



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ**

МАРЫКОВА Л. А.

**ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ
ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ**

Методическая разработка к курсовой работе

Самара – 2015

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»**

Кафедра систем связи

МЕТОДИЧЕСКАЯ РАЗРАБОТКА

к курсовой работе

по дисциплине

«ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СЕТЕЙ»

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

Составила доц. каф. СС Марыкова Л.А.

Самара 2015

Дисциплина «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» (ОПИКС и С) преподается студентам очной полной формы обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» на 2 курсе в 4 семестре и на 2 курсе в 3 семестре ускоренной подготовки. Изучение дисциплины ОПИКС и С базируется на обеспечивающих курсах: теория электрической связи (ТЭС), теория электрических цепей (ТЭЦ) и цикла технических дисциплин, которые изучались студентами ранее.

В итоге изучения дисциплины студенты должны знать основные закономерности передачи информации в системах связи, основные виды сигналов, используемых в телекоммуникационных системах, особенности передачи различных сигналов по каналам и трактам телекоммуникационных систем; принципы, основные алгоритмы и устройства цифровой обработки сигналов; принципы построения телекоммуникационных систем различных типов и способы распределения информации в сетях связи; современные и перспективные направления развития телекоммуникационных сетей и систем.

Курсовая работа по дисциплине ОПИКС и С должна привить студентам навыки расчетов параметров и характеристик сигналов, каналов и трактов инфокоммуникационных систем и сетей.

Курсовая работа по дисциплине ОПИКС и С содержит задания, соответствующие разделам изучаемой дисциплины и выполняется студентами по индивидуальным вариантам. Номер варианта курсовой работы определяется студентом по номеру студенческого билета. Решения задач обязательно сопровождаются пояснениями и ссылками на литературу. Список литературы, использованной при выполнении контрольных заданий, приводят в конце курсовой работы.

ЗАДАНИЯ К КУРСОВОЙ РАБОТЕ

Задание №1 - Уровни передачи и затухания четырехполюсников

Определить уровень сигнала на входе схемы, изображенной на рисунке 1, а также мощность и уровень сигнала на выходе схемы, если первый четырехполюсник вносит затухание a_1 , а второй четырехполюсник усиливает сигнал с коэффициентом усиления K_2 .

Исходные данные возьмите в таблице 1.

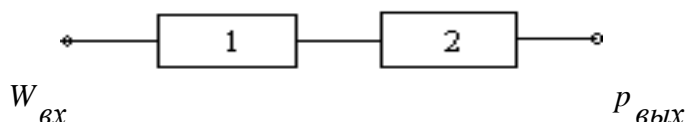


Рис. 1 - К расчету уровня сигнала

Таблица 1 – Исходные данные к заданию №1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Мощность сигнала на входе, $W_{вх}$, мВт	0,1	0,125	0,2	0,25	0,5	2	4	5	8	10
Затухание первого четырехполюсника, a_1 , дБ	12	7	16	17	27	13	23	14	26	24
Коэффициент усиления второго четырехполюсника, K_2	40	20	5	4	2	1/2	1/4	1/5	1/20	1/40

Методические указания к выполнению задания №1

Уровни передачи по мощности, напряжению и току могут быть **относительными** или **абсолютными** в зависимости от того, какие значения имеют W_o , U_o , I_o . Если за исходные приняты следующие величины: мощность $W_o = 1$ мВт, напряжение $U_o = 0,775$ В и ток $I_o = 1,29$ мА при сопротивлении в точке отсчета $R_o = 600$ Ом, то уровни передачи называются абсолютными. Абсолютные уровни обычно обозначаются следующим образом: p_m , p_n , p_t . Если же принятые за исходные величины W_o , U_o , I_o , будут произвольными, то уровни называются относительными ($p_{ом}$, $p_{он}$, $p_{от}$).

Абсолютный уровень называется **измерительным**, если на вход канала или тракта передачи подан синусоидальный сигнал генератора определенной для данного канала частоты с внутренним активным сопротивлением $R_c = 600$ Ом и ЭДС равной $E_c = 1,55$ В.

Абсолютные уровни по мощности, напряжению и току определяются согласно выражениям:

$$p_m = 10 \lg \frac{W}{W_o}, \text{ (дБ), } W_o = 1 \text{ мВ,}$$

$$p_n = 20 \lg \frac{U}{U_o}, \text{ (дБ), } U_o = 0,775 \text{ В,}$$

$$p_t = 20 \lg \frac{I}{I_o}, \text{ (дБ), } I_o = 1,29 \text{ мА при } R_o = 600 \text{ Ом.}$$

И обратно, по известным уровням p_m , p_n , p_t можно рассчитать W , U , I :

$$W = W_o \cdot 10^{\frac{p_m}{10}} = 10^{\frac{p_m}{10}}, \text{ (мВт),}$$

$$U = U_o \cdot 10^{\frac{p_n}{20}} = 0,775 \cdot 10^{\frac{p_n}{20}}, \text{ (В),}$$

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{p_I}{20}} = 1,29 \cdot 10^{\frac{p_I}{20}}, (\text{мА}).$$

1. Известно, что $p_{m1} > p_{m2}$. Верно ли, что $W_1 > W_2$?
2. Известно, что $p_{n1} > p_{n2}$. Верно ли, что $U_1 > U_2$?

Для доказательства этого обратимся к графику логарифмической функции, изображенному на рисунке 2.

В случае уровней по мощности:

$$x = \frac{W}{1 \text{ мВт}}, \quad y = 10 \lg x = p_m,$$

а в случае уровней по напряжению:

$$x = \frac{U}{0,775 \text{ В}},$$

$$y = 20 \lg x = p_n.$$

Из этого графика следует, что при возрастании W и U возрастают p_m и p_n .

Из графика логарифмической функции видно, что если:

$$1) \quad p_m > 0, \text{ то } W > 1 \text{ мВт},$$

$$p_m < 0, \text{ то } W < 1 \text{ мВт},$$

$$p_m = 0, \text{ то } W = 1 \text{ мВт}.$$

$$2) \quad p_n > 0, \text{ то } U > 0,775 \text{ В},$$

$$p_n < 0, \text{ то } U < 0,775 \text{ В},$$

$$p_n = 0, \text{ то } U = 0,775 \text{ В},$$

$$3) \quad W = U = 0, \text{ то } p_m = p_n = -\infty.$$

Собственное затухание четырехполюсника определяется выражением:

$$\alpha = 10 \lg \frac{W_{BX}}{W_{BYX}} = 10 \lg \frac{1}{K_W}, (\text{дБ}),$$

а усиление четырехполюсника определяется выражением:

$$S = 10 \lg \frac{W_{BYX}}{W_{BX}} = 10 \lg K_W, (\text{дБ}),$$

$$\alpha = -S, (\text{дБ}),$$

$$S = -\alpha = P_{m \text{ в вх}} - P_{m \text{ в ых}}, (\text{дБ}),$$

$$\alpha = P_{m \text{ в ых}} - P_{m \text{ в вх}}, (\text{дБ}).$$

Затухание совокупности каскадно-включенных четырехполюсников α_Σ равно сумме затуханий этих четырехполюсников:

$$\alpha_\Sigma = \sum_{i=1}^n \alpha_i.$$

Усиление совокупности каскадно-включенных четырехполюсников S_Σ равно сумме усилений этих четырехполюсников:

$$S_\Sigma = \sum_{i=1}^n S_i.$$

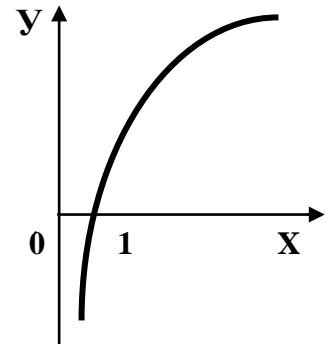


Рис.2

Если известны величины α , S или α_n и S_n , то можно определить соответствующие им коэффициенты передачи по мощности K_W и напряжению K_n :

$$K_W = 10^{\frac{-\alpha}{10}} = 10^{10},$$

$$K_n = 10^{\frac{\alpha_n}{20}} = 10^{20}.$$

Пример 1. Известно, что четырехполюсник усиливает сигналы по мощности в 2 раза. Определить затухание и усиление этого четырехполюсника.

Решение.

По условию задачи $\frac{W_{ВЫХ}}{W_{ВХ}} = 2$.

Значит, $\alpha = 10 \lg \frac{W_{ВХ}}{W_{ВЫХ}} = 10 \lg 0,5 = -3$ дБ,

$$S = -\alpha = 3 \text{ дБ.}$$

Пример 2. Известны величины сопротивлений делителя напряжения (рис.3): $R_1 = 9k\Omega$, $R_2 = 1k\Omega$.

Определить затухание по напряжению, вносимое делителем.

Решение.

Легко показать, что

$$\frac{U_{ВХ}}{U_{ВЫХ}} = \frac{R_1 + R_2}{R_2}.$$

Тогда:

$$\alpha_n = 20 \lg \frac{U_{ВХ}}{U_{ВЫХ}} = 20 \lg 10 = 20 \text{ дБ.}$$

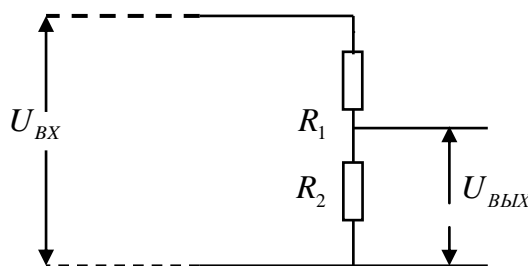


Рис. 3

Пример 3. Известны усиление четырехполюсника $S = 10$ дБ и уровень сигнала на его выходе $p_{мвых} = 5$ дБ. Определить уровень сигнала на входе.

Решение.

$$p_{мвх} = p_{мвых} - S = 5 - 10 = -5 \text{ дБ.}$$

ВНИМАНИЕ! Правильность расчетов можно легко контролировать, если учитывать, что при усилении сигналов $p_{мвх} < p_{мвых}$, а при их ослаблении $p_{мвх} > p_{мвых}$. Значит, в примере №2 затухание четырехполюсника $\alpha > 0$, а в примере №3 $p_{мвх} < p_{мвых}$.

