

РОССИЙСКАЯ ОТКРЫТАЯ АКАДЕМИЯ ТРАНСПОРТА

Одобрено кафедрой
«Железнодорожная автоматика,
телемеханика и связь»

ЦИФРОВЫЕ СИСТЕМЫ ПЕРЕДАЧИ

Задание на контрольную работу
с методическими указаниями
для студентов V курса
специальности

СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ
Специализация: Телекоммуникационные системы и сети железнодорожного транспорта

РОАТ
2016

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Задание на контрольную работу составлено в соответствии с действующей рабочей программой.

Контрольная работа состоит из трех задач, посвященных принципам построения современных цифровых систем передачи. Варианты исходных данных к задачам студент выбирает по двум последним цифрам своего учебного шифра.

К выполнению контрольной работы рекомендуется приступать после изучения теоретической части курса в целом или разделов, рекомендованных в задачах. При выполнении контрольной работы следует привести исходные данные для каждой задачи в соответствии с вариантом, краткие пояснения, расчеты и схемы, предусмотренные методическими указаниями. Схемы должны быть выполнены в графических редакторах.

Оформление контрольной работы выполняется на одной стороне стандартных листов А4, с использованием текстовых редакторов, в соответствии с требованиями по оформлению (14 шрифт, полуторный межстрочный интервал, поля справа – 2,5, слева 1,5, сверху и снизу – 2 см). Листы должны быть сброшюрованы и пронумерованы. В конце контрольной работы необходимо привести список использованной литературы.

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА

«Принципам построения современных цифровых систем передачи»

ЗАДАЧА №1

Образовать кодовую группу для заданного отсчета сигнала при кодировании способом потактового сравнения.

Исходные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные

Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	16,5 0,03	27,0 0,15	16,0 0,01	20,7 0,07	-9,2 0,15	22,0 0,14	25,0 0,02	32,0 0,60	14,1 0,25	17,4 0,25
1	27,1 0,02	21,5 0,02	-11,9 0,12	16,8 0,05	8,5 0,20	-19,0 0,22	-28,1 0,05	21,4 0,75	6,2 0,32	11,2 0,35
2	-8,7 0,09	-19,6 0,10	-9,1 0,02	-19,7 0,03	10,9 0,01	-18,9 0,12	31,2 0,04	19,5 0,13	8,2 0,75	14,6 0,27
3	-11,0 0,02	-14,2 0,20	5,7 0,01	18,1 0,02	16,7 0,05	-11,5 0,25	16,5 0,03	20,3 0,18	13,1 0,50	29,2 0,18
4	32,5 0,06	23,0 0,50	-12,0 0,05	15,7 0,01	-19,9 0,05	-13,5 0,10	19,1 0,05	15,1 0,32	19,2 0,02	-17,1 0,15
5	-24,0 0,05	16,5 0,30	21,4 0,07	-27,2 0,07	18,1 0,03	16,1 0,07	14,2 0,06	-25,2 0,41	18,4 0,14	18,0 0,27
6	-12,5 0,12	-30,7 0,50	-18,6 0,03	9,1 0,50	14,9 0,02	-21,6 0,04	-22,1 0,04	23,4 0,52	-21,0 0,03	-19,6 0,41
7	31,5 0,10	21,5 0,02	20,6 0,04	19,1 0,30	-5,7 0,01	24,0 0,03	-24,0 0,02	-21,6 0,60	-25,1 0,18	14,1 0,01
8	-22 0,02	-11,0 0,10	26,5 0,02	-13,7 0,10	-29,0 0,03	-27,2 0,05	29,0 0,03	-18,6 0,41	-23,2 0,45	-12,4 0,04
9	15 0,07	8,5 0,05	13,1 0,05	-17,2 0,01	35,0 0,02	32,4 0,02	-30,9 0,02	14,1 0,35	19,5 0,60	6,2 0,02

Примечание. В таблице 1 верхнее число в каждой строке показывает значение отсчета сигнала U , V , нижнее – минимальный шаг квантования Δ , B .

Методические указания

Перед выполнением задачи необходимо изучить принципы обработки сигналов в цифровой связи, принципы квантования и кодирования сигналов в системах передачи. Установить особенности линейного, нелинейного квантования и кодирования, квантователей с симметричной характеристикой, ознакомиться с устройством и работой кодера и декодера.

Материалы содержатся во втором разделе лекций.

Кодирование – это процесс замены отсчета сигнала определенной кодовой группой. Формирование кодовой группы осуществляется одновременно с квантованием отсчета по амплитуде (уровню), т.е. заменой отсчета ближайшим разрешенным значением кодовой группы в соответствии со шкалой квантования.

В цифровых системах передачи используется нелинейное квантование. Шкала квантования содержит 256 разрешенных значений – шагов квантования. Из них 128 для положительной полярности сигналов и 128 для отрицательной.

Характер нелинейности шкалы квантования определяется кривой компрессии типа А-87,6/13, показанная на рисунке 1 и представляющая собой амплитудную характеристику кодера. Применение нелинейного квантования позволило обеспечить достаточно высокую защищенность от шума квантования как сильных, так и слабых телефонных (речевых) сигналов.

