

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ**  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ**  
**БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ**  
**ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ**  
**им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»**  
**(СПбГУТ)**

---

**А. Б. Волчков, А. Ю. Матюхин, Д. Г. Рафиков**

# **ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ**

**Учебно-методическое пособие  
по выполнению контрольного задания**

**СПб ГУТ)))**

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

*Рекомендовано к печати  
редакционно-издательским советом СПбГУТ*

- Волчков А. Б.**  
К 63 Цифровые системы передачи : Учебно - методическое пособие по выполнению контрольного задания. / А. Б. Волчков, А. Ю. Матюхин, Д. Г. Рафиков ; СПбГУТ. – СПб., 2019. – 16 с.

В соответствии с рабочей программой дисциплины «Цифровые системы передачи» приведены исходные данные для выполнения контрольного задания и методические указания по его выполнению. Изложены требования к его оформлению.

Предназначено для студентов направления подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

**УДК 621.39(09)(076)  
ББК 32.81я73**

© Волчков А. Б., Матюхин А. Ю., Рафиков Д. Г., 2019  
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие требования	3
Контрольное задание:	
Задача 1	4
Задача 2	6
Задача 3	10
Задача 4	11
Список литературы	14

## ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

Контрольное задание оформляется *аккуратно* (черновики не рецензируются) на листах формата А4 или в тетрадях с использованием только одной (лицевой) стороны листа. Другая сторона предназначена для исправления ошибок после проверки. Листы должны иметь поля (1,5-2см) для замечаний рецензента.

Пояснительная записка начинается с титульного листа.

Выполнение каждой части контрольного задания должно начинаться с нового листа. Сначала приводятся полностью условия задачи. Решение должно содержать расчётные формулы в общем виде, их преобразование (если это необходимо), а также преобразованные формулы с подставленными численными значениями. В конце решения каждой задачи приводятся ответы на все, поставленные в ней вопросы.

Пятизначный номер выполняемого варианта задаётся преподавателем.

## КОНТРОЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

### Задача 1

1. Для заданных значений ширины полосы эффективно передаваемых частот каналов  $F_H \dots F_B$  и полос расфилтровки фильтров  $\Delta F_\phi$ , используемых в дискретизаторе и восстановителе непрерывной формы сигналов, рассчитать наименьшее значение частоты дискретизации, при котором будут отсутствовать искажения дискретизации, и привести спектры дискретизированных сигналов.

2. При заданном числе каналов  $N$  рассчитать частоту следования импульсов группового АИМ-сигнала  $F_K$  и длительность канального интервала  $T_K$ .

3. При заданной скважности импульсов группового сигнала  $\gamma$  рассчитать длительность канальных импульсов.

4. Рассчитать полосу частот, необходимую для передачи группового АИМ-сигнала.

5. Рассчитать тактовую частоту и скорость передачи символов цифрового сигнала, если рассмотренный выше групповой АИМ-сигнал кодируется методом ИКМ при заданном количестве разрядов в кодовой группе  $m$ .

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 1, 2.

#### *Методические указания к решению задачи 1*

В большинстве случаев в основу построения цифровых систем передачи (ЦСП) положен метод временного мультиплексирования (временного разделения каналов, ВРК). Функции временного мультиплексирования и демультимплексирования могут быть реализованы для аналоговых отсчётов с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ).

Основная идея ВРК определяет необходимость дискретизации непрерывных сигналов. При этом частота следования отсчётов, т. е. частота дискретизации  $F_d$ , выбирается из условия:  $F_d \geq 2 F_B$ .

Однако, если дискретизируемый сигнал занимает полосу частот не больше одной октавы, т. е. для него  $2F_H \geq F_B$ , частоту дискретизации можно также выбирать, используя выражение

$$2F_B/(k+1) \leq F_d \leq 2F_H/k,$$

где  $F_H, F_B$  – нижняя и верхняя граничные частоты спектра сигнала соответственно, а  $k$  – целая часть отношения  $F_H/(F_B - F_H)$ .

Расчёт наименьшего значения частоты дискретизации заключается в выборе такого значения  $F_d$ , при котором:

1) исходный сигнал может быть выделен в неискаженном виде из спектра дискретизированного сигнала;

2) ширина защитного интервала (полоса расфилтровки) между спектральными составляющими исходного сигнала и ближайшими к ним продуктами дискретизации будет равна заданной.

