

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования

«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Л. А. Марыкова

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

по выполнению курсовой работы по дисциплине

**«Основы построения инфокоммуникационных систем
и сетей»**

Учебно-методическое пособие

Самара, 2024

УДК 621.391+ 621.37

М30

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол №52 от 9.04.24 г.

Марыкова, Л. А.

М30 Методические рекомендации по выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей»: учебно-методическое пособие / Л. А. Марыкова. - Самара: ПГУТИ, 2024. –49с.

Учебно-методическое пособие «Методические рекомендации по выполнению курсовой работы по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей», содержит задание на курсовую работу и методические указания по ее выполнению. Разработано в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», предназначено для студентов (бакалавриат) очной, заочной и дистанционной форм обучения для подготовки к самостоятельной работе и сдаче экзамена по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей».

© Марыкова Л.А., 2024

© Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Уровни передачи и затухания четырехполюсников.....	5
1.1 Методические указания	5
1.2 Задание и исходные данные	12
2 Параметры и характеристики сигналов и каналов	13
2.1 Методические указания	13
2.2 Задание и исходные данные	17
3 Основы построения систем передачи с частотным разделением каналов (ЧРК).....	20
3.1 Методические указания	20
3.2 Задание и исходные данные	26
4 Основы построения систем передачи с временным разделением каналов (ВРК).....	28
4.1 Методические указания	34
4.2 Задание и исходные данные	34
5 Аналогово-цифровое преобразование.....	35
5.1 Методические указания	35
5.2 Задание и исходные данные	45
6 Контрольные вопросы к защите курсовой работы.....	46
7 Список литературы.....	48

ВВЕДЕНИЕ

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 3 семестре. Изучение дисциплины ОПИКС и С базируется на обеспечивающих курсах: электроника и схемотехника, теория электрических цепей (ТЭЦ), общая теория связи (ОТС) из 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.

В каждом разделе методических указаний по выполнению курсовой работы по дисциплине ОПИКС содержатся методические указания, задания и исходные данные, соответствующие разделам изучаемой дисциплины. Задания по разделам курса выполняется студентами по индивидуальным вариантам. Номер варианта курсовой работы определяется студентом **по двум последним цифрам номера студенческого билета**. Решения задач обязательно сопровождаются пояснениями. Список литературы, использованной при выполнении контрольных заданий, приводится в конце курсовой работы.

1 УРОВНИ ПЕРЕДАЧИ И ЗАТУХАНИЯ ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИКОВ

1.1 Методические указания

Сигналы, передаваемые по каналам связи, характеризуются рядом параметров. Многие параметры каналов и сигналов задаются с помощью относительных величин – уровней сигналов (уровней передачи) наряду с абсолютными единицами измерения электрических сигналов (мощность, напряжение, ток). Это обусловлено тем, что абсолютные параметры сигналов изменяются в широких пределах. Чтобы облегчить измерения и расчеты величин, которые изменяются в широком диапазоне, используют логарифмы отношения этих величин к одноименным величинам, принятым за исходные. В этом случае при расчетах операции умножения и деления заменяются соответственно сложением и вычитанием, что облегчает расчеты.

Величины, пропорциональные:

$$\log \frac{I}{I_o}; \quad \log \frac{U}{U_o}; \quad \log \frac{W}{W_o}, \quad (1.1)$$

носят название уровней передачи по току, напряжению и мощности и измеряются в децибелах.

Уровни передачи выражаются следующим образом:

– по мощности:

$$p_m = 10 \cdot \lg \frac{W_x}{W_o}, \text{ дБм}; \quad (1.2)$$

– по напряжению:

$$p_n = 10 \cdot \lg \frac{U_x}{U_o}, \text{ дБн}; \quad (1.3)$$

– по току:

$$p_T = 10 \cdot \lg \frac{I_x}{I_o}, \text{ дБТ}, \quad (1.4)$$

где W_x , U_x , I_x – соответственно величины мощности, напряжения, тока в рассматриваемой точке системы передачи;

W_o , U_o , I_o – величины, принятые за исходные при определении уровней передачи.

Если за исходные значения параметров 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 ($p_{ом}$, $p_{он}$, $p_{от}$).

При условии, что $R_o = 600$ Ом, абсолютные уровни по мощности, напряжению и току определяются согласно выражениям:

$$p_m = 10 \lg \frac{W}{W_o}, \text{ (дБм)}, W_o = 1 \text{ мВт}; \quad (1.5)$$

$$p_n = 20 \lg \frac{U}{U_o}, \text{ (дБн)}, U_o = 0,775 \text{ В}; \quad (1.6)$$

$$p_I = 20 \lg \frac{I}{I_o}, \text{ (дБТ)}, I_o = 1,29 \text{ мА}. \quad (1.7)$$

Уровни передачи будут положительными, если мощность W_x , напряжение U_x , ток I_x будут больше исходных величин W_o , U_o , I_o . В противном случае уровни передачи будут отрицательными. Нулевое значение уровня будет иметь в случае, если $W_x = W_o$, $U_x = U_o$, $I_x = I_o$.

Для доказательства этого обратимся к графику логарифмической функции, изображенному на рис.1.1. Уровни передачи по току используются редко, поэтому далее анализируются только уровни передачи по мощности и напряжению.

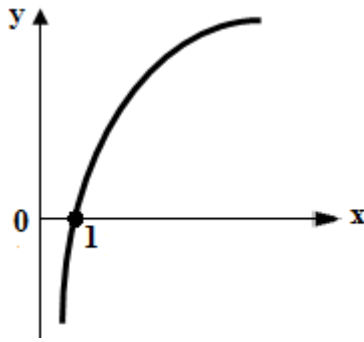


Рис.1.1 – График логарифмической функции

На рис. 1.1 обозначено в случае уровней по мощности:

$$x = \frac{W}{1 \text{ мВт}}, \quad y = 10 \lg x = p_m, \quad (1.8)$$

а в случае уровней по напряжению:

$$x = \frac{U}{0,775 \text{ В}}, \quad y = 20 \lg x = p_n. \quad (1.9)$$

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

- 1) если $p_m > 0$, то $W_x > 1 \text{ мВт}$;
 если $p_m < 0$, то $W_x < 1 \text{ мВт}$;
 если $p_m = 0$, то $W_x = 1 \text{ мВт}$;
- 2) если $p_n > 0$, то $U_x > 0,775 \text{ В}$;
 если $p_n < 0$, то $U_x < 0,775 \text{ В}$;
 если $p_n = 0$, то $U_x = 0,775 \text{ В}$;
- 3) если $W_x = 0$, то $p_m = -\infty$;
 если $U_x = 0$, то $p_n = -\infty$.

От логарифмических единиц уровней в децибелах можно перейти к абсолютным величинам мощности, напряжения или тока:

$$W_x = W_o \cdot 10^{\frac{p_m}{10}} = 1 \cdot 10^{\frac{p_m}{10}}, \text{ мВт}; \quad (1.10)$$

$$U_x = U_o \cdot 10^{\frac{p_n}{20}} = 0,775 \cdot 10^{\frac{p_n}{20}}, \text{ В}; \quad (1.11)$$

$$I_x = I_o \cdot 10^{\frac{p_r}{20}} = 0,775 \cdot 10^{\frac{p_r}{20}}, \text{ мА}. \quad (1.12)$$

С использованием выражения (1.10), составлена табл. 1.1 соответствия отношений мощностей и уровней передачи по мощности.

Таблица 1.1

Соотношение мощностей и уровней передачи по мощности

W_x / W_o	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

Из табл. 1.1 следует, что, например, ослаблению сигнала в 100 раз соответствует снижение его уровня на 20 дБ, усилению сигнала в два раза соответствует повышение его уровня на 3 дБ.

Абсолютный уровень называется измерительным, если на вход канала или тракта передачи подан синусоидальный сигнал генератора определенной для данного канала частоты с внутренним сопротивлением $R_z = 600$ Ом и э.д.с. равной $E_z = 1,55$ В.

Собственное затухание четырехполюсника определяется выражением:

$$a = 10 \cdot \lg \frac{W_{ex}}{W_{vblx}} = 10 \cdot \lg \frac{1}{\kappa_m}, \quad (1.13)$$

где a – собственное затухание четырехполюсника, дБ:

κ_m – коэффициент усиления четырехполюсника по мощности.