Пример 4. Известны затухания (усиления) четырехполюсников, изображенных на рисунке 4, и уровни сигналов на входе и выходе схемы:

$$\alpha_1 = 10 \text{ дБ, } S_2 = 5 \text{ дБ, } p_{мвх} = -15 \text{ дБ, } p_{мвых} = 10 \text{ дБ.}$$

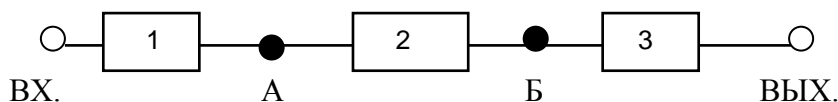


Рис. 4

Определить затухание третьего четырехполюсника.

1-й способ:

а) определим уровень сигнала в точке А.

$$p_A = p_{\text{вх}} - \alpha_1 = -25 \text{ дБ.}$$

б) определим уровень сигнала в точке Б.

$$p_B = p_A + S_2 = -20 \text{ дБ.}$$

в) определим затухание третьего четырехполюсника.

$$\alpha_3 = p_B - p_{\text{вых}} = -30 \text{ дБ.}$$

Таким образом, этот четырехполюсник усиливает сигналы: $S_3 = 30 \text{ дБ.}$

2-й способ:

а) Определим затухание, вносимое совокупностью первого и второго четырехполюсников, которое обозначим через $\alpha_{12} = \alpha_1 + \alpha_2 = \alpha_1 - S_2 = 5 \text{ дБ.}$

б) Определим затухание, вносимое совокупностью всех трех четырехполюсников, которое обозначим через $\alpha_{123} = p_{\text{вх}} - p_{\text{вых}} = -15 - 10 = -25 \text{ дБ.}$

в) Определим затухание, вносимое третьим четырехполюсником:

$$\alpha_3 = \alpha_{123} - \alpha_{12} = -30 \text{ дБ.}$$

Как видно из последних примеров, для определения уровней в разных точках схемы мы используем математические операции сложения и вычитания.

При этом всегда учитывайте, что если сигналы усиливаются четырехполюсником, то

$$S > 0 \text{ и } p_{\text{вх}} < p_{\text{вых}};$$

если сигналы ослабляются четырехполюсником, то

$$\alpha > 0 \text{ и } p_{\text{вх}} > p_{\text{вых}}.$$

Пример 5. Известно, что четырехполюсник ослабляет сигналы по мощности в 2 раза. Требуется определить $p_{\text{вых}}$, если $p_{\text{вх}} = -10 \text{ дБ.}$

$$\text{Верно ли, что } p_{\text{вых}} = \frac{1}{2} p_{\text{вх}} = -5 \text{ дБ?}$$

Ответ: нет, это грубая ошибка. Уровни нельзя умножать (делить). Необходимо определить затухание четырехполюсника, а затем уровень $p_{\text{вых}}$.

$$\alpha = 10 \lg \frac{W_{\text{ВХ}}}{W_{\text{ВЫХ}}} = 10 \lg \frac{1}{K_W} = 10 \lg 2 = 3 \text{ дБ.}$$

$$p_{\text{вых}} = p_{\text{вх}} - \alpha = -10 - 3 = -13 \text{ дБ.}$$

Пример 6. Два генератора работают на одну нагрузку. Уровень сигнала, создаваемый в нагрузке первым генератором, $p_{\text{м1}} = 10 \text{ дБ}$, уровень сигнала, создаваемый в нагрузке вторым генератором, $p_{\text{м2}} = -10 \text{ дБ}$. Необходимо определить уровень сигнала в нагрузке p_{Σ} при одновременной работе двух генераторов.

$$\text{Верно ли, что } p_{\Sigma} = p_{\text{м1}} + p_{\text{м2}} = 0 \text{ дБ?}$$

Ответ: нет, не верно!

Складывать уровни сигналов нельзя. Сигналы суммируются по мощности.

Для правильного определения p_{Σ} найдем мощности сигналов, создаваемые в нагрузке каждым генератором. Уровню $p_{\text{м1}} = 10 \text{ дБ}$ соответствует мощность $W_1 = 10 \text{ мВт}$. Уровню $p_{\text{м2}} = -10 \text{ дБ}$ соответствует мощность $W_2 = 0,1 \text{ мВт}$. Суммарная мощность сигнала, выделяемая в нагрузке, равна:

$$W_{\Sigma} = W_1 + W_2 = 10,1 \text{ мВт.}$$

$$\text{Отсюда } p_{\Sigma} = 10 \lg \frac{10,1 \text{ мВт}}{1 \text{ мВт}} = 10,3 \text{ дБ.}$$

Между уровнями по мощности и уровнями по напряжению существует взаимная связь.

Допустим, на сопротивлении R действует сигнал с уровнем по мощности $p_{\text{м}}$. Тогда:

$$p_m = 10 \lg \frac{W}{W_0} = 10 \lg \frac{U^2 \frac{R}{U_0^2}}{\frac{R_0}{R}} = 20 \lg \frac{U}{U_0} + 10 \lg \frac{R_0}{R} = p_n + 10 \lg \frac{R_0}{R}.$$

- 1) $R = 600 \text{ Ом}$, то $p_n = p_m$;
- 2) $R > 600 \text{ Ом}$, то $p_n > p_m$;
- 3) $R < 600 \text{ Ом}$, то $p_n < p_m$.

Между усилением (затуханием) четырехполосника и его усилением (затуханием) по напряжению имеется взаимная связь.

$$S = 10 \lg \frac{W_{\text{ВЫХ}}}{W_{\text{ВХ}}} = 10 \lg \frac{\frac{U^2_{\text{ВЫХ}}}{R_n}}{\frac{U^2_{\text{ВХ}}}{R_n}} = 20 \lg \frac{U_{\text{ВЫХ}}}{U_{\text{ВХ}}} + 10 \lg \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_n} = S_m + 10 \lg \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_n}.$$

Аналогично
$$\alpha = \alpha_H - 10 \lg \frac{R_{\text{ВХ}}}{R_n}.$$

Пример 7. Даны уровни сигнала по напряжению $p_{\text{н вх}} = 15 \text{ дБ}$ и $p_{\text{н вых}} = 2 \text{ дБ}$. Известно, что $R_{\text{вх}} = 600 \text{ Ом}$; $R_{\text{вых}} = 300 \text{ Ом}$. Чему равно затухание четырехполосника?

$$\alpha = \alpha_H - 10 \lg \frac{R_{\text{вх}}}{R_{\text{вых}}} = p_{\text{н вх}} - p_{\text{н вых}} - 10 \lg \frac{600}{300} = 15 - 2 - 3 = 10 \text{ дБ}.$$

Запомнить:

1) Задание уровней сигналов, например, p_m и p_n , эквивалентно заданию их мощности и напряжения.

Если $p_m = 0 \text{ дБ}$ или $p_n = 0 \text{ дБ}$, то соответствующие им мощность и напряжение равны: $W = 1 \text{ мВт}$, $U = 0,775 \text{ В}$.

2) Чем больше уровни сигналов по мощности и напряжению, тем больше соответствующие мощности и напряжение.

3) Затухание (усиление) четырехполосников по мощности и напряжению характеризует их способность ослаблять (усиливать) сигналы. О затухании (усилении) четырехполосников можно судить по разности уровней входных и выходных сигналов. При этом всегда надо помнить, что если четырехполосник вносит затухание, т.е. ослабляет сигналы, то $\alpha > 0$ и $S < 0$, $p_{\text{м вх}} > p_{\text{м вых}}$; если четырехполосник усиливает сигналы, то $S > 0$ и $\alpha < 0$, $p_{\text{м вх}} < p_{\text{м вых}}$.

4) Усиление (ослабление) сигналов по мощности в 10 раз соответствует возрастанию (уменьшению) уровня сигнала по мощности на 10 дБ, усиление (ослабление) сигналов по напряжению в 10 раз соответствует возрастанию (уменьшению) уровня сигнала по напряжению на 20 дБ.

Для приближенных расчетов нужно запомнить соотношения:

Таблица 2

W_x / W_0	1000	100	10	5	2	1,25	0,8	0,5	0,1	0,01
p_m , дБ	30	20	10	7	3	1	-1	-3	-10	-20

Пример 8. Чему равна мощность сигнала, если его уровень $p_m = 23 \text{ дБ}$?

$$p_m = (20 + 3) \text{ дБ};$$

$$W = 1 \times 100 \times 2 = 200 \text{ мВт}.$$

Во сколько раз изменился сигнал, если его уровень на входе 4-х полюсника равен 20 дБ, а на выходе 23 дБ. Увеличился в два раза.

Чему равна мощность сигнала, если его уровень $p_m = 17 \text{ дБ}$?

$$p_m = (20 - 3) \text{ дБ};$$

$$W = 1 \times 100 : 2 = 50 \text{ мВт}.$$

Задание №2 – Диаграмма уровней канала передачи

1. Рассчитать и построить внешнюю диаграмму измерительных уровней канала передачи, структурная схема которого приведена на рис.5.

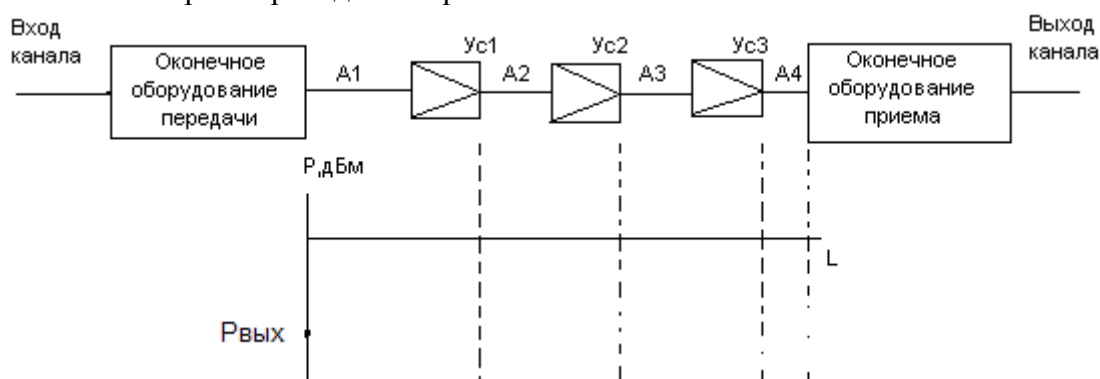


Рис. 5

2. Определить мощность, напряжение и абсолютные уровни напряжения и мощности измерительного сигнала на входе первого промежуточного усилителя Ус1, если его входное сопротивление равно $R_{вх}$.