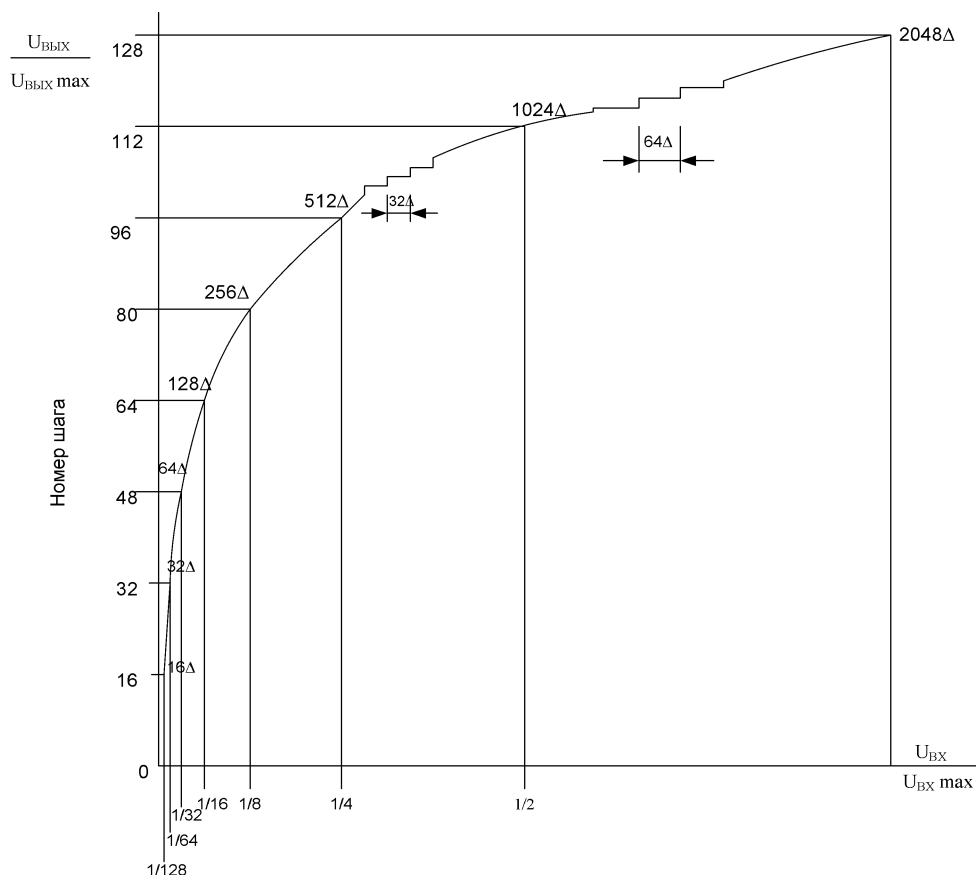


Рисунок 1 - Характеристика компрессии сигнала типа А-87,6/13 кодера ЦСП

В соответствии с кривой компрессии шаг квантования изменяется в зависимости от величины поступающего в кодер отсчета и лежит в пределах от Δ (для слабых сигналов) до 64Δ (для сильных сигналов). Характеристика компрессии составлена из прямолинейных отрезков-сегментов. Их восемь в положительной и восемь в отрицательной области значений сигнала (на рисунке показана ее положительная ветвь). Каждый из сегментов содержит 16 одинаковых шагов квантования. Первые два сегмента (C_0 и C_1) имеют один и тот же угол наклона к горизонтальной оси и равные шаги квантования Δ . С увеличением номера сегмента ($C_2 \dots C_7$) его наклон уменьшается, а шаг квантования возрастает до 64Δ . Такой характер изменения крутизны кривой А-87,6/13 указывает на то, что при квантовании происходит и сжатие динамического диапазона сигнала.

Каждая кодовая группа цифрового сигнала представляет собой комбинацию из восьми двоичных символов 0 и 1. Отсюда число кодовых групп $2^8=256$, т.е. равно числу разрешенных значений на шкале квантования.

В процессе кодирования производится:

- определение и кодирование полярности (знака) отсчета; для этого достаточно одного такта кодирования, при котором фиксируются или 1 (при знаке « + ») или 0 (при знаке « - »);
- поиск и кодирование сегмента, в пределах которого находится значение отсчета; для выбора одного из восьми сегментов очевидно необходимы три такта ($8=2^3$);
- поиск и кодирование отсчета в пределах найденного сегмента; для выбора одного из 16 значений требуется четыре такта ($16=2^4$).

В итоге кодовая группа содержит восемь разрядов.

Кодовая группа отсчета

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
Знак отсчета	Сегмент, в котором находится отсчет			Значение отсчета в сегменте			

В основе операции кодирования лежит способ потактового сравнения (взвешивания). При каждом такте производится сравнение отсчета с эталонным сигналом, вырабатываемым в кодере. Этот способ аналогичен способу взвешивания предмета на механических рычажных весах при помощи гирь-эталонов различного веса. Операция «электрического» взвешивания осуществляется в кодере при помощи компаратора (compare – сравнивать, лат.).

Для кодирования используются 11 эталонов: Δ , 2Δ , 4Δ , 8Δ , 16Δ , 32Δ , 64Δ , 128Δ , 256Δ , 512Δ и 1024Δ . При кодировании сегмента используются семь эталонов: 16Δ , 32Δ , 64Δ , 128Δ , 256Δ , 512Δ и 1024Δ (рис. 2). При кодировании отсчета в пределах сегмента требуются четыре эталона $n\cdot\Delta$, $2n\cdot\Delta$, $4n\cdot\Delta$ и $8n\cdot\Delta$. Причем значение n определяется минимальным шагом квантования в сегменте ($n = 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64$).

После каждого такта (операции сравнения) в соответствующем разряде кодовой группы фиксируется символ 0 или 1. В случае, если значение отсчета оказалось больше эталона, то фиксируется 1, если меньше, то фиксируется 0. В электрическом сигнале символ 1 соответствует импульсу, а 0 – пробелу.

Поясним на примере порядок формирования кодовой группы на примере отсчета $y=110\Delta$. Из рисунка 1 видно, что отсчет находится в пределах сегмента C_3 . На рисунке 2 показана шкала сегментов и шкала значений отсчетов в сегменте.

Шкала сегментов (рис. 2, а) используется для образования первых четырех разрядов, шкала уровней (рис. 2, б) – остальных четырех. Выполним кодирование.

Первый такт – определяется знак отсчета путем сравнения с 0. Так как $y > 0$, то в первом разряде фиксируется 1. Символ 1 указан в скобках. Далее кодирование продолжается в положительной области шкалы квантования.

Второй такт – делается сравнение отсчета с эталоном 128Δ , это значение делит шкалу сегментов на две равные части по числу сегментов. При сравнении имеем $y < 128\Delta$, следовательно, во втором разряде будет 0.