Таблица 1. Исходные данные к задаче 1

Две первые цифры номера варианта	$F_{н1} \dots F_{в1}$ , кГц	$\Delta F_{\phi 1}$ , кГц	Две последние цифры номера варианта	$F_{н2} \dots F_{в2}$ , кГц	$\Delta F_{\phi 2}$ , кГц
00	15 ... 24	2,0	00	0,3 ... 3,4	1,2
01	37 ... 60	1,0	01	0,03 ... 15,0	0,8
02	330 ... 530	12,0	02	0,05 ... 10,0	2,0
03	312... 552	6,0	03	0,1 ... 6,3	0,5
04	60 ...108	1,0	04	0,08 ... 6,4	1,5
05	312 ... 552	8,0	05	0,8 ... 23,0	2,0
06	45 ... 85	3,0	06	0,3 ... 3,4	0,8
07	60...108	2,0	07	0,05 ... 15,0	0,3
08	330... 530	4,0	08	0,3 ... 2,7	1,0
09	15 ... 20	1,0	09	0,2 ... 4,1	1,1
10	60 ... 64	4,0	10	0,2 ... 3,5	1,5
11	30 ... 34	6,0	11	0,1 ... 6,4	2,4
12	68 ... 76	6,0	12	0,03 ... 15,3	3,0
13	240 ... 360	4,0	13	0,6 ... 5,4	2,0
14	2108 ... 3340	64,0	14	812 ... 2044	8,0
15	62 ... 90	6,0	15	12 ... 24	4,0
16	312 ... 552	44,0	16	0,1 ... 4,6	0,8
17	60 ... 108	8,2	17	0,2 ... 3,8	1,2
18	15 ... 20	6,0	18	0,3 ... 4,5	0,6
19	812 ... 1600	12,0	19	12 ... 24	1,2
20	1040 ... 2044	16,0	20	45 ... 85	4,0
21	60 ... 72	6,0	21	60...108	7,0
22	16 ... 20	2,0	22	0,04 ... 10,5	2,3
23	20 ... 24	2,0	23	16 ... 24	6,0
24	312 ... 360	16,0	24	12 ... 20	4,0
25	12 ... 20	1,2,0	25	108 ... 200	12
26	360 ... 408	12,0	26	0,3 ... 4,4	0,7
27	16 ... 24	4,0	27	312 ... 552	52
28	108 ... 200	8,0	28	0,03 ... 10,0	3,0

Для сигналов, занимающих полосу частот меньше одной октавы, учесть в расчётах полосу расфилтровки можно, определив новые значения нижней и верхней граничных частот спектра сигнала:

$$F_{н}^{\prime} = F_{н} - (\Delta F_{\phi}/2) \text{ и } F_{в}^{\prime} = F_{в} + (\Delta F_{\phi}/2).$$

Для проверки правильности расчёта наименьшего значения частоты дискретизации необходимо привести спектры дискретизированных сигналов.

*Примечание: В работе достаточно изобразить спектр исходного сигнала и спектры ближайших к нему продуктов дискретизации с указанием значений их граничных частот. См. раздел "Выбор частоты дискретизации" (Л1, стр.87).*

Таблица 2. Исходные данные к задаче 1

Вторая цифра номера варианта	$N$	Третья цифра номера варианта	$\gamma$	Пятая цифра номера варианта	$m$
0	30	0	2	0	8
1	4	1	2	1	12
2	8	2	4	2	10
3	480	3	2	3	7
4	15	4	4	4	6
5	12	5	4	5	10
6	120	6	2	6	8
7	24	7	4	7	7
8	16	8	4	8	6
9	1920	9	2	9	12

Длительность канальных импульсов в  $N$ -канальной СП с ВРК и АИМ может быть определена из выражения

$$\tau = \frac{T_d}{(N+1)\gamma},$$

где  $T_d$  – период дискретизации, а ширина полосы частот группового сигнала, обеспечивающая допустимую величину межсимвольных помех, определяется соотношением

$$\Delta F_{\text{ВРК}} = \frac{\alpha}{\tau} = \alpha \cdot F_d (N+1)\gamma,$$

где  $\alpha = 0,5$  при идеальном фильтре, ограничивающем спектр группового сигнала. На практике  $\alpha = 0,6 \div 0,8$ . Примем в расчётах  $\alpha = 0,7$ .