Определить, во сколько раз мощность сигнала на входе первого промежуточного усилителя Ус1 меньше мощности сигнала на выходе оконечного оборудования передачи.

3. Рассчитать остаточное затухание канала, если измерительный уровень на его выходе составляет $p_{к\ вых}$, сравните вычисленное значение с номинальным.

Таблица 3

Исходные данные к заданию №2

Номер варианта		1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Усиления промежуточных усилителей	S_1 , дБ	37	35	30	33	32	34	38	31	36	39
	S_2 , дБ	30	34	31	37	29	36	39	35	32	33
	S_3 , дБ	38	31	39	36	34	35	29	32	33	28
Измерительный уровень на выходе оконечного оборудования передачи, $P_{пер}$, дБм.		-6	-10	-15	-8	-18	-7	-11	-13	-9	-12
Входное сопротивление усилителя, $R_{вх}$, Ом		130	74	160	75	50	150	170	60	135	140
Затухание участка цепи	A_1 , дБ	34	38	37	31	30	38	32	29	30	31
	A_2 , дБ	35	30	31	34	33	31	33	37	33	32
	A_3 , дБ	31	31	33	37	38	32	36	36	37	36
	A_4 , дБ	30	33	32	28	34	33	29	36	32	35
Измерительный уровень на вых. канала, $P_{к\ вых}$, дБ		-7,0	-8,5	-6,7	-7,4	-6,9	-7,1	-7,3	-8,3	-7,3	-6,2

Методические указания к выполнению задания №2

Диаграмма уровней (ДУ) сигналов служит, чтобы охарактеризовать изменения уровня мощности или напряжения сигнала при его прохождении по каналам и трактам. Диаграмма уровней – это график, показывающий распределение уровней передаваемого сигнала при его прохождении по элементам оборудования каналов и трактов.

В качестве примера на рис. 6 показана диаграмма уровней канала, состоящего из

передатчика (Пер), уровень выходной мощности которого составляет $p_m = 3$ дБ (мощность $W = 2$ мВт), трех участков линии связи (среды распространения) длиной l_1, l_2, l_3 с соответствующим затуханием, двух промежуточных усилителей УС1, УС2 с усилением S_1 и S_2 , приемника (Пр) с входным усилителем.

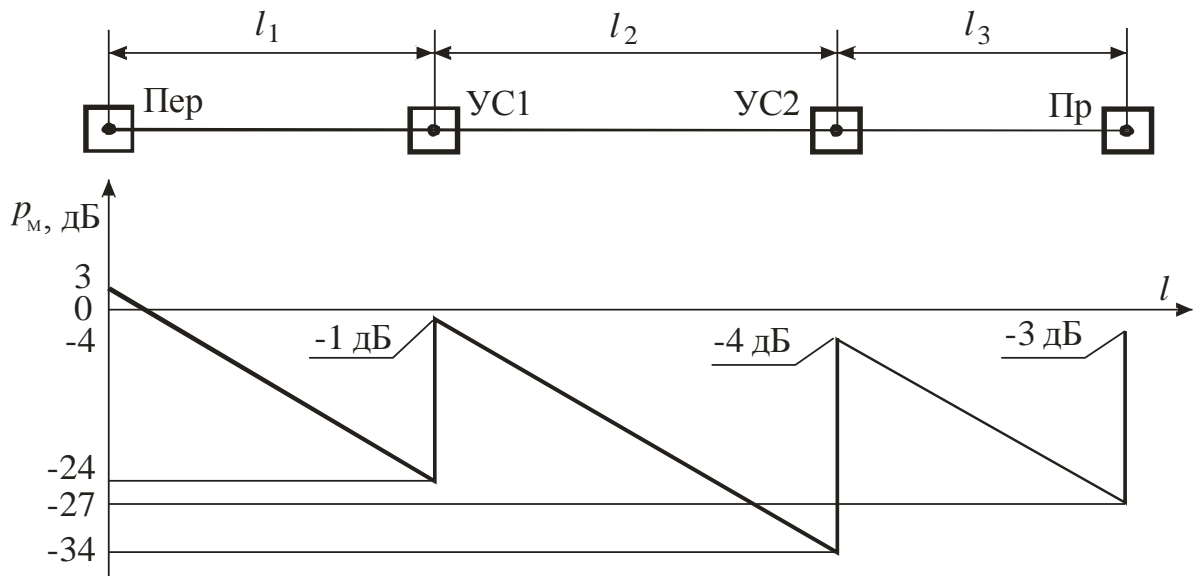


Рис. 6

На первом участке l_1 уровень сигнала снижается с 3 дБ до -24 дБ, т.е. линия вносит затухание в 27 дБ, т.о. затухание на участке l_1 составляет $a_1 = 27$ дБ. На втором участке затухание $a_2 = 33$ дБ, на третьем – затухание $a_3 = 23$ дБ. Первый промежуточный усилитель УС1 повышает уровень сигнала на 23 дБ, т.е. его усиление составляет $S_1 = 23$ дБ, второго усилителя – $S_2 = 30$ дБ, входного усилителя приемника – $S_{пр} = 24$ дБ.

Остаточное затухание тракта равно разности сумм всех рабочих затуханий пассивных элементов тракта и всех рабочих усиления активных устройств, имеющих в канале:

$$a_0 = p_{вх} - p_{вых} = \sum_{i=1}^k a_i - \sum_{j=1}^l S_j$$

Таким образом, при определении остаточного затухания или усиления всего канала операция умножения заменяется операцией сложения, если усиления и затухания заданы в относительных единицах (дБ).

Остаточное затухание тракта передачи будет равно:

$$a_0 = (a_1 + a_2 + a_3) - (S_1 + S_2 + S_{пр}) = 6 \text{ дБ.}$$

Следовательно, мощность сигнала после его усиления входным усилителем приемника будет в 4 раза меньше мощности сигнала на выходе передатчика (уровень меньше на 6 дБ). Эта мощность составляет $W = 0,5$ мВт, а уровень мощности $p_m = -3$ дБ.

Задание №3 - Основные характеристики первичных сигналов

Задание 3.1. Определить помехозащищенность первичного сигнала, если известны: его динамический диапазон D_c , максимальная мощность $W_c \text{ max}$, уровень помех, действующих в канале $p_{п}$.

Таблица

Исходные данные к заданию №3.1

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
D_c , дБ	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40
$W_c \text{ max}$, мВт	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$p_{п}$, дБ	-50	-51	-52	-52	-53	-54	-55	-56	-57	-58

Задание 3.2. Определить объем первичного сигнала, если известны его эффективно передаваемая полоса частот ΔF_c , длительность T_c , его максимальная и минимальная мощности $W_c \text{ max}$, $W_c \text{ мин}$.

Таблица 5

Исходные данные к заданию №3.2

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
ΔF_c , кГц	0,3...3,4	0,4... 3,4	0...4	0,3...3,4	0,4... 3,4	0...4	0,3...3,4	0,4... 3,4	0...4	0,3...3,4
T_c , с	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
$W_c \text{ max}$, мВт	100	99	98	97	98	99	100	101	102	103
$W_c \text{ мин}$, мВт	1	2	3	4	3	2	1	2	3	4

Задание 3.3. Определить динамический диапазон первичного сигнала, если известны максимальный уровень сигнала $p_c \text{ max}$, помехозащищенность сигнала A_z , действующая мощность помех $W_{пом}$.

Таблица 6

Исходные данные к заданию №3.3

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
$p_c \text{ max}$, дБ	15	14	13	15	14	13	15	14	13	15
A_z , дБ	30	31	32	33	34	33	32	31	30	29
$W_{пом}$, мВт	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-6}$	10^{-6}	$2 \cdot 10^{-6}$	$4 \cdot 10^{-6}$	$6 \cdot 10^{-6}$

Методические указания к выполнению задания №3

Электрическая связь предполагает преобразование сообщений в электрические сигналы.

При передаче телефонных сообщений и вещания первичными преобразователями являются микрофоны, телеграфных – телеграфные аппараты, телевидения – телевизионные передающие камеры и т.д.

Сигналы, формируемые первичными преобразователями, называются сигналами – оригиналами.

Информационные сигналы передаются по каналам связи (передачи) между промежуточными или оконечными пунктами телекоммуникационных сетей, поэтому основные характеристики каналов связи должны соответствовать характеристикам передаваемых сигналов,

чтобы сигнал передавался по каналу с минимальными (допустимыми) искажениями.

Информационный сигнал характеризуется следующими основными параметрами:

1. $F_c = F_{c \max} \dots F_{c \min}$ – полоса частот занимаемая сигналом.

2. $\Delta F_c = F_{c \max} - F_{c \min}$ – ширина полосы частот первичного сигнала.

3. $D_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\min}} = p_{c \max} - p_{c \min}$ – динамический диапазон сигнала.

4. $Q_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{cp}}$ – пик-фактор первичного сигнала.

5. $q_c = \frac{W_{\max}}{W_{cp}} = 10^{0.1 Q_c}$ – пик-фактор в безразмерных величинах.

6. $A_3 = 10 \lg \frac{W_{\min}}{W_{\Pi}} = p_{c \min} - p_{\Pi}$ – защищенность сигнала с минимальной мощностью P_{\min} от

помех имеющих мощность P_{Π} .