Номера шагов
квантования и уровни
на границах сегментов

Номера шагов
квантования и уровни
в сегменте C_3

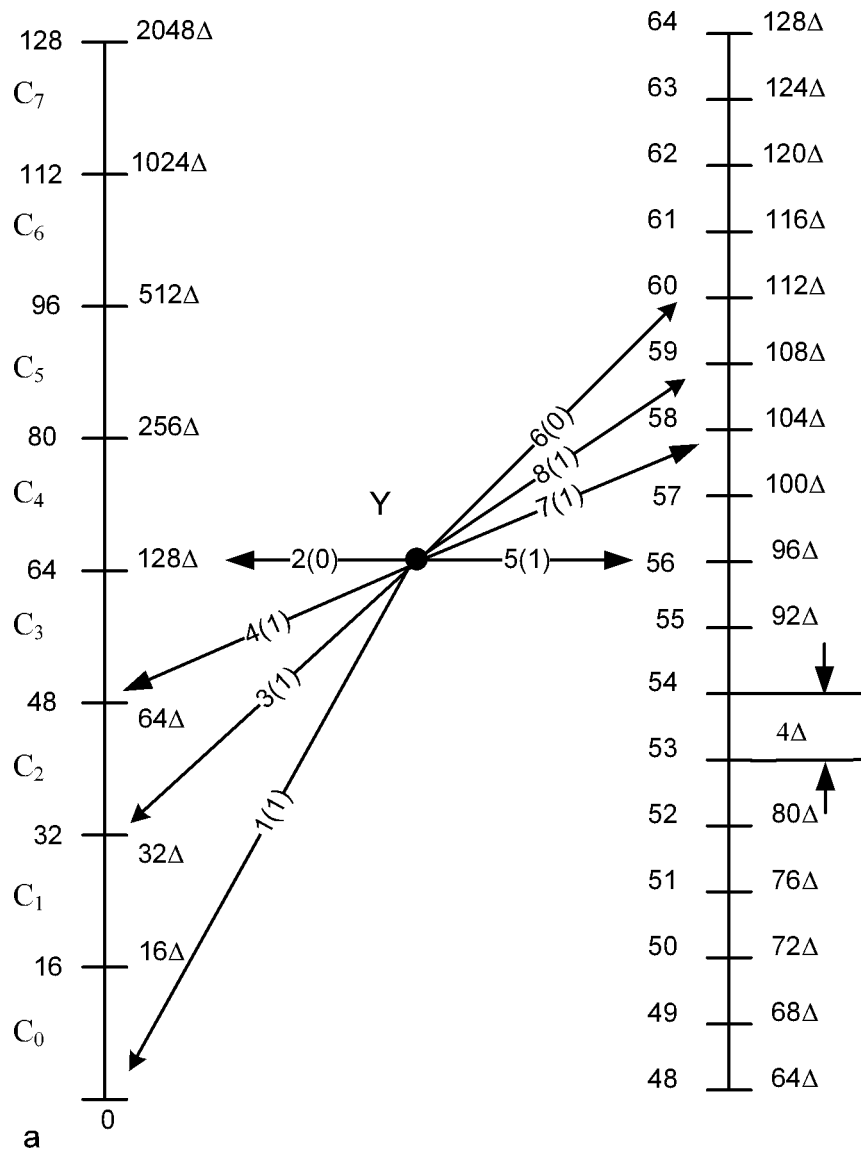


Рисунок 2 - Шкала квантования сегментов (а)
и шкала значений отсчетов в сегменте (б)

Третий такт – делается сравнение с меньшим эталоном 32Δ , он делит нижнюю половину шкалы сегментов, в которой находится кодированное значение отсчета, также на две части. Так как $y > 32\Delta$, то в третьем разряде фиксируется тоже 1.

Четвертый такт – проводится сравнение с большим эталоном 64Δ и в четвертом разряде фиксируется 1.

После четырех тактов кодирования найден знак отсчета (он «+») и сегмент, в пределах которого находится кодированное значение отсчета (он C_3). Кодирование продолжается в пределах сегмента C_3 (см. рис.2, б), помня при этом, что минимальный шаг квантования в этом сегменте равен 4Δ ($n=4$).

Пятый такт – делается уже сравнение с сумой эталонов $64\Delta+32\Delta=96\Delta$ – значением на середине шкалы уровней. Сравнение отсчета с этой суммой дает $y > 96\Delta$, поэтому в пятом разряде будет 1.

Далее кодирование продолжается в верхней половине шкалы сегмента.

Шестой такт – проводится сравнение с суммой эталонов $64\Delta+32\Delta+16\Delta=112\Delta$. При сравнении с полученной суммой получается $y < 112\Delta$ и в шестом разряде 0.

Седьмой такт – проводится сравнение с суммой эталонов $64\Delta+32\Delta+8\Delta=104\Delta$. В результате $y > 104\Delta$ и в седьмом разряде 1.

Восьмой такт – проводится сравнение с суммой эталонов $64\Delta+32\Delta+8\Delta+4\Delta=108\Delta$. При сравнении получается $y > 108\Delta$ и в восьмом разряде 1.

На этом кодирование заканчивается, а кодовая группа отсчета будет определять двоичное число 10111011.

Весь процесс формирования кодовой группы представлен в таблице 2.

В заключение следует отметить, что при каждом такте кодирования поле поиска объекта на всей шкале квантования уменьшается в два раза.

Кроме того, из рисунка 2 можно видеть, что при кодировании сегмента используется нелинейное квантование, а при кодировании уровня в сегменте – линейное квантование.

Таблица 2 – Процесс формирования кодовой группы

Объект кодирования	Такт кодирования	Эталон или сумма эталонов сравнения	Результат сравнения с эталонами	Фиксированный символ в кодовой группе
Полярность отсчета	1	0	$y > 0$	1
Сегмент, в пределах которого находится значение отсчета	2	128Δ	$y < 128\Delta$	0
	3	32Δ	$y > 32\Delta$	1
	4	64Δ	$y > 64\Delta$	1
Значение отсчета в сегменте	5	$64\Delta + 32\Delta$	$y > 96\Delta$	1
	6	$64\Delta + 32\Delta + 16\Delta$	$y < 112\Delta$	0
	7	$64\Delta + 32\Delta + 8\Delta$	$y > 104\Delta$	1
	8	$64\Delta + 32\Delta + 8\Delta + 4\Delta$	$y > 108\Delta$	1

Ознакомившись с пояснениями и рекомендованным материалом, можно приступить к выполнению задачи. Заданный отсчет (таблица 1) может быть выражен через свое значение и минимальный шаг квантования Δ

$$y = \frac{U}{\Delta} \Delta.$$

Тогда, например, для отсчета, напряжение которого $U=25\text{В}$, а минимальный шаг квантования $\Delta=0,02\text{В}$, находим

$$y = \frac{25}{0,02} \Delta = 1250\Delta.$$

Материал выполняемой задачи должен содержать шкалы квантования (рис. 2), таблицу кодирования (табл. 2) и необходимые пояснения при формировании кодовой группы для заданного отсчета.