В ЦСП с ВРК самое широкое применение нашла импульсно-кодовая модуляция (ИКМ). При формировании цифрового сигнала на основе ИКМ-ВРК осуществляется дискретизация и квантование аналоговых первичных сигналов, а затем их кодирование. В результате информация о каждом отсчёте аналогового сигнала представляется в виде  $m$ -разрядной двоичной комбинации.

Тактовая частота цифрового сигнала в ЦСП с ИКМ-ВРК равна

$$F_T = F_d m (N+1).$$

*Примечание: все результаты должны иметь не менее трёх значащих цифр.*

## Задача 2

Нелинейный кодек речевого сигнала  $A = 87,6/13$  выполнен на основе линейного кодека и цифрового компандерного устройства. Для заданных значений напряжений дискретных отсчётов на входе кодера  $U$  и номинальных шагов квантования  $\Delta_0$  определить:

- 1) структуру кодовых групп на выходе кодера;
- 2) номер и границы сегмента, которому принадлежит кодируемый отсчёт, шаг квантования и номер уровня квантования, соответствующий данному отсчёту, в рассматриваемом сегменте;

- 3) квантованные значения напряжений на выходе декодера;  
 4) погрешность квантования или ограничения.  
 Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 3.

Таблица 3. Исходные данные к задаче 2

Две первые цифры номера варианта	$U_1$ , мВ	$\Delta_{01}$ , мВ	Две последние цифры номера варианта	$U_2$ , мВ	$\Delta_{02}$ , мВ
00	385	1,0	00	-7521	4,0
01	-1123	1,1	01	4320	2,0
02	3278	2,0	02	-721	3,2
03	73	2,2	03	-8448	4,0
04	-527	2,0	04	6578	4,3
05	2000	0,9	05	-312	3,0
06	-403	2,0	06	6017	3,3
07	2978	4,0	07	-3456	1,5
08	-3080	2,0	08	975	3,0
09	-17	1,0	09	1120	0,5
10	3098	1,5	10	-25	2,0
11	-36	2,5	11	6178	3,0
12	386	1,5	12	-68	5,0
13	-1025	0,5	13	290	2,5
14	48	4,0	14	-3495	3,0
15	4444	2,0	15	-368	3,5
16	-2835	3,5	16	3169	1,6
17	204	4,0	17	-630	2,0
18	-3300	1,5	18	32	3,0
19	124	4,0	19	-2161	1,0
20	-86	2,0	20	600	0,5
21	1025	0,5	21	-335	5,0
22	-21	3,0	22	1655	5,0
23	4492	4,4	23	-6002	2,0
24	-3400	3,5	24	83	0,8
25	830	0,4	25	-42	2,8
26	-721	3,0	26	5407	5,5
27	-6588	3,1	27	225	4,0
28	55	4,0	28	-1973	3,0

### *Методические указания к решению задачи 2*

Структурная схема нелинейного кодека, выполненного на основе линейного кодека и цифрового компандерного устройства, приведена на рис. 1.

Поступающий на вход нелинейного кодера сигнал с частотой 8 кГц, равной частоте дискретизации речевого сигнала, кодируется в линейном кодере с использованием симметричного двоичного кода с большим числом уровней квантования (4096).