Из выражения (1.13) следует:

$$a = p_{m\ ex} - p_{m\ vblx}. \quad (1.14)$$

Собственное усиление четырехполюсника определяется выражением:

$$S = 10 \cdot \lg \frac{W_{\text{вых}}}{W_{\text{вх}}} = 10 \cdot \lg \kappa_{\text{м}}, \quad (1.15)$$

где S – собственное усиление четырехполюсника, дБ.

$$S = P_{\text{м вых}} - P_{\text{м вх}}. \quad (1.16)$$

Из формул (1.14 и 1.16) следует, что усиление противоположно затуханию по знаку. Рассчитанные значения усиления и затухания могут быть как положительными, так и отрицательными:

$$a = -S. \quad (1.17)$$

Если усиление четырехполюсника имеет отрицательный знак, то в четырехполюснике происходит затухание и наоборот.

Затухание совокупности цепочно-включенных N четырехполюсников (a_{Σ}) равно сумме затуханий всех четырехполюсников:

$$a_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N a_i. \quad (1.18)$$

Усиление совокупности цепочно-включенных N четырехполюсников (S_{Σ}) равно сумме усиления этих четырехполюсников:

$$S_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N S_i. \quad (1.19)$$

Если известны величины α_m , S_m или α_n и S_n , то можно определить соответствующие им коэффициенты передачи по мощности κ_m и напряжению κ_n :

$$\kappa_m = 10^{\frac{\alpha_m}{10}} = 10^{\frac{S_m}{10}}; \quad (1.20)$$

$$\kappa_n = 10^{\frac{\alpha_n}{20}} = 10^{\frac{S_n}{20}}. \quad (1.21)$$

Канал (тракт) передачи представляет собой каскадное соединение пассивных и активных четырехполюсников (рис. 1.2).

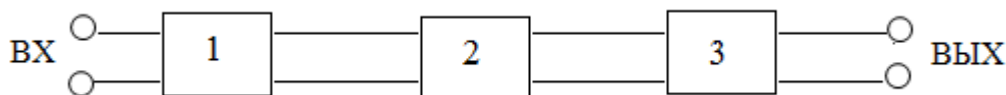


Рис. 1.2 – Структурная схема участка цепи

Например, известны затухания (усиления) четырехполюсников, изображенных на рис. 1.2 и уровни сигналов на входе и выходе схемы:

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

Нужно определить затухание третьего четырехполюсника (a_3).

Решение.

Определим затухание, вносимое совокупностью всех трех четырехполюсников:

$$a_{\Sigma} = p_{\text{мвх}} - p_{\text{мвых}} = -15 - 10 = -25 \text{ дБ}.$$

Определим затухание, вносимое третьим четырехполюсником:

$$a_3 = a_{\Sigma} - a_1 + S_2;$$

$$\alpha_3 = -25 - 10 + 5 = -30 \text{ дБ}.$$

Из расчетов следует, что схема, изображенная на рис. 1.2, усиливает сигнал на 30 дБ.

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

При этом всегда учитывайте, что если сигналы усиливаются четырехполосником, то:

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

Если сигналы ослабляются четырехполосником, то:

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

Запомнить:

1. Задание уровней сигналов, например, $p_{\text{м}}$ и $p_{\text{н}}$, эквивалентно заданию их мощности и напряжения.

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

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

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.

1.2 Задание и исходные данные

Задание

Определить уровень сигнала на входе схемы, мощность и уровень сигнала на выходе схемы, изображенной на рис. 1.3, если первый четырехполюсник вносит затухание α_1 , а второй четырехполюсник усиливает сигнал с коэффициентом усиления κ_2 .

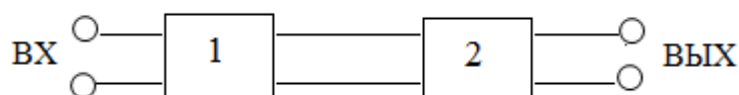


Рис. 1.3 – К расчету уровня сигнала

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Исходные данные

Мощность сигнала на входе, $W_{\text{вх}}$, мВт	0,1	0,12	0,2	0,25	0,5	2	4	5	8	10
Затухание первого четырехполюсника, α_1 , дБ	12	7	16	17	27	13	23	14	26	24
Коэффициент усиления второго четырехполюсника, κ_2	Номера вариантов									
40	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
20	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
5	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
4	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
2	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
1/2	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
1/4	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
1/5	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
1/20	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
1/40	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

2 ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛОВ И КАНАЛОВ

2.1 Методические указания

Электрическая связь предполагает преобразование сообщений в электрические сигналы.

При передаче телефонных сообщений и радиовещания первичными преобразователями являются микрофоны, телевидения – телевизионные передающие камеры и т.д.

Сигналы – формируемые первичными преобразователями, называются сигналами – **оригиналами или первичными сигналами**.

Информационные сигналы передаются по каналам связи (передачи) между промежуточными или конечными пунктами инфокоммуникационных 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. Эффективно передаваемая полоса частот сигнала:

$$F_c = F_{c \text{ мин}} \dots F_{c \text{ макс}} \text{ (Гц)}, \quad (2.1)$$

где $F_{c \text{ макс}}$ и $F_{c \text{ мин}}$ – соответственно, максимальное и минимальное граничные значения частоты спектра, в котором сосредоточена основная энергия сигнала.

Качество переданного сигнала будет удовлетворительным, если в эффективно передаваемой полосе частот сосредоточено не менее 90% энергии сигнала.

2. Ширина полосы частот, занимаемая сигналом:

$$\Delta F_c = F_{c \text{ макс}} - F_{c \text{ мин}}, \text{ (Гц)}. \quad (2.2)$$

Часто задается только верхняя граничная частота первичного сигнала, подразумевая, что нижняя граничная частота близка к 0 Гц. Например, канал изображения, предназначенный для передачи цветного телевизионного сигнала, характеризуется полосой (верхней граничной частотой) 6,5 МГц. Симметричный кабель, предназначенный для сети Ethernet, характеризуется полосой пропускания 10 МГц, а для Fast Ethernet – 100 МГц.

3. Динамический диапазон сигнала:

$$D_c = 10 \lg \frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ мин}}} = p_{c \text{ макс}} - p_{c \text{ мин}} \text{ (дБ)}, \quad (2.3)$$

где $W_{c \text{ макс}}$, $W_{c \text{ мин}}$ – максимальная и минимальная мощность передаваемого сигнала в одной точке канала.

4. Пик-фактор характеризует превышение максимальной мощности над средней мощностью сигнала:

$$Q_c = 10 \lg \frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ ср}}} = p_{c \text{ макс}} - p_{c \text{ ср}} \text{ (дБ)}. \quad (2.4)$$

Пик-фактор в безразмерных величинах:

$$q_c = \frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ ср}}} = 10^{0.1 \cdot Q_c}. \quad (2.5)$$

Взаимосвязь между динамическим диапазоном и пик-фактором сигнала:

$$\begin{aligned} D_c &= 10 \lg \left(\frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ мин}}} \right) = 10 \lg \left(\frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ мин}}} \cdot \frac{W_{c \text{ ср}}}{W_{c \text{ ср}}} \right) = 10 \lg \left(\frac{W_{c \text{ макс}}}{W_{c \text{ ср}}} \right) + 10 \lg \left(\frac{W_{c \text{ ср}}}{W_{c \text{ мин}}} \right) = \\ &= Q_c + 10 \lg N_c, \end{aligned} \quad (2.6)$$

где $N_C = \frac{W_{c\text{cp}}}{W_{c\text{мин}}}$ – коэффициент сигнала.

5. Защищенность сигнала с минимальной мощностью от помех:

$$A_{зс} = 10 \lg \frac{W_{c\text{мин}}}{W_{ном}} = P_{c\text{мин}} - P_{ном}, \text{ (дБ)}, \quad (2.7)$$

где $W_{c\text{мин}}$ – минимальная мощность сигнала;

$W_{ном}$ – мощность помехи.

6. Объем сигнала:

$$V_c = T_c D_c \Delta F_c \text{ (с} \cdot \text{дБ} \cdot \text{Гц)}, \quad (2.8)$$

где T_c – длительность сигнала – промежуток времени, в котором действует сигнал.