ЗАДАЧА №2

Определить параметры цифровых каналов, построенных на основе принципов временного уплотнения сигналов в аналого-импульсной и цифровой форме (с применением группообразования с двухсторонним согласованием скоростей). Исходные данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Исходные данные

Параметр	Предпоследняя цифра шифра	Последняя цифра шифра									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
N	0	12	18	24	36	42	48	54	60	66	72
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/1	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2
N	1	18	24	36	42	48	54	60	66	72	12
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2
N	2	24	36	42	48	54	60	66	72	12	18
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2
N	3	36	42	48	54	60	66	72	12	18	24
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2
N	4	42	48	54	60	66	72	12	18	24	36
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2
N	5	48	54	60	66	72	12	18	24	36	42
M ₁		3	3	4	4	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/1	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2
N	6	54	60	66	72	12	18	24	36	42	48
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/1	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2
N	7	60	66	72	12	18	24	36	42	48	54
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2
N	8	66	72	12	18	24	36	42	48	54	60
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/1	4/2
N	9	72	12	18	24	36	42	48	54	60	66
M ₁		3	3	3	5	5	5	6	6	7	7
q ₃ /q ₄		2/3	4/2	2/1	4/2	2/1	4/2	2/3	4/2	2/3	4/2

1. Определить тактовую частоту передачи f_{m0} основного цифрового канала ОЦК, полученного путем преобразования стандартного аналогового телефонного сигнала в цифровой форму при использовании:

- линейной шкалы квантования;
- нелинейной шкалы квантования.

2. Построить цикл передачи первичного цифрового канала, в котором, за один цикл передается N стандартных телефонных сигнала (ОЦК) и два служебных. Значение N берется из таблицы 3. Шкала квантования нелинейная. Определить тактовую частоту f_{m1} первичной цифровой системы передачи, длительность сверхцикла $T_{\text{сц}}$, информационную эффективность $\mathcal{E}_{\Sigma 1}$ цифрового потока.

3. Построить цикл передачи вторичного цифрового канала, получаемого путем временного группообразования M_1 первичных (полученных в предыдущем пункте). Кратность мультиплексирования M_1 берется из таблицы 3. Определить тактовую частоту f_{m1}^* цифрового сигнала на выходе БАС, скорость передачи вторичного цифрового канала f_{m2} , информационную эффективность $\mathcal{E}_{\Sigma 2}$ суммарного цифрового потока.

4. Построить цикл передачи третичного цифрового канала, получаемого путем временного группообразования четырех вторичных (полученных предыдущем пункте), при условии, что для возможности реализации средств сетевого автоматического контроля и управления (ССАКУ) в каждой группе на выходе БАС дополнительно формируется по q_3 служебных позиций (таблица 3). Определить тактовую частоту f_{m2}^* цифрового сигнала на выходе БАС, скорость передачи f_{m3} третичного цифрового канала, информационную эффективность $\mathcal{E}_{\Sigma 3}$ суммарного цифрового потока.

5. Построить цикл передачи четверичного цифрового канала, полученного путем 4-кратного мультиплексирования третичных, при условии, что для организации дополнительного канала передачи служебных данных во второй и третьей группе формируется по q_4 служебных позиции (таблица 3). Определить тактовую частоту f_{m3}^* цифрового сигнала на выходе БАС, скорость передачи f_{m4} четверичного цифрового сигнала, информационную эффективность $\mathcal{E}_{\Sigma 4}$ суммарного цифрового потока.

Методические указания

Перед выполнением задачи необходимо изучить принципы временного уплотнения сигналов в аналого-импульсной форме, особенности построения первичных систем передачи (ИКМ-30). Установить особенности посимвольного объединения цифровых потоков, смысл определения информационной эффективности суммарного цифрового потока, ознакомиться с общей структурной схемой работы оборудования временного группообразования. Изучить особенности процедуры согласования скоростей, принципы построения циклов передачи вторичного, третичного и четверичного каналов плезиохронной цифровой иерархии.

Материалы находятся в третьем и четвертом разделах лекций.

1. Тактовая частота передачи основного цифрового канала определяется по выражению

$$f_{m0} = f_d \cdot m,$$

где f_d — частота дискретизации телефонного сигнала;

m — разрядность кода.

Разрядность кода, используемого при кодировании квантованных отсчетов, определяется способом квантования.

2. Период цикла первичного цифрового канала равен периоду дискретизации телефонного сигнала $T_d = 125$ мкс. Цикл передачи показан на рисунке 3.

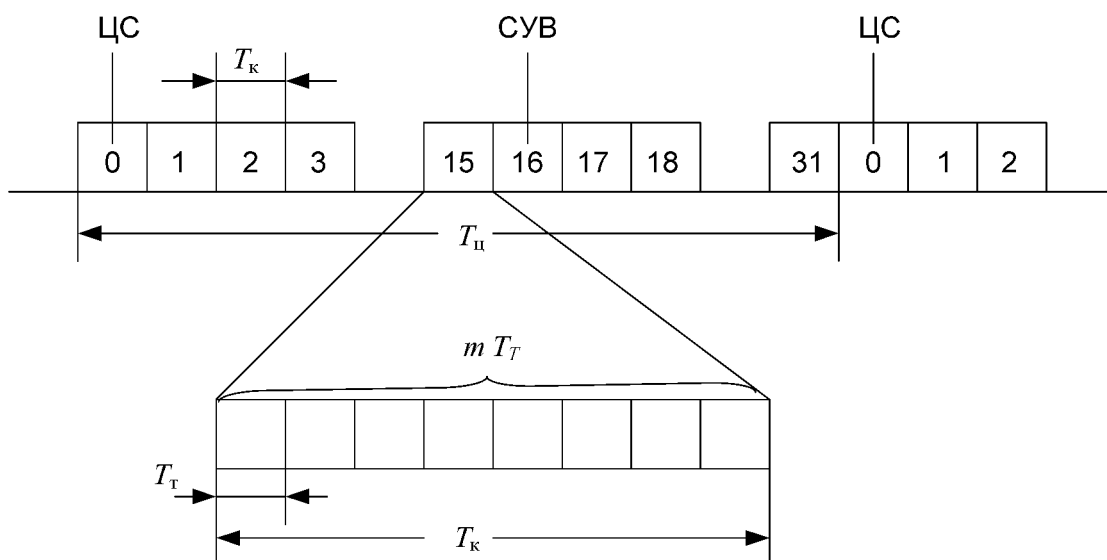


Рисунок 3 – Цикл передачи первичного цифрового канала

В интервале $T_{\text{ц}}$ последовательно передаются в цифровом двоичном коде выборки 30 телефонных сигналов (т.е. в данном случае, $N=30$) и два служебных цифровых сигнала: цикловой синхронизации (ЦС) и сигналов управления и взаимодействия для АТС (СУВ). Каждая выборка передается в своем канальном интервале (КИ), имеет длительность кодовой комбинации T_k и состоит из m разрядов. Длительность разряда – T_T . При $m = 8$ получим