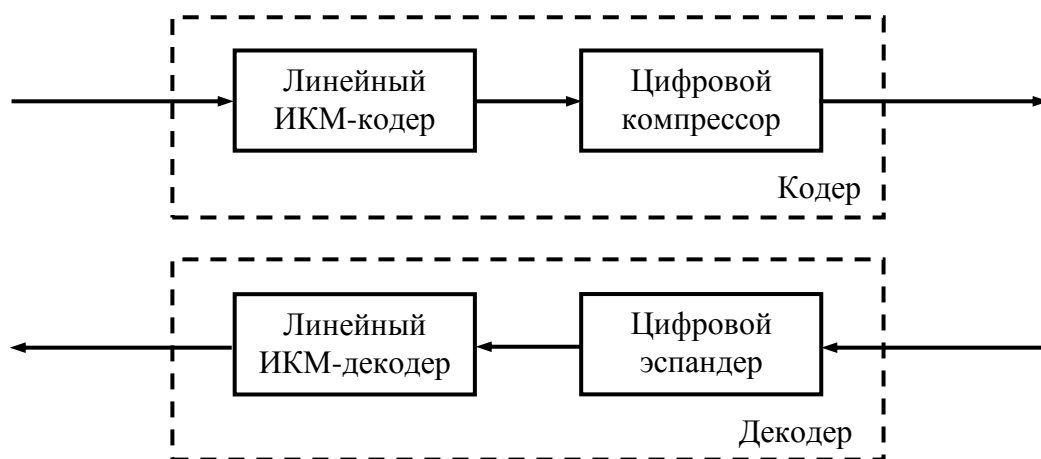


Рис. 1. Структурная схема нелинейного кодека

Представление 12-разрядного кодового слова на выходе линейного кодера (рис. 2) использует формат «знак – абсолютное значение», в котором первый бит (P) указывает знак отсчёта (1 – для положительных напряжений, 0 – для отрицательных), а оставшиеся

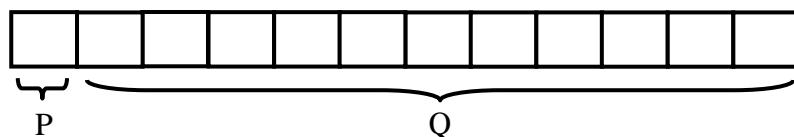


Рис. 2. Структура 12-разрядного кодового слова

биты (Q) – номер уровня квантования, записанный в натуральном арифметическом коде.

Полученная на выходе линейного кодера 12-разрядная кодовая группа при помощи цифрового компрессора преобразуется в 8-разрядную, передаваемую по линии. Цифровое сжатие, осуществляемое в соответствии с правилом, представленным в табл. 4, соответствует европейской шкале неравномерного квантования с компрессией по закону A.

Параметры нелинейного кодера речевого сигнала  $A = 87,6/13$  приведены в табл. 5 в условных единицах ( $\Delta_0$ ).

Структура 8-разрядного кодового слова на выходе цифрового компрессора имеет вид, показанный на рис. 3. Биты S кодовой комбинации указывают номер сегмента, в котором находится кодируемый отсчет, а биты Q – номер уровня квантования внутри данного сегмента, представленные в двоичном исчислении.

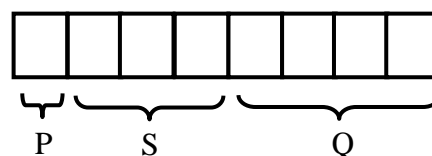


Рис. 3. Структура 8-разрядного кодового слова

Принцип цифрового экспандирования (табл. 4) аналогичен принципу цифровой компрессии.



Таблица 4. Преобразование при цифровом компандировании по закону А

Номер сегмента	12-разрядные кодовые группы на выходе линейного кодера	8-разрядные кодовые группы на выходе цифрового компрессора	13-разрядные кодовые группы на выходе цифрового экспандера
0	P0000000wxyz	P000wxyz	P0000000wxyz1
1	P0000001wxyz	P001wxyz	P0000001wxyz1
2	P000001wxyz	P010wxyz	P000001wxyz10
3	P00001wxyz	P011wxyz	P00001wxyz100
4	P0001wxyz	P100wxyz	P0001wxyz1000
5	P001wxyz	P101wxyz	P001wxyz10000
6	P01wxyz	P110wxyz	P01wxyz100000
7	P1wxyz	P111wxyz	P1wxyz1000000

Q

Таблица 5. Параметры кодера А = 87,6/13

Номер сегмента	Нижняя граница сегмента	Верхняя граница сегмента	Шаг квантования
0	0	16 $\Delta_0$	$\Delta_0$
1	16 $\Delta_0$	32 $\Delta_0$	$\Delta_0$
2	32 $\Delta_0$	64 $\Delta_0$	2 $\Delta_0$
3	64 $\Delta_0$	128 $\Delta_0$	4 $\Delta_0$
4	128 $\Delta_0$	256 $\Delta_0$	8 $\Delta_0$
5	256 $\Delta_0$	512 $\Delta_0$	16 $\Delta_0$
6	512 $\Delta_0$	1024 $\Delta_0$	32 $\Delta_0$
7	1024 $\Delta_0$	2048 $\Delta_0$	64 $\Delta_0$

Кодирование и декодирование при компрессии по закону А = 87,6/13 можно выполнить в следующем порядке:

1. Рассчитать структуру 12-разрядной кодовой группы на выходе линейного кодера. Для этого необходимо определить бит полярности, выразить абсолютное значение напряжения кодируемого отсчёта в заданных шагах квантования ( $\Delta_0$ ) и представить его в 11-разрядном натуральном арифметическом коде.