7. Количество информации в сигнале или производительность источника сигнала:

$$C_c = \eta \cdot \Delta F_c \cdot \log_2 \left(1 + \frac{W_{c\text{cp}}}{W_{ном}} \right), \text{ бит/сек}, \quad (2.9)$$

где C_c – количество информации в сигнале, кГц;

η – коэффициент активности источника сигнала. Для телефонного сигнала $\eta = 0,25 \dots 0,35$, для других сигналов $\eta = 1$.

Значение ширины полосы частот, занимаемой сигналом (ΔF_c) необходимо для определения основных частотных характеристик систем передачи и каналов. Динамический диапазон (D_c) – величины неискажающих энергетических параметров каналов и трактов.

Канал передачи может характеризоваться тремя основными параметрами:

1. Эффективно передаваемая полоса частот ΔF_k , которую канал способен пропустить с выполнением требований к качеству передачи сигналов.

2. Время T_{κ} , в течение которого канал предоставлен для передачи сигналов.

3. Динамический диапазон D_{κ} , под которым понимается отношение вида:

$$D_{\kappa} = 10 \lg \frac{W_{\kappa \text{ макс}}}{W_{\kappa \text{ мин}}}, \quad (2.10)$$

где $W_{\kappa \text{ макс}}$ — максимальная неискаженная мощность, которая может быть передана по каналу;

$W_{\kappa \text{ мин}}$ — минимальная мощность сигнала, при которой обеспечивается необходимая защищенность от помех.

Передача сигнала с параметрами ΔF_{κ} , T_{κ} и D_{κ} по каналу с параметрами ΔF_c , T_c и D_c возможна при условии:

$$\Delta F_{\kappa} \geq \Delta F_c; \quad T_{\kappa} \geq T_c; \quad D_{\kappa} \geq D_c.$$

Произведение трех параметров канала $V_{\kappa} = D_{\kappa} \cdot F_{\kappa} \cdot T_{\kappa}$ называется его *емкостью*. Сигнал может быть передан по каналу, если его емкость не менее объема сигнала. Если система неравенств не выполняется, то возможна деформация одного из параметров сигнала, позволяющих согласовать его объем с емкостью канала. Следовательно, условие неискаженной передачи сигнала по каналу можно представить виде:

$$V_{\kappa} \geq V_c.$$

Канал характеризуется защищенностью от помех:

$$A_{\kappa} = 10 \lg \frac{W_{\kappa \text{ мин}}}{W_n}, \quad (2.11)$$

где W_n — мощность помех в канале.

Пропускная способность канала описывается следующим выражением

$$C_{\kappa} = 3,32\Delta F_{\kappa} \lg(1 + \frac{W_{c\,cp}}{W_n}), \quad (2.12)$$

где C_{κ} – пропускная способность канала, кГц;

$W_{c\,cp}$ – средняя мощность сигнала, передаваемого по каналу связи.

2.2 Задание и исходные данные

Задание 1

Определить помехозащищенность первичного сигнала, если известны:

- динамический диапазон сигнала D_c ;
- максимальная мощность сигнала $W_{\text{смакс}}$;
- уровень помех, действующих в канале p_n .

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Исходные данные к заданию 1

Динамический диапазон сигнала D_c , дБ	20	22	24	26	28	30	32	34	36	40
Максимальная мощность сигнала $W_{\text{смакс}}$, мВт	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Уровень помех, действующих в канале p_n , дБ	Номера вариантов									
-50	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
-51	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
-52	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
-53	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
-54	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
-55	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
-56	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
-57	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
-58	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
-59	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Задание 2

Определить динамический диапазон первичного сигнала, если известны:

- максимальный уровень сигнала $p_{с\text{ макс}}$;
- помехозащищенность сигнала $A_з$;
- действующая мощность помех W_n .

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Исходные данные к заданию 2

Максимальный уровень мощности сигнала $p_{с\text{ макс}}$, дБ	15	14	13	15	14	13	15	14	13	15
Помехозащищенность сигнала $A_з$, дБ	30	31	32	33	34	33	32	31	30	29
Действующая мощность помех, W_n , мВт	Номера вариантов									
$1 \cdot 10^{-6}$	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
$2 \cdot 10^{-6}$	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
$4 \cdot 10^{-6}$	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
$6 \cdot 10^{-6}$	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
$4 \cdot 10^{-6}$	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
$2 \cdot 10^{-6}$	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
$1 \cdot 10^{-6}$	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
$2 \cdot 10^{-6}$	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
$4 \cdot 10^{-6}$	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
$6 \cdot 10^{-6}$	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

Задание 3

Определить пик-фактор первичного сигнала (Q_C), если известны:

- минимальный уровень сигнала $p_{с\text{ мин}}$;
- средняя мощность сигнала W_{CP} ;
- динамический диапазон сигнала D_C .

Исходные данные к заданию приведены в табл. 2.3.

Исходные данные к заданию 3

Минимальный уровень сигнала $p_{с\text{ мин}}$, дБ	-9	-8	-7	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0
Средняя мощность сигнала W_{CP} , мВт	30	31	32	33	34	33	32	31	30	29
Динамический диапазон сигнала D_C , дБ	Номера вариантов									
31	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
25	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
32	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
26	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
33	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
27	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
34	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
28	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
35	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
29	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

\

3 ОСНОВЫ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (ЧРК)

3.1 Методические указания

Системой передачи (СП) с частотным разделением каналов называют систему, в линейном тракте которой для передачи канальных сигналов отводятся неперекрывающиеся полосы частот (рис. 3.1). На рисунке показаны диапазоны частот, выделенные в линии связи каждому каналу N-канальной системы передачи.

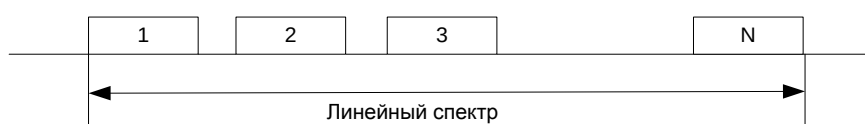


Рис. 3.1 – Линейный спектр системы передачи с ЧРК

Рассмотрим принцип частотного разделения каналов, используя схему 3-х канальной системы и спектральные диаграммы в ее характерных точках (рис. 3.2 и рис. 3.3).

Для переноса исходного сигнала $s_i(t)$ занимающего спектр частот от f_{ni} до f_{vi} , в спектр, выделенного для этого канала канальный интервал, в системах передачи с ЧРК (СП с ЧРК) применяются модуляторы (М). В качестве колебаний несущих в СП с ЧРК используются гармонические синусоидальные колебания с различными частотами f_1, f_2, f_3 . Канальные сигналы формируются в результате модуляции одного из параметров переносчиков первичными сигналами. Применяются амплитудная, частотная и фазовая модуляции. Спектр модулированного сигнала содержит два основных продукта: НБ – нижняя боковая полоса частот и ВБ – верхняя боковая полоса частот. Частоты несущих колебаний выбираются так, чтобы спектры канальных сигналов $U_1(t)$, $U_2(t)$, $U_3(t)$ не перекрывались.

Канальные полосовые фильтры (КПФ) передачи выделяют одну из боковых полос. Групповой сигнал $U_{\Sigma}(t)$, поступивший в линию связи, представляет собой сумму канальных сигналов:

$$U_{\Sigma}(t) = U_1(t) + U_2(t) + U_3(t). \quad (3.1)$$

При передаче по линейному тракту сигнал $U_{\Sigma}(t)$ претерпевает линейные и нелинейные искажения и на него накладывается помеха $n(t)$, таким образом, в приемную часть поступает искаженный сигнал $\tilde{U}_{\Sigma}(t)$.