$$f_{T1} = \frac{1}{T_T} = \frac{1}{T_k/8} = \frac{1}{T_{\text{ц}}/8 \cdot 32} = F_{\text{д}} \cdot 32 \cdot 8 = 2048 \text{ кГц}$$

Как видно из рисунка, для передачи сигнала ЦС используется нулевой канальный интервал КИ0, а для передачи сигнала СУВ – 16-й канальный интервал КИ16 ($[N+2]/2$). Остальные канальные интервалы используются для передачи телефонных сигналов.

В первичной ЦСП выборка СУВ одного абонента передается в виде 3-разрядной кодовой комбинации, при этом в одном КИ16 размещаются выборки СУВ двух абонентов. Для передачи по одному разу выборок всех N абонентов потребуется время $T_{\text{сц}} = T_{\text{ц}} (N/2 + 1)$ мс, которое называется сверхциклом, при этом в каждом 16 цикле будет передаваться сигнал сверхцикловой синхронизации (СЦС). С помощью сигнала СЦС на приемной стороне производится разделение кодированных выборок СУВ отдельных каналов.

Информационная эффективность суммарного цифрового определяется следующим выражением.

$$\Theta_{\Sigma} = \frac{M}{M+C} \quad (1)$$

где M – общее количество информационных символов в цифровом потоке;
 C – общее число служебных символов в цифровом потоке.

3. Построение циклов передачи вторичного, третичного и четверичного цифровых каналов рассмотрим на примере стандартов Европейской плезиохронной иерархии (цифровые потоки Е2, Е3 и Е4).

Цикл передачи вторичного сигнала $T_{ц2}$ выбран равным 125 мкс, что равно циклу первичного цифрового канала. Построение цикла вторичного цифрового сигнала, получаемого путем временного асинхронного объединения четырех первичных цифровых сигналов с использованием двухстороннего (положительно-отрицательного) согласования скоростей, иллюстрирует рисунок 4.

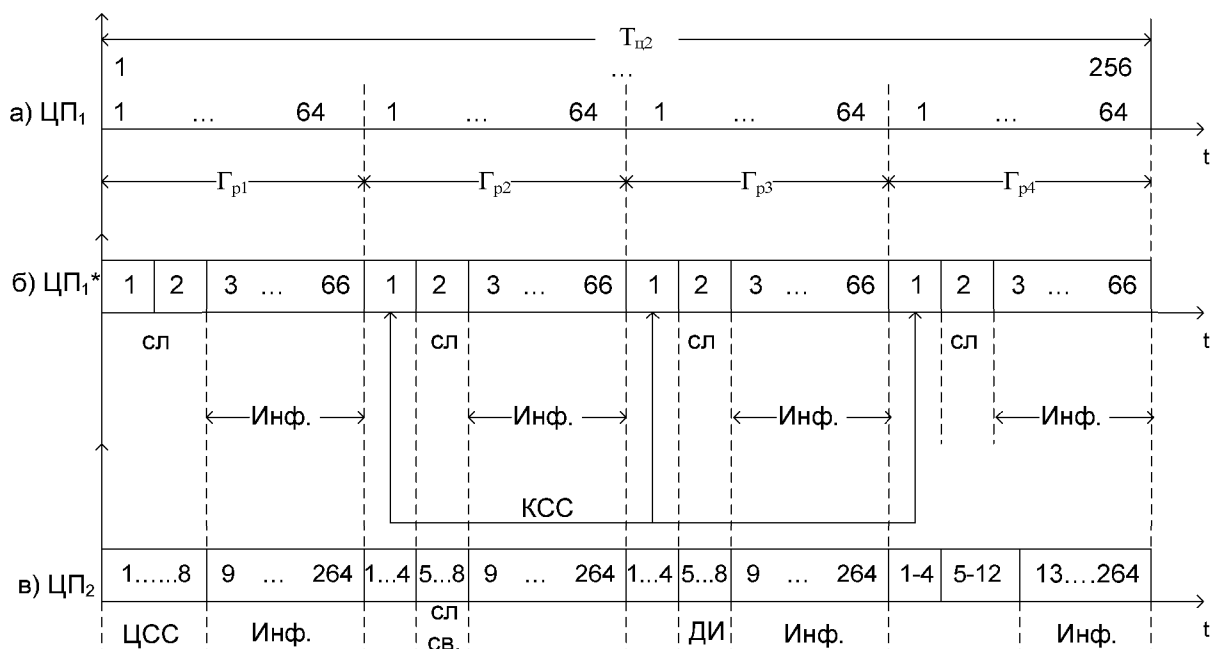


Рисунок 4 – Построение цикла передачи вторичного цифрового канала

В номинальном режиме в блок асинхронного согласования БАС (рисунок 5) за это время поступит первичный цифровой поток ЦП₁, который содержит в себе 256 информационных символов (рисунок 4, а). Для уменьше-

ния объема памяти БАС цикловой сигнал преобразованного цифрового потока ЦП₁^{*} на выходе БАС формируют в виде последовательности четырех подциклов (групп), нумеруемых соответственно Гр₁, Гр₂, Гр₃ и Гр₄. Каждая группа преобразованного ЦП₁^{*} на выходе БАС дополнительно содержит по два служебных символа (рис. 4, б), соответственно, каждая группа включает 66 импульсных позиций (ИП), а всего в цикле размещается 264 ИП.