7. $V_c = \Delta F_c \cdot T_c \cdot D_c$ – объем сигнала передаваемый в течении времени T_c .

8. $J_c = 3.32 \cdot \Delta F_c \cdot \lg \left(1 + \frac{W_{CP}}{W_{\Pi}} \right)$ – производительность источника сигнала или количество

информации.

9. $D_c = 10 \lg \left(\frac{W_{\max}}{W_{\min}} \right) = 10 \lg \left(\frac{W_{\max}}{W_{\min}} \cdot \frac{W_{CP}}{W_{CP}} \right) = 10 \lg \left(\frac{W_{\max}}{W_{CP}} \right) + 10 \lg \left(\frac{W_{CP}}{W_{\min}} \right) = Q_c + 10 \lg N_c$, где

$$N_c = \frac{W_{CP}}{W_{\min}}.$$

Пример 1. На выходе канала имеется сигнал с известными параметрами:

$\Delta F_c = 3.1 \text{ кГц}$, $D_c = 40 \text{ дБ}$, $Q_c = 5 \text{ дБ}$, $W_{\max} = 8 \text{ мВт}$. На выходе канала имеется также помеха с мощностью $W_{\Pi} = 5000 \text{ нкВт}$.

Найти A_3 и J_c .

Решение.

1. Для определения защищенности воспользуемся формулой (6).

$$A_3 = 10 \lg \frac{W_{\min}}{W_{\Pi}} = p_{c \min} - p_{\Pi}.$$

В этой формуле неизвестна минимальная мощность сигнала $W_{c \min}$. Ее можно выразить из формулы (3).

$$D_c = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\min}} = p_{c \max} - p_{c \min}.$$

Отсюда $\frac{W_{\max}}{W_{\min}} = 10^{0.1 D_c}$; $W_{c \min} = W_{\max} \cdot 10^{-0.1 D_c}$.

Подставив последнее выражение в (6), получим:

$$A_s = 10 \lg \frac{W_{\max} \cdot 10^{-0.1D_c}}{W_{\Pi}} = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\Pi}} + 10 \lg 10^{-0.1D_c} =$$

$$= 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\Pi}} - D_c = 10 \lg \frac{8 \text{ мВт}}{5000 \cdot 10^{-9} \text{ мВт}} - 40 = 22,04 \text{ дБ}.$$

2. Для нахождения производительности источника или количества содержащейся информации в единицу времени на выходе канала (J_c) воспользуемся формулой (8).

$$J_c = 3.32 \cdot \Delta F_c \cdot \lg \left(1 + \frac{W_{CP}}{W_{\Pi}} \right).$$

Обратите внимание на то, что в эту формулу входит мощность помехи W_{Π} в знаменателе. Чем больше будет мощность помехи, тем меньше количество информации содержится в сигнале. Это объясняется увеличением ошибок в принятом сигнале. В формуле (8) неизвестна средняя мощность W_{CP} сигнала. Для ее нахождения воспользуемся формулой (5).

$$q_c = \frac{W_{\max}}{W_{CP}}; \quad \text{отсюда } W_{CP} = \frac{W_{\max}}{q_c} = W_{\max} \cdot \frac{1}{10^{0.1Q_c}}.$$

Подставив найденное значение W_{CP} в формулу (8), найдем:

$$J_c = 3.32 \cdot \Delta F_c \cdot \lg \left(1 + \frac{W_{\max} \cdot 10^{-0.1Q_c}}{W_{\Pi}} \right) = 3.32 \cdot 3100 \cdot \lg \left(1 + \frac{8 \text{ мВт} \cdot 10^{-0.1 \cdot 5}}{5000 \cdot 10^{-9} \text{ мВт}} \right) = 36249 \text{ бит/с}.$$

Пример 2. Задан сигнал с параметрами:

$$\Delta F_c = 4000 \text{ Гц}; \quad T_c = 8 \text{ с}; \quad Q_c = 5 \text{ дБ}; \quad N_c = 5.$$

Определить объем сигнала V_c .

Решение.

Для определения объема сигнала воспользуемся формулой (7):

$$V_c = \Delta F_c \cdot T_c \cdot D_c.$$

В этой формуле неизвестен динамический диапазон сигнала D_c , но его можно найти по формуле (9).

$$D_c = Q_c + 10 \lg N_c = 5 + 10 \lg 5 = 5 + 7 = 12 \text{ дБ}.$$

Отсюда:

$$V_c = \Delta F_c \cdot T_c \cdot D_c = 4000 \cdot 8 \cdot 12 = 384000 \text{ Гц} \cdot \text{с} \cdot \text{дБ}.$$

Пример 3. Сигнал имеет следующие параметры:

$$D_c = 50 \text{ дБ}, \quad W_{\min} = 0.3 \text{ мВт}, \quad W_{CP} = 30 \text{ мВт}.$$

Найти пик-фактор сигнала Q_c .

Решение.

Пик-фактор сигнала можно определить из формулы (9):

$$D_c = Q_c + 10 \lg N_c, \quad \text{отсюда } Q_c = D_c - 10 \lg N_c.$$

В последней формуле неизвестно N_c , которое найдем из формулы:

$$N_c = \frac{W_{CP}}{W_{\min}} = \frac{30}{0.3} = 100.$$

Таким образом:

$$Q_c = D_c - 10 \lg N_c = 50 - 10 \lg 100 = 30 \text{ дБ}.$$

Пример 4. Информационная ёмкость (количество информации) сигнала на входе канала $J_C = 15000$ бит./сек. Как изменится количество информации, содержащейся в сигнале, если его пропустить через канал с параметрами:

$$D_K = 20 \text{ дБ}, \Delta F_K = 1500 \text{ Гц}, A_3 = 10 \text{ дБ}, Q_C = 8 \text{ дБ}.$$

Решение.

Для того чтобы найти количество информации, содержащейся в сигнале на выходе канала в единицу времени, воспользуемся формулой (8).

$$J'_C = 3.32 \cdot \Delta F_K \cdot \lg \left[1 + \frac{W_{CP}}{W_{II}} \right]$$

Необходимо в этой формуле иметь $\frac{W_{CP}}{W_{II}}$.

Из формулы (4) $Q_C = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{CP}}$, выразим $W_{CP} = W_{\max} \cdot 10^{-0.1 \cdot Q_C}$.

Из формулы (6) $A_3 = 10 \lg \frac{W_{\min}}{W_{II}}$, выразим $W_{\min} = W_{II} \cdot 10^{0.1 \cdot A_3}$.

Из формулы (3) $D_C = 10 \lg \frac{W_{\max}}{W_{\min}}$, $W_{\max} = W_{\min} \cdot 10^{0.1 \cdot D_C}$.

В последнюю формулу подставим значение P_{\min}

$$W_{\max} = W_{II} \cdot 10^{0.1 \cdot A_3} \cdot 10^{0.1 \cdot D_C} = W_{II} \cdot 10^{0.1 \cdot (D_K + A_3)}.$$

Это значение W_{\max} подставим в формулу для определения W_{CP} , найденную выше:

$$W_{CP} = W_{\max} \cdot 10^{-0.1 \cdot Q_C} = W_{II} \cdot 10^{0.1 \cdot (D_K + A_3)} \cdot 10^{-0.1 \cdot Q_C} = W_{II} \cdot 10^{0.1 \cdot (D_K + A_3 - Q_C)}$$

Отсюда отношение:

$$\frac{W_{CP}}{W_{II}} = 10^{0.1 \cdot (D_K + A_3 - Q_C)}.$$

Это значение подставим в формулу для определения количества информации на выходе канала:

$$\begin{aligned} J'_C &= 3.32 \cdot \Delta F_K \cdot \lg \left[1 + \frac{W_{CP}}{W_{II}} \right] = 3.32 \cdot \Delta F_K \cdot \lg \left[1 + 10^{0.1 \cdot (D_K + A_3 - Q_C)} \right] \\ &= 3.32 \cdot 1500 \cdot \lg \left[1 + 10^{0.1 \cdot (20 + 10 - 8)} \right] = 1082 \text{ бит/с.} \end{aligned}$$

Количество информации в единицу времени уменьшилось в $\frac{J_C}{J'_C} = \frac{15000}{1082} = 13,7$ раза.

Пример 5. В определенной точке имеется сигнал с параметрами $W_{\max} = 10$ мВт и $D_C = 20$ дБ. Кроме того, в этой же точке имеется помеха $p_{II} = -50$ дБ. Определить защищенность A_3 сигнала от помех в этой точке.

Решение.

Защищенность сигнала от помех можно найти из формулы (6):

$$A_3 = 10 \lg \frac{W_{\min}}{W_{II}}, \text{ где } W_{\min} \text{ – неизвестно.}$$

Ее найдем из формулы (3):

$$W_{\min} = W_{\max} \cdot 10^{-0.1 \cdot D_C}.$$

Подставив это значение в формулу (6), найдем:

$$A_3 = 10 \lg \frac{W_{\max} \cdot 10^{-0.1 \cdot D_C}}{W_{\Pi}} = 10 \lg \frac{10 \cdot 10^{-0.1 \cdot 20}}{10^{-5}} = 40 \text{ дБ}, \text{ где } W_{\Pi} = 10^{0.1 \cdot P_{\Pi}} = 10^{0.1 \cdot (-50)} = 10^{-5} \text{ мВт}.$$

Второе решение этой же задачи.

Защищенность сигнала от помех равняется $A_3 = p_{\min} - p_{\Pi}$.

Найдем максимальный уровень сигнала:

$$p_{\max} = 10 \lg \frac{W_{\max}}{1 \text{ мВт}} = 10 \lg 10 = 10 \text{ дБ}.$$

Минимальный уровень сигнала равен:

$$p_{\min} = p_{\max} - D_C = 10 - 20 = -10 \text{ дБ}.$$

Отсюда:

$$A_3 = p_{\min} - p_{\Pi} = -10 - (-50) = 40 \text{ дБ}.$$

Получили тот же результат.