2. Определить вид 8-разрядной кодовой комбинации на выходе цифрового компрессора.

3. Выполнить цифровое экспандирование и рассчитать квантованное значение напряжения отсчёта на выходе декодера  $U_{кв}$ . Обратите внимание, что после расширения появляется 13-ый разряд с весом равным половине заданного шага квантования ( $\Delta_0/2$ ).

4. Для проверки правильности выполнения расчёта для каждого входного сигнала рассчитать погрешность квантования или ограничения

$$\varepsilon_{кв(огр)} = U - U_{кв}$$

Погрешность квантования по абсолютному значению не должна превышать половины шага квантования в сегменте, которому принадлежит кодируемый отсчёт, а погрешность ограничения превышает.

### Задача 3

Цифровой поток E1 характеризуется наличием цикла и сверхцикла.

По заданному номеру бита в сверхцикле  $N = N_1 + N_2 + N_3$  определить номера цикла и канального интервала, в которых расположен данный бит, порядковый номер бита внутри канального интервала и вид сигнала, к которому он относится.

Исходные данные для решения задачи приведены в табл. 6.

Таблица 6. Исходные данные к задаче 3

Вторая цифра номера варианта	$N_1$	Третья цифра номера варианта	$N_2$	Пятая цифра номера варианта	$N_3$
0	96	0	1002	0	0
1	670	1	1064	1	1
2	347	2	936	2	3
3	1883	3	1192	3	5
4	26	4	2086	4	7
5	91	5	1318	5	9
6	1307	6	1000	6	11
7	537	7	422	7	13
8	608	8	1192	8	15
9	1627	9	38	9	17

#### Методические указания к решению задачи 3

Первичный цифровой поток европейской плезиохронной иерархии со скоростью передачи символов 2048 кбит/с (E1) имеет циклическую структуру (рис. 4).

Частоты повторения циклов и сверхциклов равны соответственно 8 кГц и 0,5 кГц.

Базовая структура цикла и сверхцикла цифрового потока E1 согласно рекомендации МСЭ-Т G.704 приведена в табл. 7.

Цикл передачи (Ц) состоит из 32 канальных интервалов  $КИ_0 - КИ_{31}$ , каждый из которых содержит 8 тактовых интервалов  $P_1 - P_8$ , называемых разрядами.  $КИ_0$  является служебным каналом, а остальные 31  $КИ$  – коммерческими (служат для передачи сигналов от внешних источников).

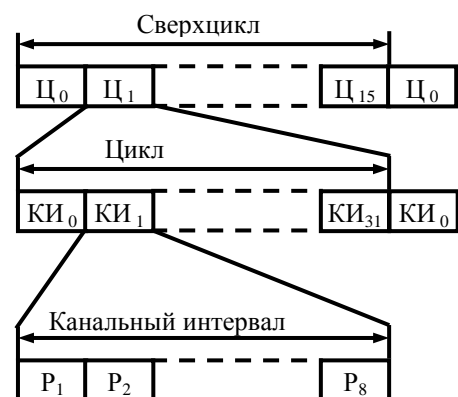


Рис. 4. Структура потока E1

При необходимости передачи сигналов управления и взаимодействия (СУВ) для обеспечения необходимого числа низкоскоростных каналов циклы цифрового потока объединяются в сверхциклы, следующие друг за

другом. Совокупность из 16 циклов  $\Pi_0 - \Pi_{15}$  образует сверхцикл. В первом цикле сверхцикла ( $\Pi_1$ ) передаются СУВ первого (биты 1 – 4) и шестнадцатого (биты 5 – 8) каналов, во втором ( $\Pi_2$ ) – второго и семнадцатого и т. д.