Длительность каждой ИП равна $T_T^* = T_{ц2}/264$, а частота следования соответственно $f_{т1}^* = 1/T_T^* = 2112$ кГц, что равно 1/4 номинальной частоты вторичного ЦП₂. Для определения тактовой частоты преобразованного цифрового потока можно воспользоваться следующими выражениями:

$$f_m^* = \frac{N_n^*}{T_{цп}}, \quad (2)$$

где N_n^* – общее количество символов в преобразованном цифровом потоке;
 $T_{цп}$ – период цикла соответствующего цифрового потока.

$$f_m^* = \frac{N_n^*}{N_n} \cdot f_m, \quad (3)$$

Где N_n – общее количество символов в ЦП на входе БАС

f_m – тактовая частота ЦП на входе БАС.

В устройстве объединения УО (рис. 5) происходит посимвольное объединение четырех синхронных и синфазных ЦП₁^{*} вида рис. 4, б, которые имеют одинаковую структуру цикла и скорость передачи 2112 кбит/с. В результате этого происходит формирование вторичного цифрового потока со скоростью $f_{т2} = 8448 = 4 \cdot 2112$, кбит/с. Одновременно, во вторичный цифровой поток вводятся служебные символы (рис. 4, в):

- 8-битовая группа ЦСС на позициях циклового синхросигнала;
- 4-битовая группа для организации канала служебной связи;
- 4-битовая группа для организации канала передачи дискретной информации.

Распределение символов в 4-й группе зависит от режима работы оборудования.

На рисунке 5 показана обобщенная структурная схема устройства временного объединения.

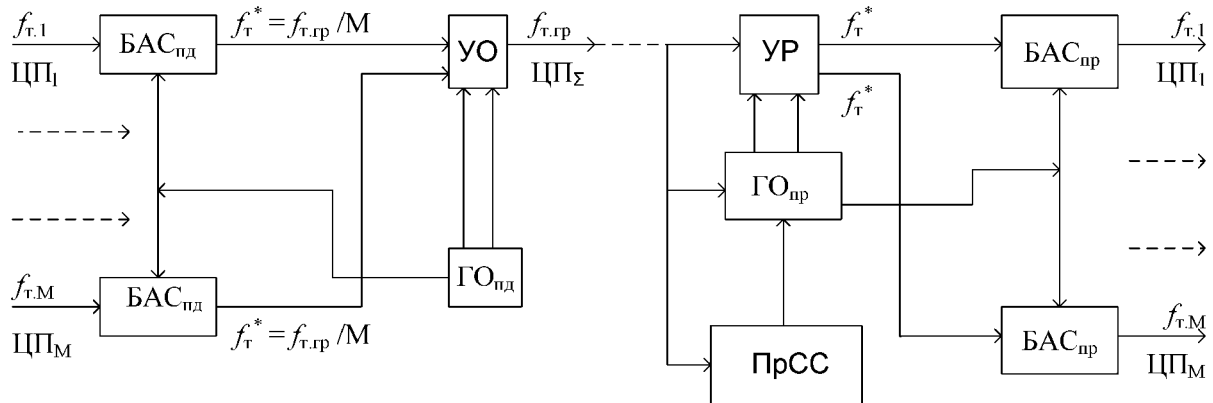


Рисунок 5 – Обобщенная структурная схема оборудования временного группообразования

Количество символов первичного цифрового потока на входе БАС определяется ПЦК, полученным в предыдущем пункте. Количество объединяемых ПЦК определяется из таблицы 4 в соответствии с вариантом. Количество и распределение служебных символов принимается по аналогии со стандартным вторичным цифровым потоком, рассмотренным в примере.

Информационная эффективность вторичного цифрового потока определяется по формуле 1. В качестве информационных символов принимаются символы первичного цифрового канала.

4. Цикл передачи третичного цифрового канала $T_{ц3}$ имеет период

$$T_{ц3} = 0,5 \cdot T_{ц2} = 62,5 \text{ мкс}$$

и делится на три подцикла (группы) длительностью $T_{гп3} = T_{ц3}/3$. При этом, общее количество символов ЦП₂ на входе БАС будет составлять

$$T_{ц3} \cdot f_{т2} = 528,$$

т.е. половину символов вторичного цифрового канала, а каждая группа, соответственно, номинально будет содержать по 176 ИП (рис. 6, а).

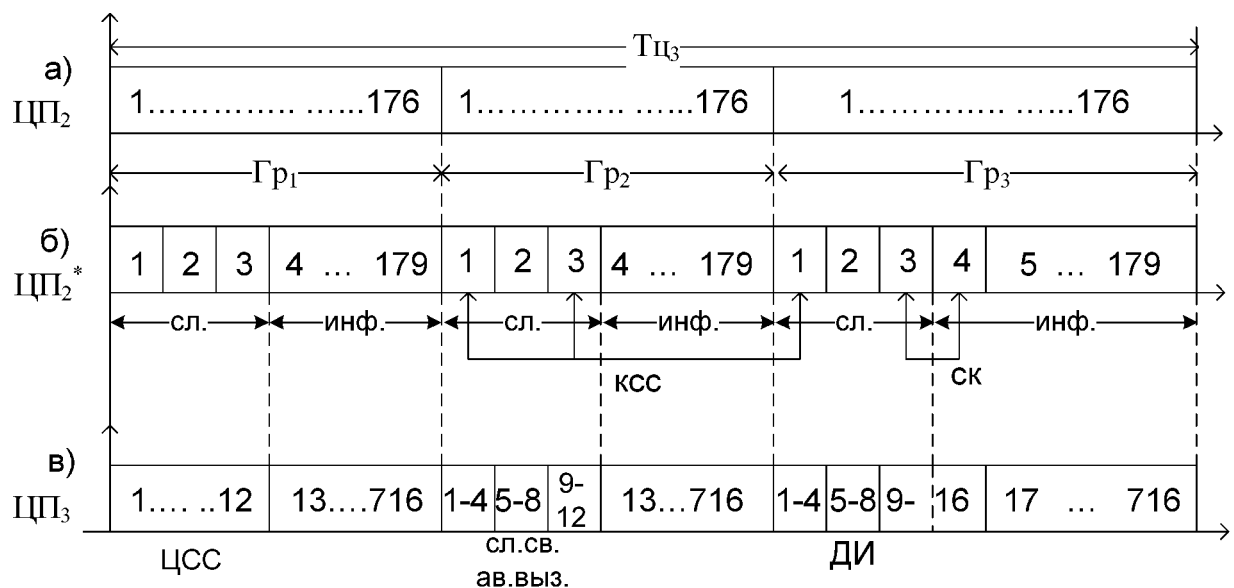


Рисунок 6 – Построение цикла передачи третичного цифрового канала

После преобразования в БАС в каждой группе дополнительно освобождается по три ИП для служебных целей, и получаемый преобразованный вторичный цифровой поток ЦП_2^* в каждой группе будет содержать по 179 ИП (рис. 6, б).