Задание №4 - Построение систем передачи с частотным разделением каналов

Рассчитать и изобразить на оси частот спектральную диаграмму сигнала на выходе схемы, приведенной на рисунке 7, где приняты следующие обозначения: АМ - амплитудные модуляторы; ПФ- полосовые фильтры, выделяющие соответствующие боковые полосы частот; F_1 и F_2 - граничные частоты первичного модулирующего сигнала.

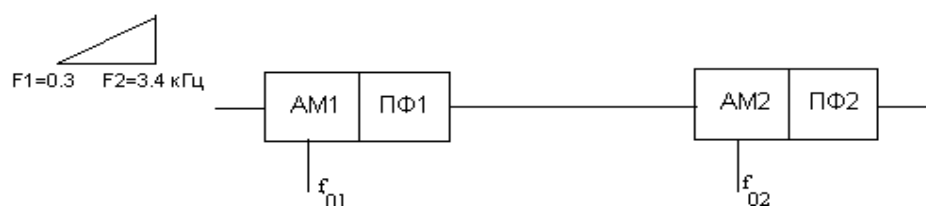


Рис.7

Исходные данные для выполнения данного задания приведены в таблице 7.

Таблица 7

Исходные данные к заданию №4

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Несущая частота первого преобразования, f_{01} , кГц	100	96	92	88	84	80	76	72	68	64
Несущая частота второго преобразования, f_{02} , кГц	420	468	516	564	612	252	300	348	396	444
Боковая полоса, выделенная полосовым фильтром ПФ2: нижняя – Н, верхняя – В.	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В
Боковая, выделяемая фильтром ПФ1	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н	В	Н

Методические указания к выполнению задания №4

Принцип ЧРК реализуется в аналоговых системах передачи. Телекоммуникационной системой с ЧРК называют систему, в линейном тракте которой для передачи канальных сигналов

отводятся не перекрывающиеся полосы частот.



Рис. 8 – Линейный спектр частот

В качестве переносчика в телекоммуникационных системах с ЧРК используются гармонические колебания с различными частотами (F_i).

Канальные сигналы формируются в результате модуляции одного из параметров переносчика первичным сигналом. Частоты несущих колебаний выбирают таким образом, чтобы спектры канальных сигналов не перекрывались. Групповой сигнал, поступающий в линию, представляет собой сумму канальных сигналов.

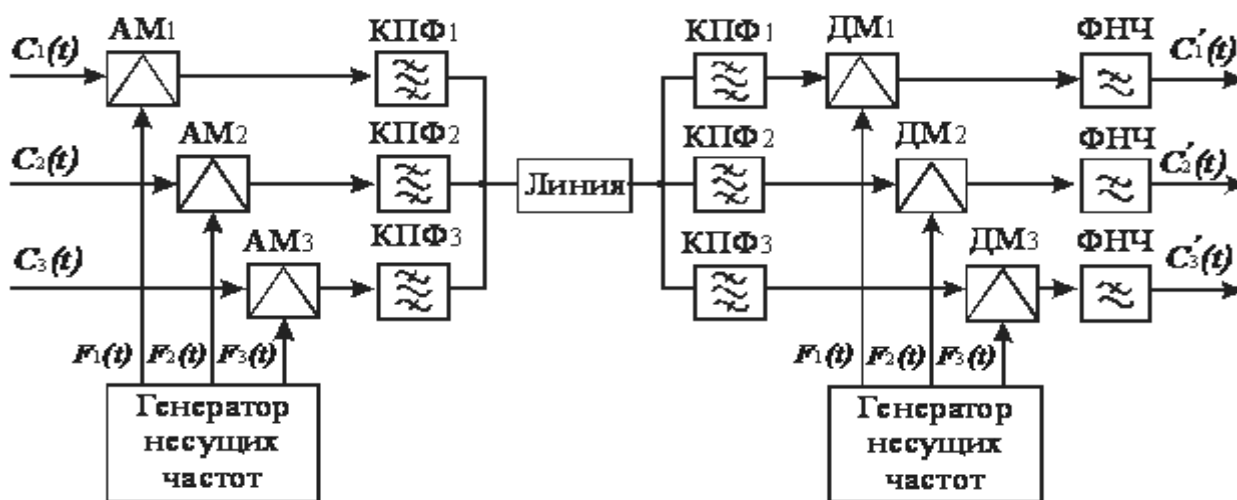


Рис. 9 – Структурная схема телекоммуникационной системы с ЧРК

При передаче по линейному тракту, групповой сигнал претерпевает линейные и нелинейные искажения, и на него накладывается помеха, поэтому в приемную часть поступает искаженный групповой сигнал. В приемной части системы передачи производится разделение канальных сигналов с помощью полосовых разделительных фильтров, т.е. из группового сигнала выделяются канальные сигналы. Преобразование канальных сигналов в первичные производится демодуляторами, на которые подают несущие, равные несущим передатчика. Далее, фильтрами низкой частоты выделяют первичные сигналы и подавляются высокочастотные паразитные продукты демодуляции. Сигналы на выходах фильтров приемника отличаются от первичных сигналов, поданных на вход канала, из-за линейных и нелинейных искажений, и из-за неидеальности системы передачи, а также уровня помех в линейном тракте. Ширина частотного спектра группового сигнала определяется числом каналов и шириной спектра частот канальных сигналов, а также частотными характеристиками затуханий полосовых разделительных фильтров.

Пример 1. Рассчитать и построить спектральную диаграмму на выходе амплитудного модулятора, если на его входы поступают исходный сигнал канала тональной частоты и несущее колебание с частотой $f_n = 100$ кГц. Рассчитать полосу пропускания канального полосового фильтра и определить его элементную базу, если для передачи используется верхняя боковая полоса частот.

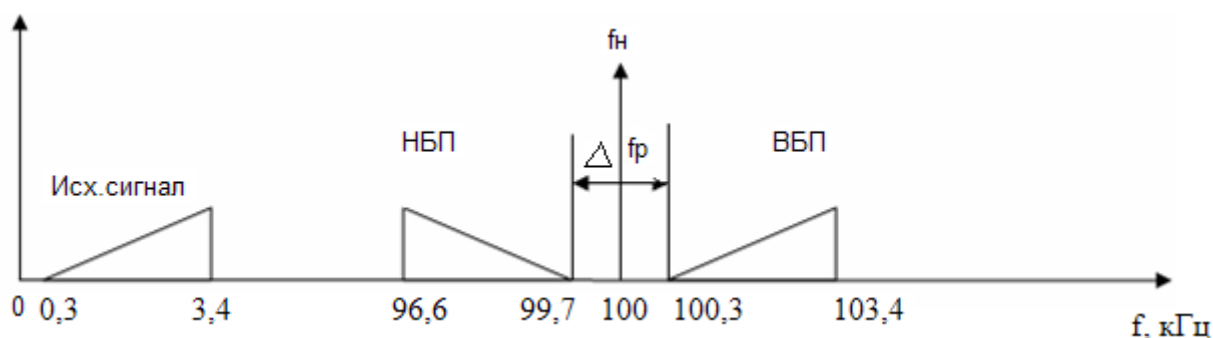


Рис. 10

Спектр частот, занимаемый верхней боковой полосой частот м.б. рассчитан по формуле:

$$f_{вб} = (f_n + f_c)$$

$$100+0,3=100,3 \text{ кГц},$$

$$100+3,4=103,4 \text{ кГц}.$$

Спектр частот, занимаемый нижней боковой полосой частот, м.б. рассчитан по формуле:

$$f_{нб} = (f_n - f_c)$$

$$100-3,4=96,6 \text{ кГц},$$

$$100-0,3=99,7 \text{ кГц}.$$

Полоса пропускания канального полосового фильтра: 100,3... 103,4, кГц.

Полоса расфилтровки канального полосового фильтра:

$$\Delta f = 100,3 - 99,7 = 0,6 \text{ кГц}.$$

Относительная полоса расфилтровки канального полосового фильтра:

$$\Delta f_{отн} = \Delta f / f_n = 0,6 / 100 = 0,006 < 0,02$$

Следовательно, фильтр может быть реализован на кварцевых резонаторах.

Задание №5 - Построение систем передачи с временным разделением каналов (ВРК)

Система передачи с ВРК АИМ организывает N каналов ТЧ. Для демодуляции сигнала на приеме используется ФНЧ с верхней частотой f_v , крутизной АЧХ $S = \frac{A_n}{\Delta f_p}$ и с подавлением неиспользуемых составляющих АИМ сигнала A_n .

Определить:

- 1) значение f_d ;
- 2) длительность канального интервала Δt_k ;
- 3) полосу частот $\Delta f_{гр}$ группового АИМ сигнала.

Таблица 8

Исходные данные к заданию №5

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Число каналов ТЧ, N	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28
Верхняя граничная частота спектр частот первичного сигнала, f_v , кГц	1,1	3,4	15	10	6,4	0,7	6000	1000	1,5	2,7
Крутизна АЧХ фильтра, дБ/Гц	0,06	0,07	0,08	0,09	0,01	0,05	0,04	0,03	0,02	0,01
Затухание подавления неиспользуемых составляющих АИМ сигнала, A_n , дБ	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65

Методические указания к выполнению задания №5

Телекоммуникационной системой с ВРК называют систему, в линейном тракте которой каждому каналу выделены не перекрывающиеся промежутки времени Δt_k , которые называют канальными интервалами. Непрерывный исходный сигнал обладает значительной избыточностью, следовательно, для его восстановления на приеме нет необходимости передавать его полностью. Достаточно передать его характерные точки (отсчеты), а на приемной стороне по отсчетам восстановить непрерывный сигнал.

В системах с ВРК линия связи на короткие промежутки времени периодически подключается к источнику и приемнику сообщений каждого канала. Т.е. отсчеты сигнала, принадлежащие данному каналу, передаются в такие промежутки времени, когда цепь свободна от передачи сигналов других каналов.