Таблица 7. Базовая структура цикла и сверхцикла цифрового потока E1

Вид сигналов	Номера КИ в цикле	Номера битов в КИ	Номера циклов в сверхцикле
Телефонные сигналы	1–15, 17–31	1 – 8	0 – 15
СУВ	16	1 – 8	1 – 15
Контроль достоверности CRC-4 (один из вариантов)	0	1	0 – 15
Сигнал цикловой синхронизации (ЦС)	0	2 – 8 (0011011)	0, 2, ..., 14 (чётные)
Синхросимвол	0	2 (=1)	1, 3, ..., 15 (нечётные)
Обратный аварийный сигнал («извещение»)	0	3	1, 3, ..., 15 (нечётные)
Служебные биты	0	4–8	1, 3, ..., 15 (нечётные)
Сигнал сверхцикловой синхронизации (СЦС)	16	1–4 (0000)	0
Извещение о потере СЦС на удалённой станции	16	6	0
Фиксированные биты	16	5, 7, 8 (=1)	0

В зависимости от применяемого вида сигнализации могут использоваться не все биты (1 и 5 биты используются всегда). Когда биты 2(6), 3(7) и 4(8) не используются, они принимают значения 1, 0, 1 соответственно.

#### Задача 4

Представить приведённый ниже фрагмент группового цифрового сигнала

$$01000010 \dots 0110 \dots 01110 \dots 0111,$$

$$\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{N_1+9} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{N_2+5} \quad \underbrace{\hspace{1.5cm}}_{N_3+7}$$

где  $(N_1 + 9)$ ,  $(N_2 + 5)$  и  $(N_3 + 7)$  – количество нулей между единицами,  $N_1$  – вторя,  $N_2$  – третья и  $N_3$  – последняя цифры номера варианта, в коде NRZ и в заданных в таблице стыковых и линейных кодах. Все временные диаграммы должны быть выполнены в одном масштабе и размещены одна под другой, причём каждая диаграмма должна занимать только одну строку.

Таблица 8. Варианты задания к задаче 4

Последняя цифра номера варианта	Стыковые и линейные коды
0	AMI, HDB-3
1	HDB-3, B6ZS
2	HDB-3, CMI
3	CMI, B8ZS
4	HDB-3, B8ZS
5	B3ZS, CMI
6	AMI, B3ZS
7	B6ZS, CMI
8	B8ZS, B3ZS
9	B3ZS, B6ZS

#### Методические указания к решению задачи 4

Все указанные в задании коды являются стандартными стыковыми и линейными кодами, используемыми для цифровой передачи. Алгоритмы преобразования кодов приведены в рекомендации МСЭ-Т G.703.

В биполярном коде (AMI – Alternative Mark Inversion), называемом также кодом с чередованием полярности импульсов (ЧПИ), для передачи исходного двоичного сигнала используются три уровня напряжений, а именно: логический нуль кодируется пробелом (нулевым напряжением), а логическая единица – импульсом на первом полутактовом интервале, полярность которого противоположна полярности предыдущего импульса.

Биполярный код с заменой ( $N+1$ ) смежных нулей является модернизацией кода AMI и носит название HDB- $N$  (High Density Bipolar), где  $N$  – максимально возможное количество смежных нулей после кодирования.

Для цифровых потоков европейской плезиохронной иерархии E1, E2, E3 на цифровом стыке, согласно рекомендации МСЭ-Т, используется код HDB-3 или МЧПИ (модернизированный код с чередованием полярности импульсов). В этом случае последовательности, состоящие из четырёх пробелов, замещаются комбинациями, содержащими хотя бы один импульс, специально вызывающими нарушение биполярности.

Алгоритм преобразования кода HDB-3:

- логический нуль кодируется пробелом, а логическая единица – импульсом на первом полутактовом интервале, полярность которого противоположна полярности предыдущего импульса;
- последовательности из четырёх нулей, передаются комбинациями вида  $000V$ , либо  $B00V$ , где  $0$  – пробел,  $B$  – импульс на первом полутактовом интервале, полярность которого противоположна полярности предыдущего импульса, а  $V$  (вставка) – импульс на первом полутактовом интервале, полярность которого совпадает с полярностью предыдущего импульса;
- полярности вставок  $V$  чередуются между собой.

Таким образом, импульс *B* добавляет число импульсов между вставками (*V*) до нечётного.

Специфицированным кодом интерфейса для сигнала E4 является код с инверсией токовых посылок (Coded Mark Inversion, CMI), относящийся к классу биимпульсных кодов, при использовании которых исходный двоичный сигнал кодируется двумя уровнями напряжений. При этом двоичные единицы передаются импульсами со 100%-ым заполнением тактового интервала, полярности которых чередуются, а двоичные нули кодируются биимпульсным сигналом, представляющим собой два полутаковых импульса (отрицательной и положительной полярности).