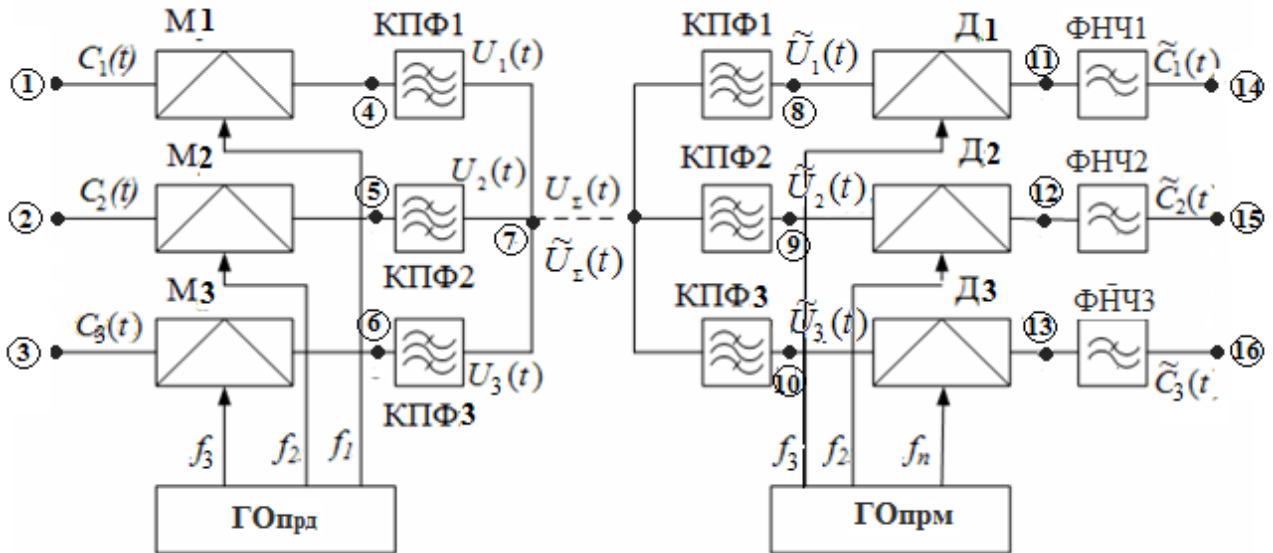


Рис.3.2 – Блок-схема системы передачи с частотным разделением каналов

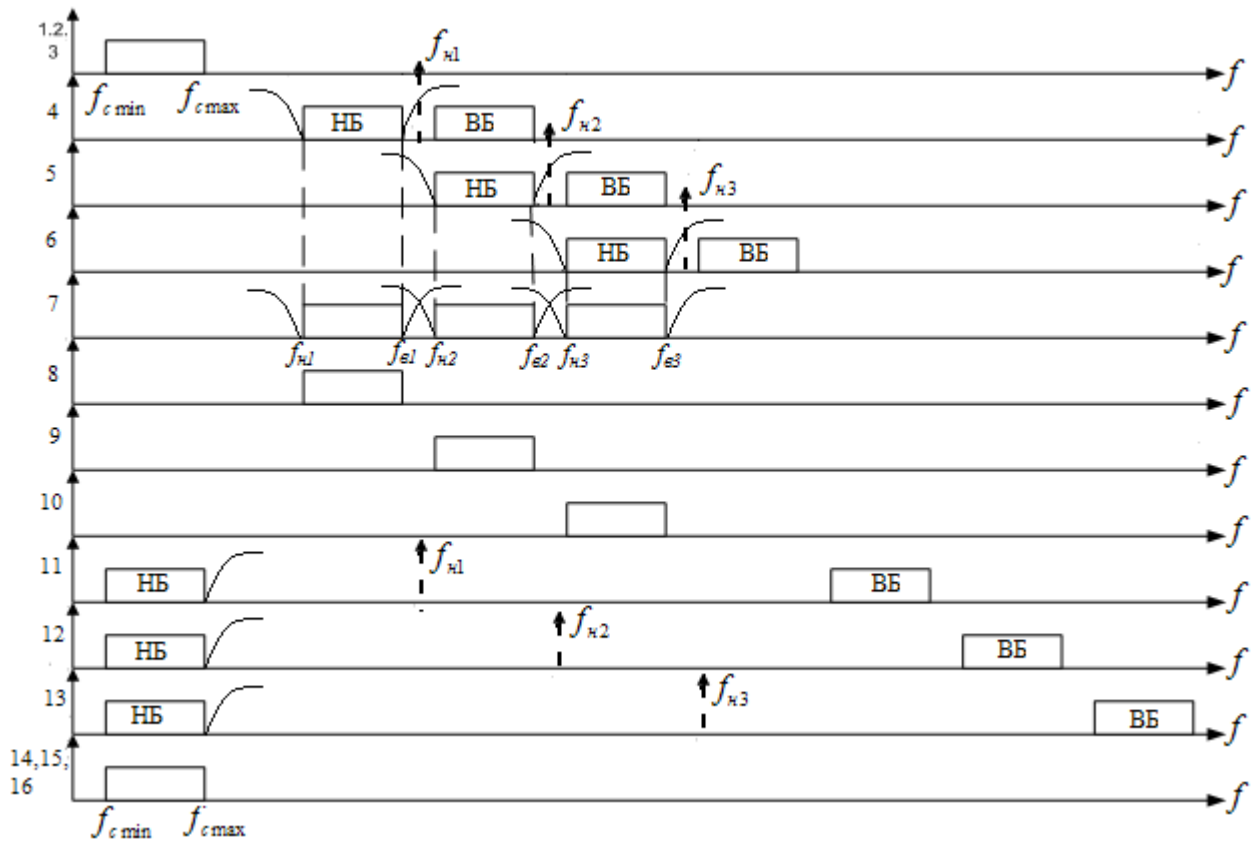


Рис.3.3 – Спектральные диаграммы в контрольных точках системы передачи с ЧРК

В приемной части производится разделение канальных сигналов с помощью канальных полосовых фильтров КПФ1, КПФ2, КПФ3, т.е. из группового сигнала $\tilde{U}_\Sigma(t)$ выделяют канальные сигналы $\tilde{U}_1(t), \tilde{U}_2(t), \tilde{U}_3(t)$.

Первичные сигналы восстанавливаются демодуляторами Д1, Д2, Д3 с использованием частот, равных частотам несущих на передаче.

Фильтры низких частот (ФНЧ) подавляют высокочастотные паразитные продукты демодуляции.

Сигналы $\tilde{C}_i(t)$ на выходе каналов из-за искажений в тракте передачи, не идеальности аппаратуры и наложения помех отличаются от первичных сигналов $C_i(t)$.

Качество связи определяется критерием близости сигналов $C_i(t)$ и $\tilde{C}_i(t)$, и зависит от вида передаваемых сообщений и свойств получателя.

Условием разделимости канальных сигналов СП с ЧРК является их ортогональность. Т.е. энергетический спектр канального сигнала должен присутствовать в диапазоне частот, отведенном для i -го канала (канальном интервале) и отсутствовать в других диапазонах частот:

$$G_i(f) = \begin{cases} \neq 0, & f_{ni} \leq f \leq f_{si}; \\ = 0, & f < f_{ni}; f > f_{si}, \end{cases} \quad (3.2)$$

где $G_i(f)$ – энергетический спектр i -го канального сигнала;

f_{ni} и f_{si} – границы полосы частот, отводимой в линейном тракте для i -го канального сигнала.

В системах с ЧРК канальные сигналы отличаются друг от друга полосой частот, выделенной для каждого канала в линейном тракте. В отведенной для передачи по линии связи полосе частот можно организовать каналов больше, если канальные интервалы сигналов будут иметь более узкую полосу частот. Выбор метода формирования канальных сигналов основан на двух критериях:

1. Самая узкая полоса частот канального интервала.
2. Высокая помехозащищенность сигнала.

С этой точки зрения рассматривают 3 вида модуляции: амплитудная, фазовая и частотная.

В качестве несущего колебания используется гармонический сигнал. Если его амплитуда будет промодулирована по закону низкочастотного входного сигнала, то амплитудно-модулированный (АМ) сигнал будет иметь вид, показанный на рис. 3.4.