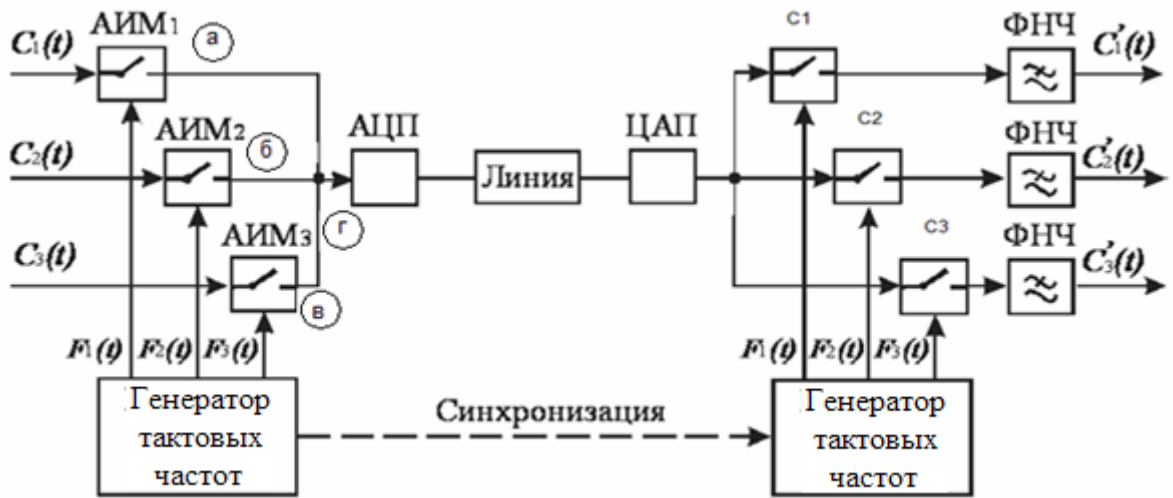


Рис. 11 – Структурная схема телекоммуникационной системы с ВРК

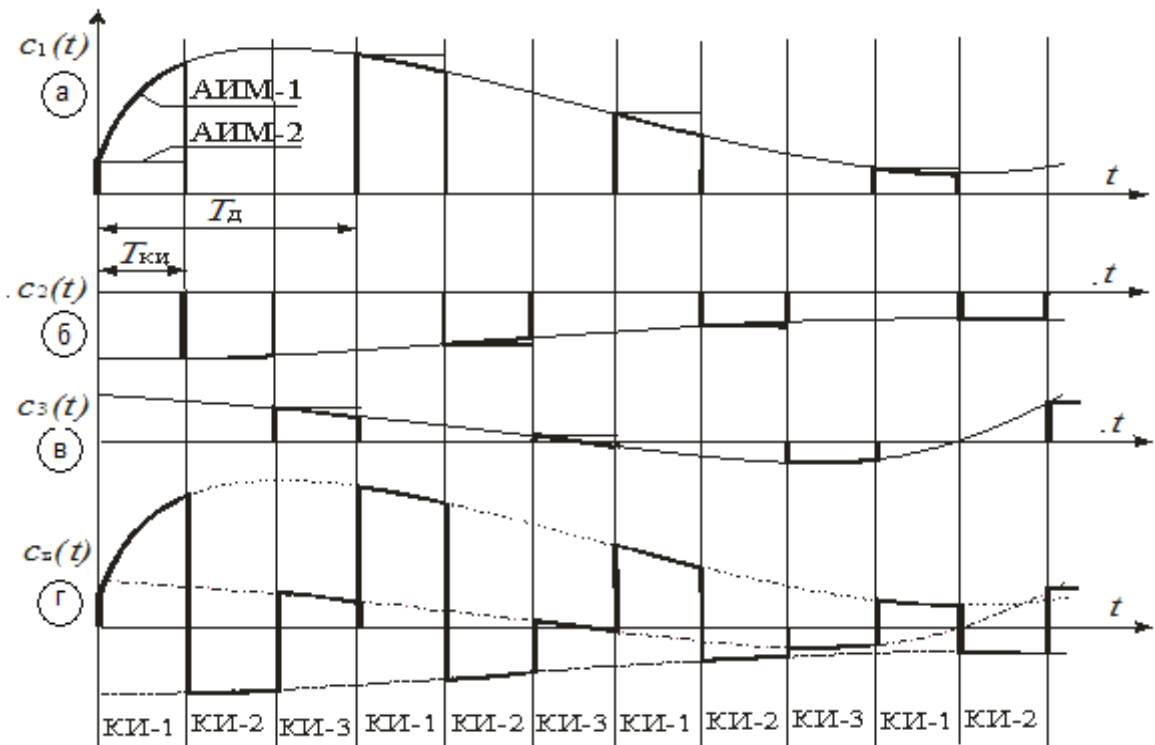


Рис. 12 – Временные диаграммы

Ключевые элементы амплитудно-импульсных модуляторов АИМ₁, АИМ₂, АИМ₃ поочередно замыкаются на время длительности канального интервала КИ-1, КИ-2, КИ-3, формируя импульсные сигналы $c_i(t)$ в каждом канале. Импульсы АИМ-сигналов разных каналов сдвинуты друг относительно друга по времени на длительность канального интервала. Синхронно с модуляторами в соответствующем канале замыкаются ключевые элементы селекторов С₁, С₂, С₃. Принятая последовательность амплитудно-модулированных импульсов в каждом канале поступает на соответствующий фильтр нижних частот ФНЧ, где формируется непрерывный аналоговый сигнал $c_i'(t)$. При объединении индивидуальных каналов в канале (линии) связи образуется групповой сигнал $c_Σ(t)$ с частотой следования импульсов в N раз большей частоты следования индивидуальных импульсов. Выбор частоты дискретизации

При дискретизации по времени передается не весь непрерывный сигнал, а только его амплитудные значения, взятые через определенный промежуток времени (названный периодом дискретизации).

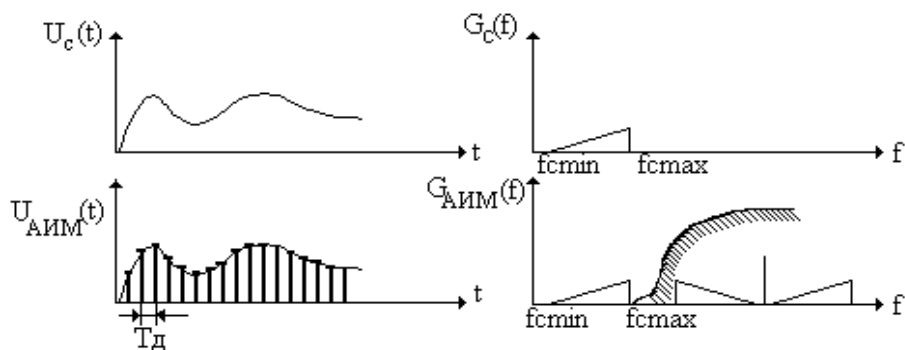


Рис. 13

Спектр АИМ сигнала содержит исходный сигнал, гармоники частоты дискретизации и боковые полосы при этих гармониках.

Частота дискретизации выбирается таким образом, чтобы на приеме было возможно восстановление непрерывного сигнала по амплитудным отсчетам.

Восстановление возможно с помощью ФНЧ, если выполняется условие Теоремы Котельникова.

$$f_{c \max} < f_d \cdot f_{c \max},$$

$$f_d > 2f_{c \max}.$$

Для фильтров с реальной характеристикой частоту дискретизации определяют

$$f_d > (2,3 \dots 2,4)f_{c \max}.$$

В этом случае можно снизить требование к крутизне нарастания характеристики затухания фильтра – демодулятора.

Если дискретизации подвергается сигнал тональной ТЧ 0,3...3,4 кГц, то стандартная частота дискретизации для КТЧ $f_d = 8$ кГц, тогда $T_d = 1/f_d = 125$ мкс.

Полоса расфильтровки 1,2 кГц $= \Delta f_p$.

Если дискретизации подвергается сигнал, спектр которого имеет соотношение $\frac{f_{c \max}}{2f_{c \min}} < 1$,

то есть выполняется принцип «октавности», то восстановление сигнала по его отсчетам возможно с помощью полосового фильтра. При этом, частота дискретизации выбирается из выражения:

$$f_{c \max} < f_d < 2f_{c \min}$$

Выбор частоты дискретизации по второму условию уменьшит искажение сигнала за счет сокращения ширины линейного спектра. Что позволит увеличить длину регенерационного участка.

Пример 1. Выбрать частоту дискретизации F_d первичного сигнала, спектр которого ограничен частотами $f_n = 0,3$ кГц и $f_b = 3,4$ кГц. Для выбранной частоты дискретизации рассчитать и построить спектральную диаграмму амплитудно-импульсно-модулированного (АИМ) сигнала.

Решение.

Выбор частоты дискретизации f_d осуществляется на основе теоремы Котельникова:

$$f_d \geq 2f_b.$$

Для практических расчетов используется формула:

$$f_d = (2,3 \dots 2,4) \cdot f_b, \text{ кГц.}$$

Для рассматриваемого варианта:

$$\begin{aligned} f_d &= (2,3 \dots 2,4) \cdot 3,4, \\ f_d &= (7,82 \dots 8,16), \text{ кГц.} \end{aligned}$$

Частота дискретизации f_d выбирается в пределах рассчитанного диапазона, ее значение должно быть целым числом и кратным четырем. В данном случае целесообразно выбрать f_d равной:

$$f_d = 8 \text{ кГц.}$$

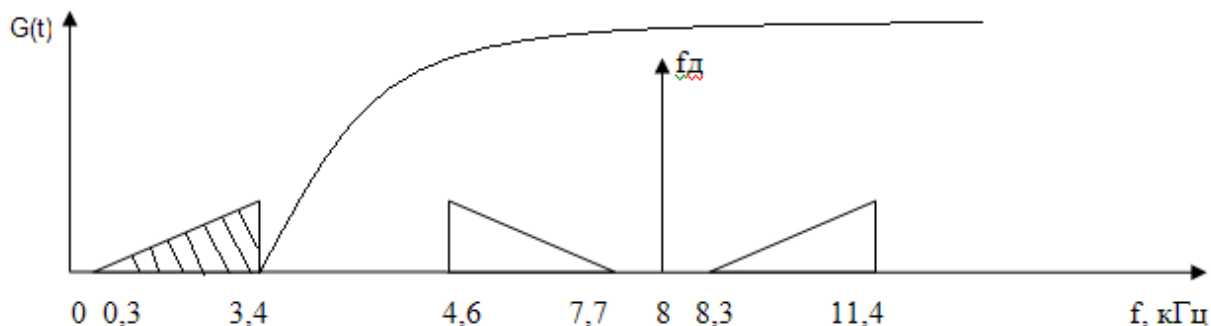


Рис. 14

Пример 2. Выбрать частоту дискретизации f_d первичного сигнала, если дискретизации подвергается сигнал стандартной трехканальной предгруппы в диапазоне частот от $f_n = 12$ кГц до $f_b = 24$ кГц.