Четыре преобразованных вторичных потока ЦП_2^* затем посимвольно объединяются в третичный цифровой поток (рис. 6, в), у которого в каждой группе теперь насчитывается 716 ИП, при этом первые 12 позиций Гр_1 отданы для передачи сигнала цикловой синхронизации вида 111110100000, на позициях 5 и 6 в Гр_2 передается сигнал служебной связи, на позициях 5-8 в Гр_3 – сигнал дискретной информации, а на позициях 7 и 8 в Гр_2 – сигналы аварии и вызова. Позиции, отданные в третичном сигнале для передачи КСС и СК, нетрудно определить самостоятельно. Используя рисунок 6, можно убедиться, что тактовая частота преобразованного потока ЦП_2^* равна

$$f_{\text{т2}}^* = f_{\text{т2}} \cdot (179/176) = f_{\text{т2}} (1 + 3/176) = 8592 \text{ кбит/с.}$$

Тактовую частоту преобразованного цифрового потока ЦП_2^* можно также определить по формулам (2, 3).

Тактовая частота третичного потока соответственно будет равна

$$f_{\text{т3}} = 4 \cdot 8592 = 34\,368 \text{ кбит/с.}$$

Информационная эффективность третичного потока $\mathcal{E}_\Sigma$ определяется по формуле 1.

При решении задачи необходимо обратить внимание, что количество символов ЦП₂, поступающих в БАС, будет зависеть от вторичного цифрового потока, полученного ранее. Кратность мультиплексирования является стандартной и равна 4, но при этом помимо служебных позиций, предусмотренных стандартом, в каждой группе на выходе БАС необходимо сформировать по q_3 служебных позиций (таблица 3) для возможности реализации средств сетевого автоматического контроля и управления.

5. При формировании четверичного цифрового потока методом двухстороннего согласования скоростей цикл передачи составляет $T_{ц4} = T_{ц3} / 4 = 15,625$ мкс, при этом цикл разделяется на четыре подцикла (группы) длительностью $T_{ц4} = T_{ц3} / 4$. По аналогии с третичным цифровым потоком, можно определить количество символов ЦП₃, поступающих за это время в БАС, что составляет 537 символов, т.е. ровно в четыре раза меньше, чем в ЦП₃, полученном в предыдущем пункте (рис. 6, в). В отличие от предыдущих вариантов временного группообразования здесь количество символов в каждой группе на входе БАС различное, а цикл преобразованного цифрового потока ЦП₃^{*} строится по-разному для каждой группы (рис. 7, б).

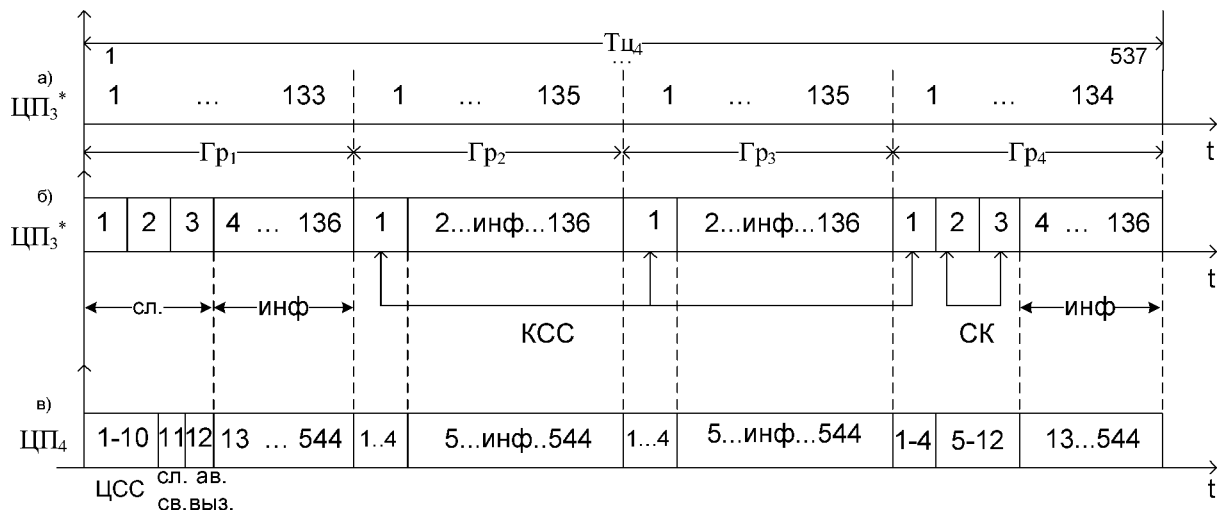


Рисунок 7 – Построение цикла передачи четверичного цифрового канала

Количество символов в каждой группе на выходе БАС одинаковое. В Gr_1 преобразованного ЦП₃^{*} первые три ИП остаются «пустыми» для служебных целей, а остальные (с 4 по 136) заняты информационными символами исходного ЦП₃. В Gr_2 и Gr_3 для служебных целей освобождается по одной

ИП₁, а в четвертой группе – первые две ИП. Таким образом, каждая группа преобразованного цифрового потока ЦП₃^{*} содержит по 136 ИП.

Тактовая частота преобразованного цифрового потока определяется по формуле 3 и составляет:

$$f_{т3}^* = f_{т3} (544/537) = f_{т3} (1 + 7/537) = 34\,816 \text{ кбит/с}$$

Четыре преобразованных третичных потока посимвольно объединяются в один четверичный (рис. 7, в), в результате чего в каждой группе размещается 544 символа. В Гр₁ на первых 10 позициях размещают цикловой синхросигнал, на 11-й позиции передают сигнал служебной связи, на 12-й – сигнал вызова и аварии.

Тактовая частота четверичного потока соответственно будет равна

$$f_{т4} = 4 \cdot 34\,816 = 139\,264 \text{ кбит/с.}$$

Информационная эффективность четверичного потока $\mathcal{E}_\Sigma$ определяется по формуле 1.