Ещё один формат кодирования с заменой *N* нулей носит название двоичного кода с заменой *N* нулей (Binary *N*-Zero Substitution, BNZS) – это, также как и МЧПИ, усовершенствованный биполярный код, в котором все последовательности, состоящие из *N* нулей, заменяются специальным кодом длины *N*, содержащим несколько импульсов, специально вызывающих нарушения биполярности. Стандартами Северной Америки и Канады для применения специфицированы коды данного семейства B3ZS, B6ZS и B8ZS.

В качестве примера ниже приведён алгоритм замены трёх нулей, используемый в коде B3ZS. Алгоритм преобразования кода B3ZS в основном совпадает с описанным выше алгоритмом преобразования кода HDB-3.

В формате B3ZS каждая последовательность в исходном цифровом сигнале, состоящая из трёх нулей, замещается комбинациями вида 00*V*, либо *B*0*V*. Комбинация 00*V* имеет в своем составе два тактовых интервала без импульсов (00), за которыми следует импульс с нарушением биполярности (*V*). Комбинация *B*0*V* состоит из одиночного импульса с биполярным чередованием (*B*), следующего за ним пробела (0) и импульса с нарушением биполярности (*V*).

Решение о выборе вида замещающей комбинации принимается с учётом требования передачи нечётного числа импульсов без нарушения биполярности между соседними импульсами с нарушением биполярности (*V*).

Формирование линейного сигнала с использованием кодов B6ZS и B8ZS предполагает замены блоков, состоящих из шести и восьми последовательных нулей, кодовыми комбинациями 0*V**B*0*V**B* и 000*V**B*0*V**B* соответственно.

Окончательные алгоритмы проведения замен при использовании кодов B3ZS, B6ZS и B8ZS приведены в табл. 9–11.

Таблица 9. Правила замещения в коде B3ZS

Полярность предыдущего импульса	Число биполярных импульсов (единиц) с момента последнего замещения	
	нечётное	чётное
–	0 0 –	+ 0 +
+	0 0 +	– 0 –

Таблица 10. Правила замещения в коде В6ZS

Полярность предыдущего импульса	Замещающая комбинация в коде В6ZS
-	0 - + 0 + -
+	0 + - 0 - +

Таблица 11. Правила замещения в коде В8ZS

Полярность предыдущего импульса	Замещающая комбинация в коде В8ZS
-	0 0 0 - + 0 + -
+	0 0 0 + - 0 - +

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

### а) основная литература:

1. Матюхин, А. Ю. Многоканальные системы передачи: учебное пособие [Электронный ресурс] / А. Ю. Матюхин, С. А. Курицын; СПбГУТ – СПб: СПбГУТ, 2013, – 400 с.
2. Курицын, С. А. Основы построения телекоммуникационных систем передачи : Учебное пособие. – СПб.: Информационный центр «ВЫБОР», 2004. – 392 с.: ил.
3. Гордиенко, В. Н. Многоканальные телекоммуникационные системы : учебник / В. Н. Гордиенко, М. С. Тверецкий. – М.: Горячая линия-Телеком, 2007. – 416 с.
4. Рекомендация МСЭ-Т G.703 (04/2016) Physical/electrical characteristics of hierarchical digital interfaces – Printed in Switzerland Geneva, 2016. –66с.
5. Рекомендация МСЭ-Т G.704 (10/1998) Synchronous frame structures used at 1544, 6312, 2048, 8448 and 44 736 kbit/s hierarchical levels

### б) дополнительная литература:

5. Беллами, Дж. Цифровая телефония: пер. с англ. / Дж. Беллами; ред.: А. Н. Берлин, Ю. Н. Чернышов. – 3-е изд. – М: Эко-Трендз, 2004. – 639 с.

**Волчков Артём Борисович,  
Матюхин Александр Юрьевич  
Рафиков Дмитрий Геннадьевич**

## **ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ**

**Контрольное задание  
и учебно-методическое пособие по его выполнению**

Редактор *И. И. Щенсяк*

План издания 2019 г., п. 169

Подписано к печати 03.02.2019  
Объем 0,93 усл.-печ. л. Тираж 14 экз. Заказ 907

Редакционно-издательский отдел СПбГУТ  
193232 СПб., пр. Большевиков, 22

Отпечатано в СПбГУТ