Решение.

Частота дискретизации f_d выбирается из соотношения:

$$\begin{aligned} f_d &= (2,3 \dots 2,4) \cdot f_b, \text{ кГц.} \\ f_d &= (55,2 \dots 57,6), \text{ кГц.} \\ f_d &= 56 \text{ кГц.} \end{aligned}$$

Пример 3. Выбрать частоту дискретизации f_d первичного сигнала, если дискретизации подвергается сигнал стандартной первичной двенадцатиканальной группы в диапазоне частот от $f_n = 60$ кГц до $f_b = 108$ кГц.

Решение.

Частоту дискретизации f_d можно выбрать из соотношения:

$$\begin{aligned} f_d &= (2,3 \dots 2,4) \cdot f_b, \text{ кГц.} \\ f_d &= (248,4 \dots 259,2), \text{ кГц.} \\ f_d &= 252 \text{ кГц.} \end{aligned}$$

Дискретизируемый сигнал начинается не от нуля. Проверим, выполняется ли принцип октавности:

$$\begin{aligned} f_b / f_n &< 2. \\ 108 / 60 &< 2. \end{aligned}$$

В этом случае частоту дискретизации можно выбрать из соотношения:

$$f_b \leq f_d \leq 2f_n.$$

$$108 \text{ кГц} \leq f_d \leq 120 \text{ кГц},$$

$$F_d = 110 \text{ кГц}.$$

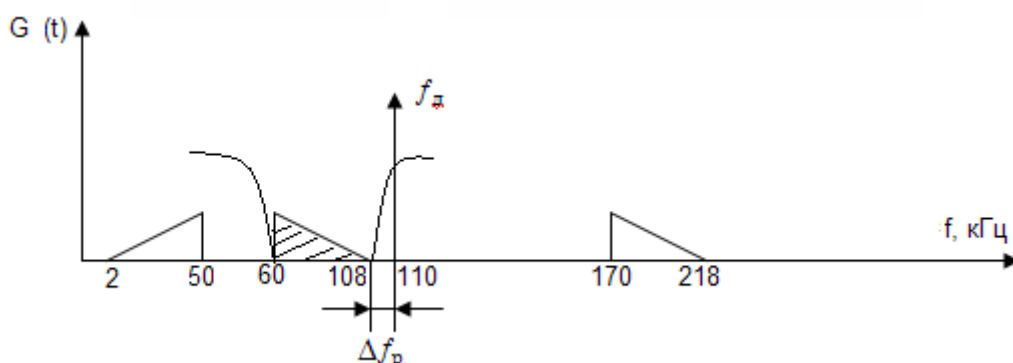


Рис.15

В этом случае восстановление сигнала возможно с помощью полосового фильтра с полосой пропускания от 60 кГц до 108 кГц. Полоса расфилтровки этого фильтра 4 кГц, что значительно упрощает его конструкцию. Но в этом случае частота дискретизации почти в 2 раза меньше, а значит, снижается частота дискретного сигнала и требования ко всем элементам группового тракта.

Пример 4. Выбрать частоту дискретизации f_d первичного сигнала, если дискретизации подвергается сигнал стандартной вторичной шестидесятиканальной группы в диапазоне частот от $f_n = 312$ кГц до $f_b = 552$ кГц.

$$F_d = 560 \text{ кГц}.$$

Пример 5. Система передачи с ВРК АИМ организует 20 каналов ТЧ. Для демодуляции сигнала на приеме используется ФНЧ с верхней частотой $f_b = 3,4$ кГц, крутизной АЧХ

$$S = \frac{A_n}{\Delta f_p} = 0,01 \text{ дБ/Гц} \text{ и с подавлением неиспользуемых составляющих АИМ сигнала } A_n = 40 \text{ дБ}.$$

Определить:

- 1) минимальное значение f_d ;
- 2) длительность канального интервала Δt_k ;
- 3) минимальную полосу частот $\Delta f_{гр}$ группового АИМ сигнала.

Решение

$$\Delta f_p = A_n : S = 40 : 0,01 = 4000 \text{ Гц} = 4 \text{ кГц}.$$

$$f_d = 2f_b + \Delta f_p = 2 \cdot 3,4 + 4 = 10,8 \text{ кГц}.$$

$$T_d = 1/f_d = 1/10,8 \cdot 10^3 = 9,26 \cdot 10^{-5} \text{ с}.$$

$$\Delta t_k = T_d / N_{ктч} = 9,26 \cdot 10^{-5} : 20 = 4,63 \cdot 10^{-6} \text{ с}.$$

$$\Delta f_{гр} = f_d \cdot N_{ктч} = 10,8 \cdot 20 = 216 \text{ кГц}.$$

Пример 6. На вход канала системы передачи с ВРК АИМ поступает первичный сигнал в полосе частот (0,3...10) кГц. Полоса частот расфилтровки ФНЧ приема $\Delta f_p = 2$ кГц.

Определить:

- 1) частоту дискретизации f_d ;
- 2) период дискретизации T_d .

Рассчитать и изобразить спектральную диаграмму АИМ сигнала и АЧХ ФНЧ.

Решение

$$f_d = 2f_b + \Delta f_p = 2 \cdot 10 + 2 = 22 \text{ кГц}.$$

$$T_d = 1/f_d = 1/22 \cdot 10^3 = 4,55 \cdot 10^{-5} \text{ с.}$$

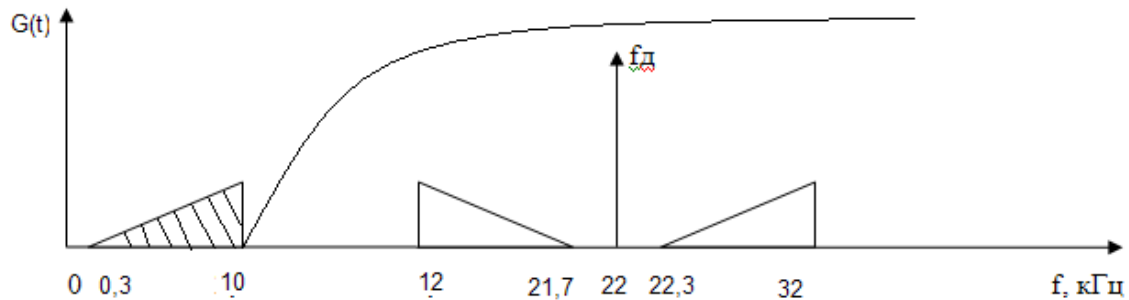


Рис.16

Задание 6 – Импульсно-кодовая модуляция

1. Закодировать в нелинейном кодере заданные значения АИМ импульсов.
2. Рассчитать величины ошибок квантования и сравнить их с шагом квантования в выбранном сегменте.
3. Декодировать в нелинейном декодере полученные кодовые комбинации.
4. Рассчитать величины ошибок квантования на выходе декодера для двух заданных отсчетов и сравнить их с шагом квантования в выбранном сегменте.

Таблица 9

Исходные данные к заданию №6

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Амплитуда отсчета аналогового сигнала $U_{1\text{АИМ}}, \Delta$	1087,9 Δ	543,9 Δ	271,9 Δ	135,9 Δ	281 Δ	455 Δ	94 Δ	315 Δ	617 Δ	777 Δ
Амплитуда отсчета аналогового сигнала $U_{2\text{АИМ}}, \Delta$	-1024 Δ	-512 Δ	-256 Δ	-128 Δ	-279 Δ	-461 Δ	-102 Δ	-311 Δ	-616 Δ	-760 Δ

Методические указания к выполнению задания №6

Кодеры с цифровым компандированием используют элементы цифровой логики.

Динамический диапазон 2-х полярного сигнала разбит на 16 сегментов. Внутри каждого сегмента расположены 16 уровней квантования.

Шаг квантования в первых 2-х сегментах положительной и отрицательной полярностей минимальный и равен Δ .

Стандартные кодеры используют 8-ми разрядный код.