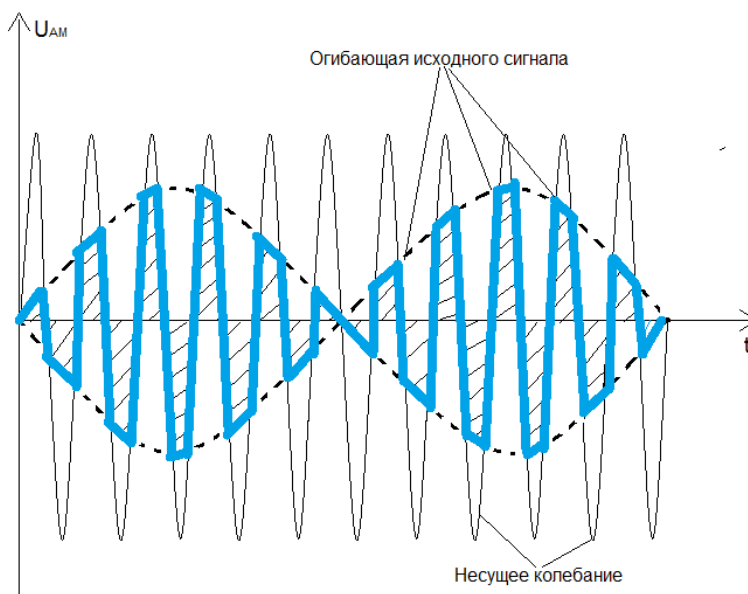


Рис. 3.4 – Временная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала

Основные составляющие спектра АМ сигнала (рис. 3.5):

$$U_{\text{AM}}(t) = U_{\text{н}} \cos(\omega_{\text{н}} t) + \frac{m}{2} U_{\text{с}} \cos(\omega_{\text{н}} + \omega_{\text{с}}) + \frac{m}{2} U_{\text{с}} \cos(\omega_{\text{н}} - \omega_{\text{с}}), \quad (3.3)$$

где m – глубина амплитудной модуляции.

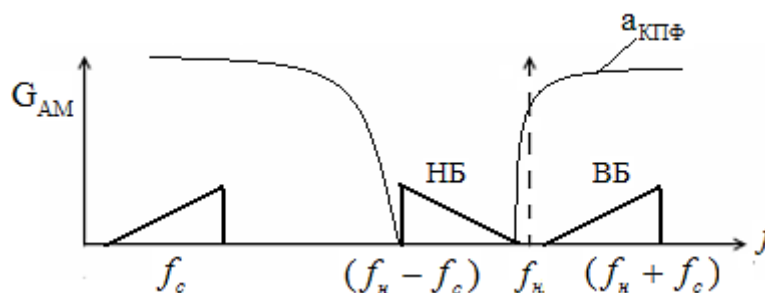


Рис. 3.5 – Спектральная диаграмма амплитудно-модулированного сигнала

Таким образом, в спектре сигнала присутствуют несущее колебание и две боковые полосы частот. Ширина канального сигнала при амплитудной модуляции канала будет равна:

$$\Delta f_{\text{AM}} = 2f_{\text{с макс}} \quad (3.4)$$

Достоинства метода АМ:

- простота модуляции;
- относительно узкая полоса канального интервала.

Недостатком АМ является низкая помехозащищенность информационного сигнала.

При частотной модуляции (ЧМ) ширина канального сигнала будет определена:

$$\Delta f_{\text{ЧМ}} = 2(m_f + 1) f_{\text{с макс}}, \quad (3.5)$$

где m_f – глубина ЧМ.

Для увеличения помехоустойчивости при использовании ЧМ, глубину модуляции берут больше, чем 1. Недостатком ЧМ является большая, по сравнению с АМ, ширина канального интервала.

Фазовая модуляция обычно не используется в системах с ЧРК, так как при одинаковой помехозащищенности имеет более сложную реализацию и более широкую полосу частот.

С точки зрения критериев выбора методов модуляции, в системах передачи, работающих по кабелю, применяют АМ. В радиорелейных и спутниковых линиях передачи, где уровень помех значительный, применяют фазовую и частотную модуляции.

Ширина частотного спектра группового сигнала Δf_{Σ} определяется числом каналов в системе передачи; шириной спектра канальных сигналов Δf_i , а также частотными характеристиками затухания разделительных канальных полосовых фильтров (КПФ).

КПФ обеспечивают малое затухание в полосе пропускания (a_{np}) и необходимую величину затухания в диапазоне эффективного подавления ($a_{под}$). Между этими полосами находятся полосы расфилтровки КПФ (рис. 3.6).

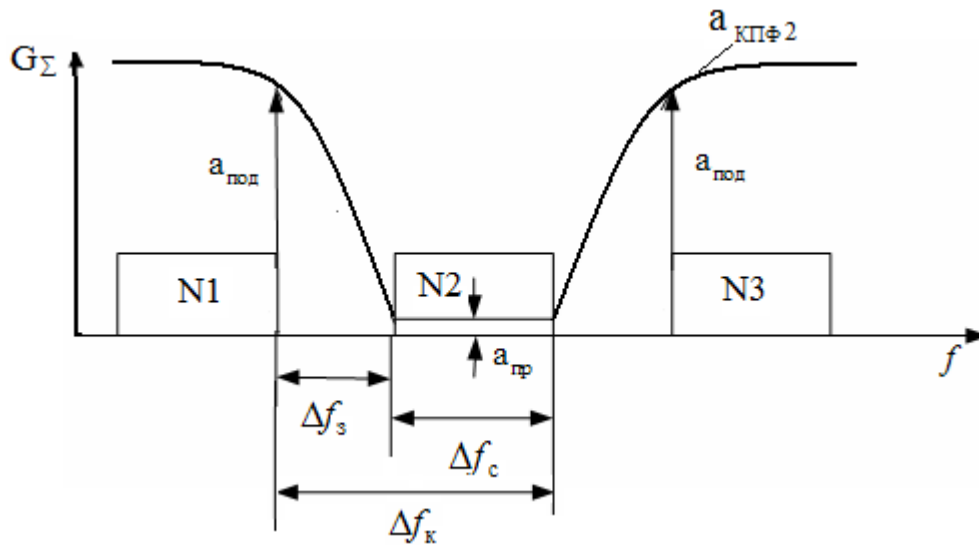


Рис. 3.6 – Спектральная диаграмма линейного группового сигнала

Следовательно, в групповом линейном спектре каналные сигналы должны быть разделены защитными промежутками ($\Delta f_з$), величины которых должны быть не меньше полос расфилтровки фильтров. Т.е. ширина канального интервала должна быть равна:

$$\Delta f_к = \Delta f_с + \Delta f_з. \quad (3.6)$$

Следовательно, ширина группового сигнала может быть определена по формуле

$$\Delta f_Σ = N \cdot (\Delta f_с + \Delta f_з). \quad (3.7)$$

Так как затухание разделительных фильтров в полосе подавления конечно ($a_{под}$), то полное разделение канальных сигналов невозможно. Вследствие этого появляются межканальные переходные помехи, характер и уровень которых определяется качеством КПФ и видом модуляторов. Зная

допустимый уровень межканальных помех и величину выделенного защитного интервала, формулируют требования к КПФ.

В системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 Гц до 3400 Гц, т.е. ширина спектра телефонного сигнала составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при расфилтровке сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

3.2 Задание и исходные данные

Задание

Рассчитать и изобразить на оси частот спектральную диаграмму сигнала на выходе схемы, приведенной на рис. 3.7, где приняты следующие обозначения:

- АМ - амплитудные модуляторы;
- ПФ - полосовые фильтры, выделяющие соответствующие боковые полосы частот;
- F_1 и F_2 – нижняя и верхняя граничные частоты первичного модулирующего сигнала тональной частоты;
- $f_{н1}$ и $f_{н2}$ – несущие частоты каждой ступени преобразования.

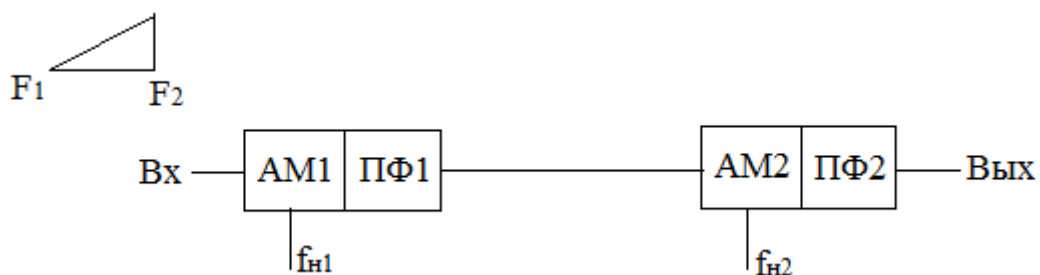


Рис.3.7 – Схема преобразований первичного сигнала в системе передачи с ЧРК

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Исходные данные

Несущая частота первого преобразования, f_{H1} , кГц		100	96	92	88	84	80	76	72	68	64
Несущая частота второго преобразования, f_{H2} , кГц		420	468	516	564	612	252	300	348	396	444
Боковая полоса частот, выделенная ПФ1	Боковая полоса, выделяемая ПФ2	Номера вариантов									
нижняя	верхняя	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
верхняя	верхняя	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
нижняя	нижняя	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
верхняя	нижняя	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
нижняя	верхняя	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
верхняя	верхняя	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
нижняя	нижняя	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
верхняя	нижняя	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
нижняя	верхняя	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
верхняя	верхняя	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

4 ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ С ВРЕМЕННЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ КАНАЛОВ (ВРК)

4.1 Методические указания

Принцип **временного разделения каналов (ВРК)** состоит в том, что групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы. В зарубежной литературе ВРК обозначается термином Time Division Multiply Access (TDMA).