В контрольной работе при построении цикла передачи четверичного цифрового канала необходимо предусмотреть в Гр₂ и Гр₃ преобразованного цифрового потока по q₄ (таблица 3) ИП для организации канала служебных данных. Распределение и назначение остальных служебных символов и кратность мультиплексирования (4) соответствуют стандартному потоку Е4.

Уровни плезиохронной цифровой иерархии, и основные параметры цифровых каналов сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Иерархия ПЦИ (PDH)

Параметр \ ЦСП	Первичная	Вторичная	Третичная	Четверичная
Кратность мультиплексирования	30 (N)	4 (M ₁)	4	4
Скорость передачи сигнала, кбит/с	2 048	8 448	34 368	139 264
Дополнительные параметры	T _{сп}	$I_{\text{сл.св}}$ $I_{\text{ди}}$	I _{с3}	I _{с4}
Число каналов ТЧ	30	120	480	1920
Информационная эффективность	$\mathcal{E}_{\Sigma 1}$	$\mathcal{E}_{\Sigma 2}$	$\mathcal{E}_{\Sigma 3}$	$\mathcal{E}_{\Sigma 4}$

На основании построенных циклов цифровых потоков, определить информационную производительность канала служебной связи $I_{сл.св}$ и дискретной информации $I_{ди}$ организованных во вторичном цифровом канале, сформированного канала для средств сетевого автоматического контроля и управления $I_{сз}$ в третичном цифровом канале, и канала служебных данных $I_{с4}$ в четверичном цифровом канале. Вопрос определения информационной производительности источника информации приведен в разделе 1.1 лекций. Результаты занести в таблицу 4 (дополнительные параметры).

Ознакомившись с пояснениями и рекомендованным материалом, можно приступить к выполнению задачи.

Материалы выполняемой задачи должны содержать:

- циклы передачи полученных цифровых потоков (рис. 3, 4, 6, 7); на рисунках необходимо отобразить поля служебных и информационных бит в преобразованном цифровом потоке, и назначение служебных бит в групповом потоке;
- структурные схемы оборудования вторичного, третичного и четверичного временного группообразования (рис. 5), с указанием численных значений тактовых частот цифровых потоков на входе и выходе БАС и группового сигнала на выходе УО;
- необходимые пояснения и вычисления при формировании циклов цифровых потоков.

При построении циклов передачи полученных цифровых потоков на рисунках необходимо отобразить поля служебных и информационных символов, обозначить назначение служебных бит.

Рассчитанные параметры полученной плезиохронной цифровой иерархии свести в таблицу 4.

ЗАДАЧА 3

Составить письменный ответ на один из перечисленных ниже вопросов по материалу курса. Номер вопроса выбирается из таблицы 5.

Последняя цифра шифра	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	3	5	7	8	9	10	13	15	20
1	2	18	3	2	5	6	4	10	11	1
2	3	14	1	7	10	11	5	3	1	19
3	4	17	2	8	9	12	6	14	8	18
4	5	16	3	4	5	6	7	2	9	16
5	6	20	13	14	15	16	10	1	7	14
6	7	19	20	1	7	17	19	18	12	2
7	8	17	5	2	8	9	18	17	13	3
8	9	15	4	3	10	19	1	16	14	8
9	10	12	6	11	12	13	15	20	19	5

1. Основы технологии волнового мультиплексирования WDM.
2. Особенности применения систем DWDM.
3. Особенности применения систем CWDM.
4. Анализ оборудования систем DWDM.
5. Системы SDH нового поколения –NG-SDH.
6. Оборудование систем NG-SDH.
7. Основы технологии асинхронного режима передачи ATM.
8. Применение оборудования систем ATM.
9. Мультисервисные сети связи на базе технологии ATM.
10. Мультисервисные сети связи на базе технологии Ethernet.
11. Основы технологии MPLS. Принципы коммутации. Элементы архитектуры.
12. Сети связи нового поколения NGN.

13. Оборудование сетей связи нового поколения NGN.
14. Первичный цифровой канал E1. Физический уровень.
15. Первичный цифровой канал E1. Канальный уровень.
16. Синхронизация цифровых сетей. Стандарты и нормы синхронизации цифровых сетей связи.
17. Оборудование, используемой для синхронизации сети. Синхронизация цифровых сетей SDH.
18. Технологии измерений первичной сети.
19. Системы удаленного мониторинга оптических волокон RFTS.
20. Методы измерений в системах DWDM.

Рекомендуемая литература

1. Шмытинский В.В. Глушко В. П. Многоканальные системы передачи. М.:Маршрут, 2002. - 557 с.
2. Кирилов В. И. Многоканальные системы передачи. Учебник. М.: Новое знание, 2002.
3. Слепов Н.Н. Синхронные цифровые сети SDH. 4-е издание. М.:Эко-Трендз, 1999. 150 с.
4. Убайдуллаев Р. Р. Волоконно-оптические сети. М.:Эко-Трендз, 2001 г. 267 с.
5. Иванов А. Б. Волоконная оптика: компоненты, системы передачи, измерения. – ДМ.: Компания САЙРУС СИСТЕМС, 1999.
6. Р. Фриман. Волоконно-оптические системы связи (4-е, дополненное издание). М.: Эко-Трендз, 2007. 512 с.
7. Бейли Д., Райт Э. Волоконная оптика: теория и практика. .: Эко-Трендз, 2008, 320 стр.
8. Фокин В.Г. Оптические системы передачи и транспортные сети. Учебное пособие. М.: Эко-Трендз, 2008, 288 стр.
9. Бакланов И. Г. SDH - NGSDH: практический взгляд на развитие транспортных сетей. М.: Эко-Трендз, 2006, 720 стр.
10. Семенов. Ю. В. Проектирование сетей связи следующего поколения. М.: ОАО «ГИПРОСВЯЗЬ», 2005, 240 стр.
11. Бакланов И. Г. NGN: принципы построения и организации. М.: Эко-Трендз, 2008, 400 стр.
12. Бакланов И. Г. Технологии измерений первичной сети. Часть 1. Системы E1, PDH, SDH. М.: Эко-Трендз, 2002, 142 стр.
13. Скляр, Бернард. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Изд. 2-е, испр. : пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.