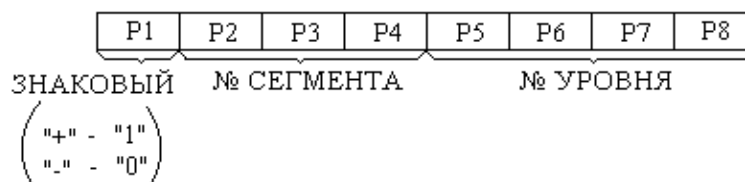


Рис. 17

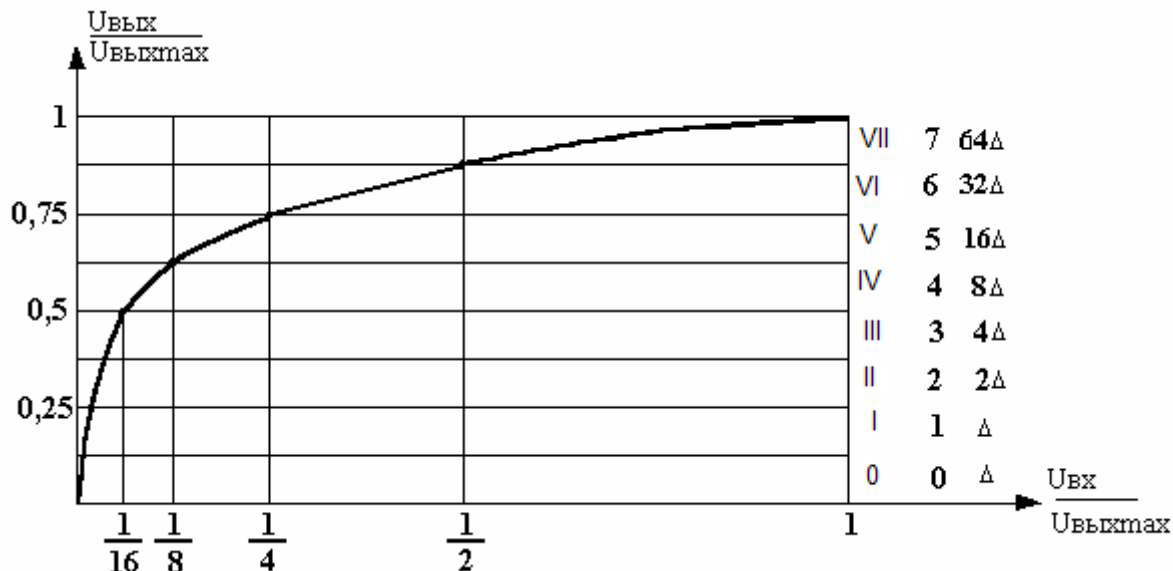


Рис. 18

Таблица 10

Сегмент	N сегм.	Шаг квант. Δi	Код сегмента	Эталон нижней гран. сегмента $U_{нгi}$	Эталонные напряжения в пределах одного сегмента			
0	0	Δ	000	0Δ	8Δ	4Δ	2Δ	Δ
I	1	Δ	001	16Δ	8Δ	4Δ	2Δ	Δ
II	2	2Δ	010	32Δ	16Δ	8Δ	4Δ	2Δ
III	3	4Δ	011	64Δ	32Δ	16Δ	8Δ	4Δ
IV	4	8Δ	100	128Δ	64Δ	32Δ	16Δ	8Δ
V	5	16Δ	101	256Δ	128Δ	64Δ	32Δ	16Δ
VI	6	32Δ	110	512Δ	256Δ	128Δ	64Δ	32Δ
VII	7	64Δ	111	1024Δ	512Δ	256Δ	128Δ	64Δ

$$U_{кв} = U_{нгi} + \sum_{k=1}^4 a_k \Delta_i \cdot 2^{4-k}$$

Пример 1.

Определить структуру кодовой комбинации, если отсчет имеет амплитуду +353 Δ

P1 P2 P3 P4 P5 P6 P7 P8

1 1 0 1 0 1 1 0

$$U_{кв} = +(256\Delta + 0 \cdot 128\Delta + 1 \cdot 64\Delta + 1 \cdot 32\Delta + 0 \cdot 16\Delta) = + 352\Delta.$$

В таком кодере для кодирования уровня внутри сегмента используется равномерное квантование и поразрядное взвешивание. Для кодирования отсчета внутри сегмента необходимо 4 эталонных напряжения. Всего в кодере используется 11 эталонных напряжений, чтобы закодировать 16^2 квантованных значений.

Что значительно упрощает требования к источникам эталонов и АЦП в целом.

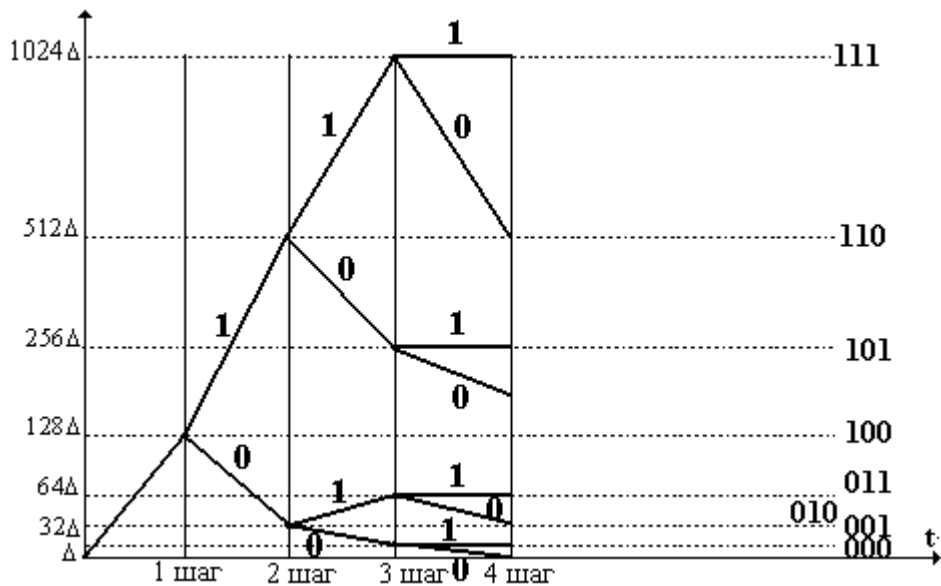


Рис.19

При кодировании номера сегмента на первом шаге отсчет сравнивается с эталонным напряжением нижней границы 4-го сегмента.

Если отсчет больше, то второй символ кодовой группы 1, значит отсчет находится с 4-го по 7 сегмент. Если отсчет меньше 128Δ , то второй символ кодовой группы 0, а отсчет находится с 0 по 3 сегмент и так далее.

(На первом шаге кодируется символ 2-го разряда, на 2-м 3-го, на 3-м 4-го).

Качество кодирования оценивается параметром помехозащищенности от шумов квантования. При переходе от одного сегмента к другому шаг квантования увеличивается в 2 раза, а угол наклона амплитудной характеристики уменьшается в 2 раза. Таким образом осуществляется компрессия характеристики. Коэффициент компрессии равен отношению величины самого большого шага квантования к самому маленькому.

Выигрыш в помехозащищенности от шума квантования равен 24 дБ. Помехозащищенность от шума квантования:

$$A_{3 \text{ шкв}} = p_c - p_{\text{шкв.}}$$

$$W_{\text{шкв}} = \frac{\Delta^2 i}{12}$$

$$p_{\text{шкв}} = 10 \lg \frac{\Delta^2 i}{12}$$

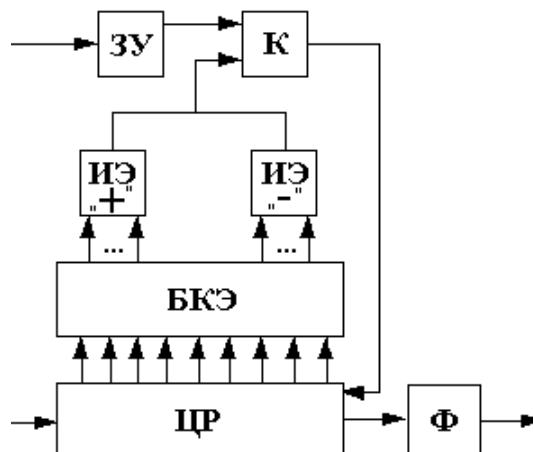


Рис. 20 – Блок-схема кодера ИКМ

ЗУ – запоминающее устройство запоминает АИМ отсчет на весь период кодирования.

Компаратор - определяет знак разности между амплитудой отсчета, поступающего на первый вход, и суммы эталонных напряжений, поступающих на 2-й вход.

ИЭ - источники эталонных напряжений формируют 11 эталонных напряжений разных полярностей.

БКЭ – блок коммутации и выбора эталонных напряжений производит подключение соответствующих эталонов ко 2 входу компаратора.

ЦР - цифровой регистр производит формирование кодовой комбинации.

Ф – формирующее устройство преобразует параллельный код в последовательный.

Кодирование отсчетов осуществляется за 8 тактов. За эти 8 тактов с каждого из 8 выходов цифрового регистра единичный символ через БКЭ-блок коммутации будет подключать соответствующие эталоны ко входу компаратора.

Если $U_{\text{аим}} > U_{\text{эт}}$ на выходе К – «0»

Если $U_{\text{аим}} < U_{\text{эт}}$ то компаратор выдает – «1».

«0» на выходе компаратора сохраняет «1» на соответствующем выходе цифрового регистра. «1» на выходе компаратора запрещает ее.

Пример 2.

1. Закодировать в нелинейном кодере заданное значение АИМ импульса:

$U_{\text{АИМ}} = 247\Delta$.

2. Рассчитать величину ошибки квантования и сравнить ее с шагом квантования в выбранном сегменте.

3. Декодировать в нелинейном декодере полученную кодовую комбинацию.

4. Рассчитать величину ошибки квантования на выходе декодера для заданного отсчета и сравнить ее с шагом квантования в выбранном сегменте.

Решение.

В кодере взвешивающего типа

$$1. U_{\text{КВкод}} = 128\Delta + 1 \cdot 64\Delta + 1 \cdot 32\Delta + 1 \cdot 16\Delta + 0 \cdot 8\Delta = 240\Delta.$$

P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8
1	1	0	0	1	1	1	0

2. $\xi_{\text{КВкод}} = 247\Delta - 240\Delta = 7\Delta > (\Delta_i/2 = 8\Delta/2 = 4\Delta)$. Ошибка не соответствует норме.

3. $U_{\text{КВдек}} = 128\Delta + 1 \cdot 64\Delta + 1 \cdot 32\Delta + 1 \cdot 16\Delta + 0 \cdot 8\Delta + 4\Delta = 244\Delta$.

4. $\xi_{\text{КВдек}} = 247\Delta - 244\Delta = 3\Delta = (\Delta_i/2 = 8\Delta/2 = 4\Delta)$. Ошибка соответствует норме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2004. – 510 с.

2. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: Учебник для вузов / Под ред. В.Н. Гордиенко и В.В. Крухмалева. – М.: Горячая линия – Телеком, 2008. – 422 с.

3. Цифровые и аналоговые системы передачи: Учебник для вузов / В.И. Иванов, В.Н. Гордиенко, Г.Н. Попов и др. / Под ред. В.И. Иванова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2003. – 232с.