Телекоммуникационной системой с ВРК называют систему, в линейном тракте которой для передачи канальных сигналов отводятся неперекрывающиеся промежутки времени – канальные интервалы.

На вход каналов системы передачи поступают непрерывные, аналоговые сигналы, которые существуют одновременно. Разделить сигналы по времени можно, если они будут дискретными.

Решить данную проблему позволяет теорема Котельникова В.А., которая гласит, что всякий непрерывный аналоговый сигнал $c(t)$, спектр которого ограничен сверху значением $F_{с\ макс}$, может быть представлен последовательностью его мгновенных (дискретных) значений (отсчетов), следующих с частотой дискретизации:

$$F_{д} \geq 2 \cdot F_{с\ макс}, \quad (4.1)$$

где $F_{д}$ – частота дискретизации;

$F_{с\ макс}$ – максимальная граничная частота спектра исходного сигнала.

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

$$T_{д} = \frac{1}{F_{д}}. \quad (4.2)$$

Выбор частоты дискретизации по теореме Котельникова гарантирует полное восстановление непрерывной формы исходного сигнала в приемной части системы передачи. Это отражено на рис. 4.1.

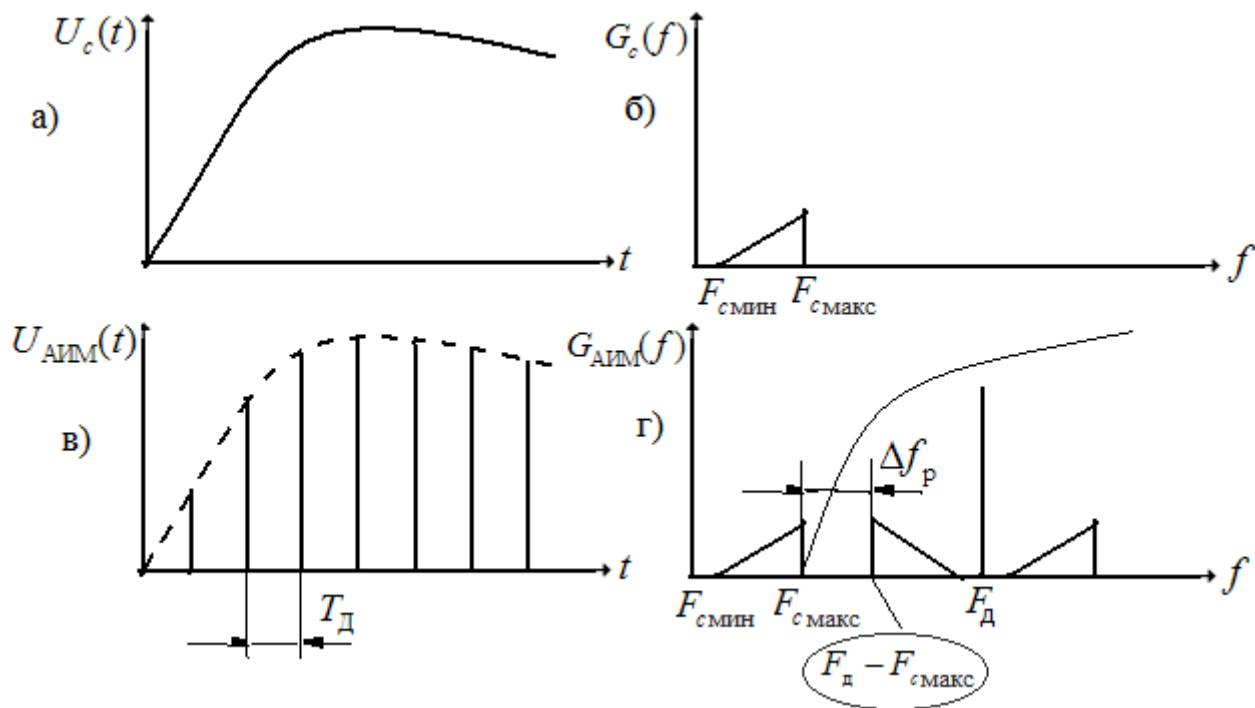


Рис. 4.1 – К определению частоты дискретизации

На временной диаграмме «а» рисунка представлена форма исходного непрерывного сигнала, а на спектральной диаграмме «б» спектр исходного сигнала, ограниченный частотой $F_{c \text{ макс}}$. На временной диаграмме «в» изображена импульсная последовательность, с постоянным периодом – $T_{\text{д}}$. Амплитуды этих импульсов промодулированы по закону исходного непрерывного сигнала. Следовательно, выполнена амплитудно-импульсная модуляция (АИМ).

На спектральной диаграмме «г» изображен спектр АИМ сигнала. Спектр АИМ сигнала содержит спектр исходного сигнала, гармоники частоты дискретизации и боковые полосы частот при гармониках частоты дискретизации.

Частота дискретизации выбирается таким образом, чтобы на приеме было возможно восстановление непрерывного сигнала по амплитудным отсчетам с помощью ФНЧ, который называют «фильтром-демодулятором». Для этого необходимо, чтобы был защитный интервал (Δf_3) между спектром полезного непрерывного сигнала ($F_{с макс}$) и первым продуктом преобразования ($F_{\delta} - F_{с макс}$).

Из рис. 4.1 следует, что восстановление непрерывного исходного сигнала возможно с помощью ФНЧ, если выполняется условие:

$$F_{с макс} < F_{\delta} - F_{с макс};$$

$$\boxed{F_{\delta} > 2F_{с макс}} \quad (4.3)$$

Для фильтров с реальной амплитудно-частотной характеристикой затухания частоту дискретизации рассчитывают по формуле:

$$F_{д} > (2,3...2,4) \cdot F_{с макс}. \quad (4.4)$$

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

Если дискретизации подвергается сигнал канала тональной частоты (КТЧ) в диапазоне частот $\Delta F_c = 0,3...3,4$ кГц, то стандартная частота дискретизации равна:

$$F_{д КТЧ} = 8 \text{ кГц}.$$

Период дискретизации:

$$T_{д КТЧ} = \frac{1}{F_{д КТЧ}} = 125 \text{ мкс}.$$

Полоса расфильтровки «фильтра–демодулятора», т.е. защитный интервал будет равен: $\Delta f_3 = 1,2$ кГц. При этом фильтр будет реализован на простых L и C элементах.

Если дискретизации подвергается сигнал, спектр которого не начинается от нуля Гц и имеет соотношение:

$$\frac{F_{с макс}}{2 \cdot F_{с мин}} < 1, \quad (4.5)$$

то есть выполняется принцип «октавности», то частоту дискретизации выбирают из соотношения:

$$F_{с макс} < F_{Д} < 2 \cdot F_{с мин}. \quad (4.6)$$

Восстановление сигнала по его отсчетам возможно с помощью полосового фильтра. На рис. 4.2 показан спектр АИМ сигнала, полученного в результате дискретизации исходного непрерывного сигнала, спектр которого лежит в диапазоне 60...108 кГц.

