записать:

$$\begin{cases} 1 = C_0 \cdot 1 + 0 + 0 \\ 0 = C_0 \cdot 0,5 + C_1 \cdot 1 + 0 \\ 0 = C_0 \cdot 0 + C_1 \cdot 0,5 + C_2 \cdot 1 \\ 0 = 0 + C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 0,5 \end{cases} \quad (**)$$

Требуется, решая систему линейных алгебраических уравнений, найти коэффициенты корректора  $C_0 \ C_1 \ C_2$ , которые обеспечивали бы требуемые значения выходного сигнала.

$$G = \begin{pmatrix} g_{LC}(0) & 0 & 0 \\ g_{LC}(1) & g_{LC}(0) & 0 \\ 0 & g_{LC}(1) & g_{LC}(0) \\ 0 & 0 & g_{LC}(1) \end{pmatrix}, \quad V = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ -- выходной сигнал.}$$

Сумма квадратов невязок для рассматриваемого примера равна:

$$D(C_0, \dots, C_{n-1}) = \sum_{i=0}^{m-1} \left( \sum_{j=0}^{n-1} G_{i,j} \cdot C_j - V_i \right)^2, \quad m=4, \ n=3.$$

Дифференцируем по  $C_K$  ( $K=0, \dots, n-1$ ) и приравниваем к 0 частные производные:

$$\begin{aligned} \frac{\partial D}{\partial C_K} &= \sum_{i=0}^{m-1} 2 \cdot \left( \sum_{j=0}^{n-1} G_{i,j} \cdot C_j - V_i \right) \cdot G_{i,K} = 0, \\ \sum_{j=0}^{n-1} \left( \sum_{i=0}^{m-1} G_{i,j} \cdot G_{i,K} \right) \cdot C_K &= \sum_{i=0}^{m-1} V_i \cdot G_{i,K}. \end{aligned}$$

Обозначим:

$$A = \sum_{j=0}^{n-1} \left( \sum_{i=0}^{m-1} G_{i,j} \cdot G_{i,K} \right), \quad C = (C_0 \ C_1 \ C_2)^T, \quad B = \sum_{i=0}^{m-1} V_i \cdot G_{i,K}.$$

В векторной форме:  $A = G^T G, B = G^T V, C = A^{-1} B$ .

Подставляя значения, получим:

$$G = \begin{pmatrix} g_{LC}(0) & 0 & 0 \\ g_{LC}(1) & g_{LC}(0) & 0 \\ 0 & g_{LC}(1) & g_{LC}(0) \\ 0 & 0 & g_{LC}(1) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 1 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 \\ 0 & 0 & 0,5 \end{pmatrix}$$

$$G^T = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,5 \end{pmatrix}$$

$$A = G^T G = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0,5 & 1 & 0 \\ 0 & 0,5 & 1 \\ 0 & 0 & 0,5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1,25 & 0,5 & 0 \\ 0,5 & 1,25 & 0,5 \\ 0 & 0,5 & 1,25 \end{pmatrix}$$

$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 0,988 & -0,471 & 0,188 \\ -0,471 & 1,176 & -0,471 \\ 0,188 & -0,471 & 0,988 \end{pmatrix}$$

$$B = G^T V = \begin{pmatrix} 1 & 0,5 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0,5 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0,5 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$$

$$C = A^{-1} B = \begin{pmatrix} 0,988 & -0,471 & 0,188 \\ -0,471 & 1,176 & -0,471 \\ 0,188 & -0,471 & 0,988 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,988 \\ -0,471 \\ 0,188 \end{pmatrix}$$

Таким образом,  $g_{\text{ЛС}}(i) = [1 \ 0,5]$ ,  $g_{\text{Экв}}(i) = [0,988 \ -0,471 \ 0,188]$ .

Импульсную характеристику последовательно соединенных "линия связи" + "эквалайзер" определяется путем свертки:

$$g_{\text{ЛС}} * g_{\text{Экв}} = [0,988 \ 0,024 \ -0,047 \ 0,094].$$