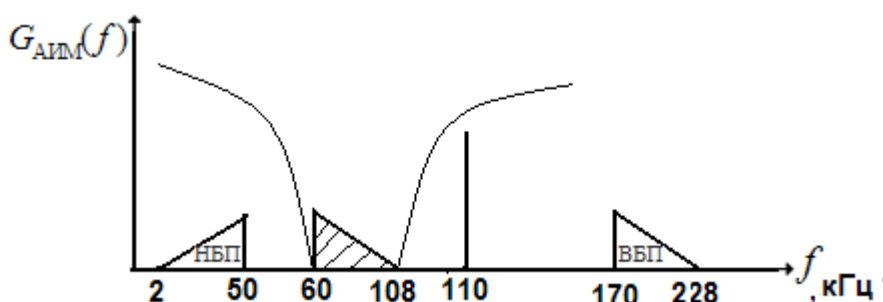


Рис. 4.2 – Спектральная диаграмма АИМ-сигнала

Выбор частоты дискретизации по второму условию уменьшит искажение сигнала за счет сокращения ширины линейного спектра. Что позволит увеличить длину линии связи без дополнительного переприема.

Структурная схема 3-х канальной системы передачи с ВРК представлена на рис. 4.3. В системах с ВРК поочередно по групповому тракту передаются дискретные отсчеты первичных сигналов $C_1(t)$, $C_2(t)$, $C_3(t)$. Причем, сначала передается импульс 1-го канала, затем 2-го канала и т.д. до последнего канала. После чего снова передается импульс 1-го канала, и процесс повторяется с периодом:

$$T_d = 1/F_d. \quad (4.7)$$

На рис. 4.4 приведены временные диаграммы, поясняющие работу системы передачи с ВРК.

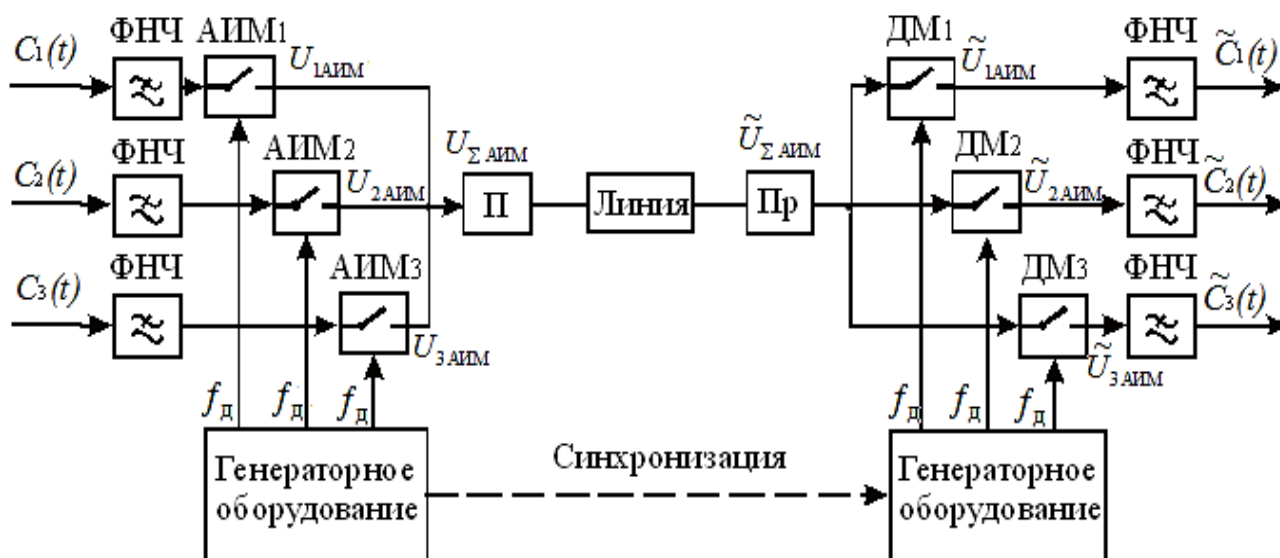


Рис. 4.3 – Структурная схема многоканальной системы передачи с ВРК

Фильтр передатчика ограничивает спектр исходного сигнала частотой $F_{\text{смакс}}$ для правильного выбора частоты дискретизации.

Дискретизация по времени осуществляется с помощью ключей – амплитудно-импульсных модуляторов, на выходе которых формируются каналные амплитудно-импульсные сигналы. При этом, когда замкнут ключ одного из каналов, ключи остальных каналов разомкнуты. Групповой сигнал представляет собой сумму каналных сигналов.

В групповом АИМ-сигнале период дискретизации (длительность цикла) поделен на каналные интервалы, длительность которых равна:

$$\Delta\tau_k = \frac{T_d}{N}, \quad (4.8)$$

где N – число объединяемых каналов.

Время срабатывания ключей соседних каналов сдвинуто на каналный интервал.

В приемнике групповой сигнал разделяется на каналные сигналы с помощью электронных ключей.

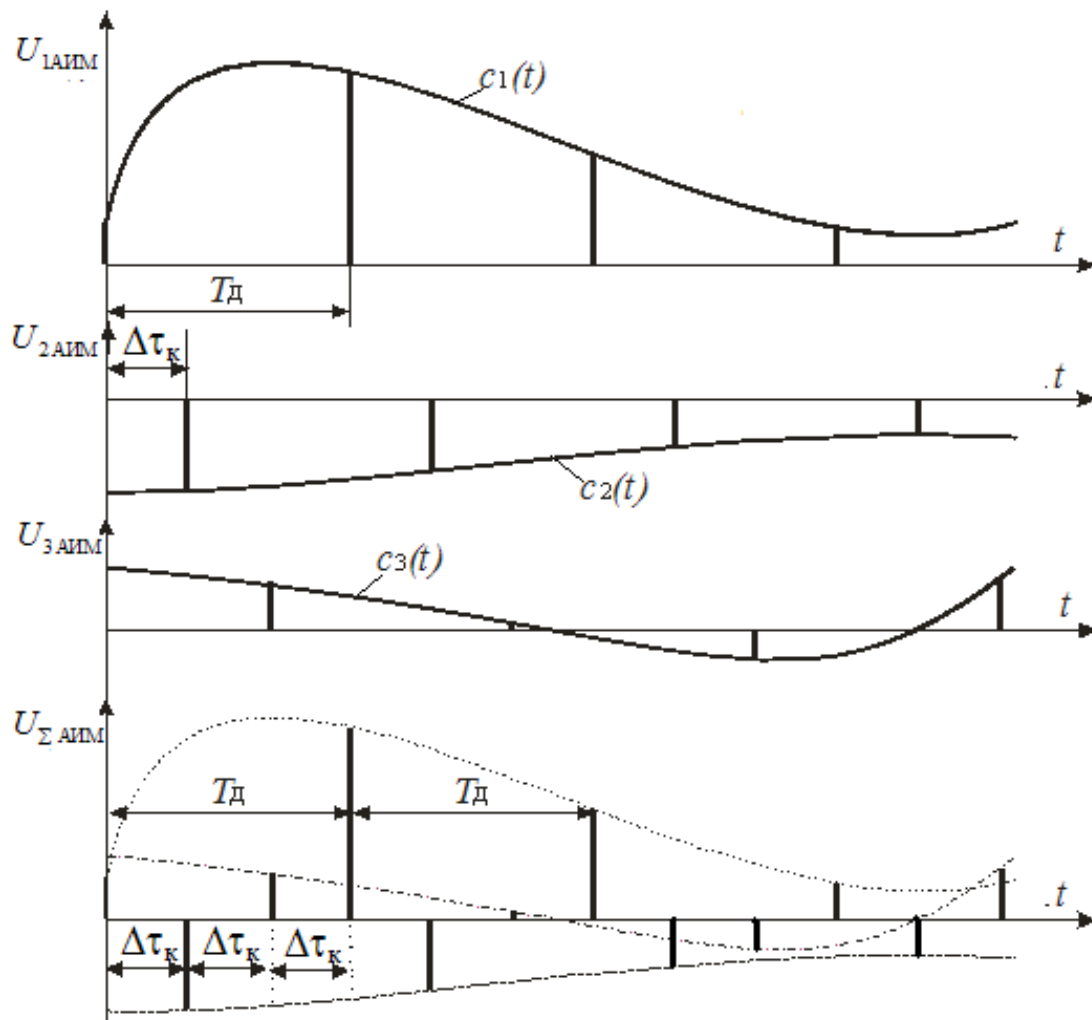


Рис. 4.4 – Временные диаграммы, поясняющие принцип временного разделения каналов

Ортогональность (независимость каналов) в системах с ВРК обеспечивается не перекрывающимися промежутками времени, отводимыми в линейном тракте для каждого канала.

В любой фиксированный момент времени в замкнутом состоянии находится ключ только одного канала, а все остальные разомкнуты, то есть ключи всех каналов замыкаются с одной и той же скоростью (F_d), но в разные моменты времени. Чтобы обеспечить синхронную и синфазную работу ключей

передатчика и приемника, создают жесткую систему синхронизации генераторного оборудования. Система синхронизации обеспечивает одновременное срабатывание ключей передатчика и приемника только одного канала.

Восстановление непрерывной формы сигнала на приеме осуществляется с помощью ФНЧ. Качество связи оценивается близостью сигнала на выходе канала к исходному сигналу.

4.2 Задание и исходные данные

Задание

Выбрать частоту дискретизации F_d первичного сигнала, если дискретизации подвергается сигнал в диапазоне частот от $F_{с\ мин}$ до $F_{с\ макс}$. Рассчитать и построить спектральную диаграмму АИМ-сигнала.

Исходные данные для выполнения заданий взять из табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные

Нижняя частота исходного спектра первичного сигнала, $F_{с\ мин}$, кГц	0	12	60	0,3	1	0,15	312	20	10	0,1
Верхняя граничная частота исходного сигнала $F_{с\ макс}$, кГц	4	24	110	6	8	12	552	38	18	10
Номера вариантов	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

5 АНАЛОГОВО-ЦИФРОВОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ

5.1 Методические указания

Полученные в результате дискретизации исходных сигналов, отсчеты формируют аналоговый сигнал, то есть АИМ-модуляция – это аналоговый вид модуляции, т.к. все значения амплитуд разрешены.

Возникающие в линейном тракте шумы и искажения, прежде всего, изменяют амплитуду, вызывая паразитную модуляцию.

Отличить паразитную модуляцию от полезной на приеме невозможно.

Амплитудно–импульсная модуляция обладает низкой помехозащищенностью и используется как промежуточный вид модуляции в цифровых системах передачи (ЦСП). Повышение помехозащищенности сигнала возможно применением цифровых методов модуляции:

- импульсно-кодовая модуляция (ИКМ);
- дифференциальная ИКМ (ДИКМ);
- дельта модуляция (ДМ).

В стандартных ЦСП, формирующих стандартные цифровые потоки, применяют ИКМ-модуляцию.

ИКМ-преобразование выполняется в три этапа:

- дискретизация непрерывного сигнала по времени;
- квантование АИМ-отсчетов по уровню;
- кодированию квантованных отсчетов.

5.1.1 Квантование по уровню

При квантовании по уровню динамический диапазон сигнала делится на отрезки, которые называются шагами квантования, внутри которых выбирают разрешенные для передачи уровни (рис. 5.1).

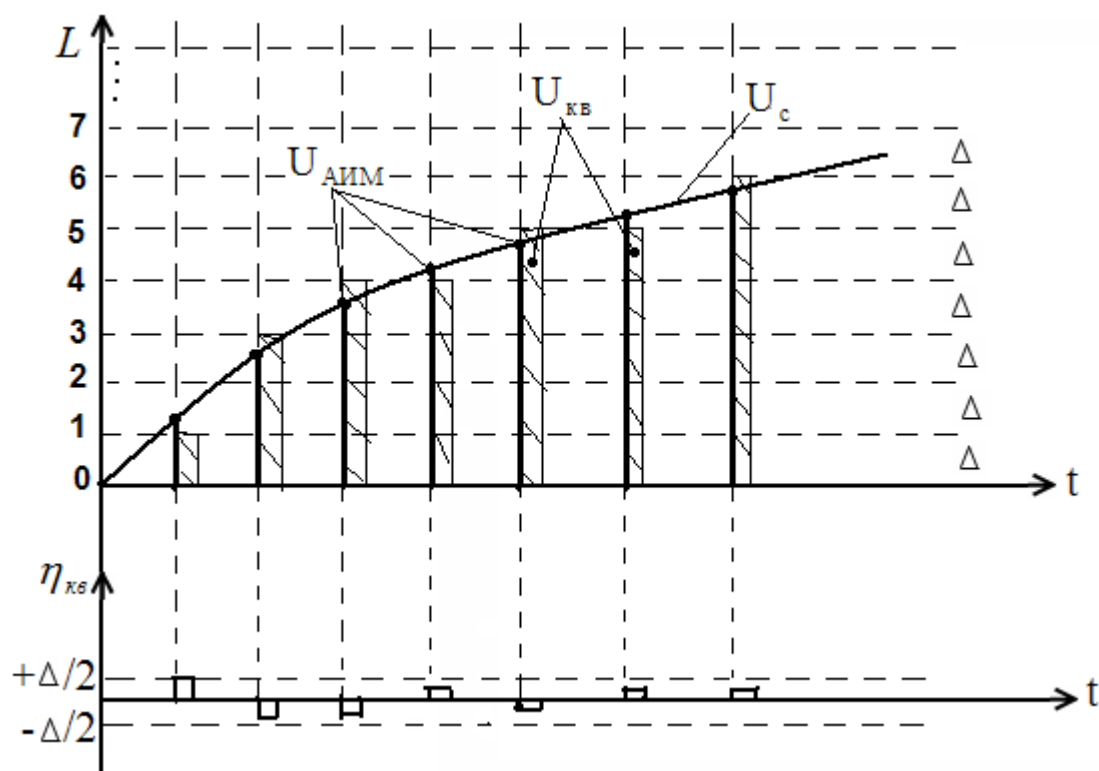


Рис. 5.1 – Квантование АИМ-отсчетов по уровню

При квантовании по уровню амплитуда каждого АИМ отсчета округляется до ближайшего разрешенного для передачи уровня. В результате получаем квантованный по уровню сигнал.

Квантованное значение отсчета отличается от истинного, что приводит к ошибке квантования, а на приеме к специфическому шуму – шуму квантования.

$$\eta_{\text{кв}i} = U_{\text{АИМ}i}(t) - U_{\text{кв}i}(t);$$

$$\eta_{\text{кв макс}} = \pm \frac{\Delta}{2}, \quad (5.1)$$

где $\eta_{\text{кв}}$ – ошибка квантования;

Δ – шаг квантования.

Шум квантования представляет собой последовательность прямоугольных импульсов, следующих с частотой дискретизации, имеющих случайную амплитуду в диапазоне от $-\frac{\Delta}{2}$ до $+\frac{\Delta}{2}$.

Мощность шума квантования на выходе квантующего устройства:

$$W_{\text{кв}} = \frac{\Delta^2}{12}. \quad (5.2)$$

Качество передачи информации оценивают показателем помехозащищенности сигнала от шумов квантования:

$$A_{\text{з ш кв}} = p_c - p_{\text{ш кв}}, \quad (5.3)$$

где p_c – уровень сигнала;

$p_{\text{ш кв}}$ – уровень шума квантования.

Если применять равномерную шкалу квантования ($\Delta=\text{const}$), то уровень шума является постоянным для сигнала с любой амплитудой.

Чем меньше уровень сигнала, тем меньше его помехозащищенность от шума квантования:

$$\downarrow A_{\text{з ш кв}} = \downarrow p_c - \overline{p_{\text{ш кв}}}.$$

Из теории связи известно, что наиболее вероятно появление в КТЧ слабых сигналов.

Для увеличения помехозащищенности слабых сигналов можно уменьшить шаг квантования. Это приведет к увеличению разрешенных к передаче уровней и увеличению разрядности кода:

$$m = \log_2 L, \quad (5.4)$$

где m – разрядность кода;

L – число разрешенных к передаче уровней.

Для обеспечения необходимой помехозащищенности потребуется 10–11 знаков в кодовом слове. Это значительно усложняет конструкцию кодеров и

декодеров и увеличивает спектр группового цифрового сигнала. В этом случае требуется линия передачи с большой пропускной способностью.

В ЦСП с ИКМ для увеличения помехозащищенности слабых сигналов применяют неравномерное квантование (рис. 5.2). Сигналы с низким уровнем квантуют с меньшим шагом, то есть применяют *неравномерную шкалу квантования*. Шаг квантования будет зависеть от того, в каком диапазоне амплитуд находится сигнал.

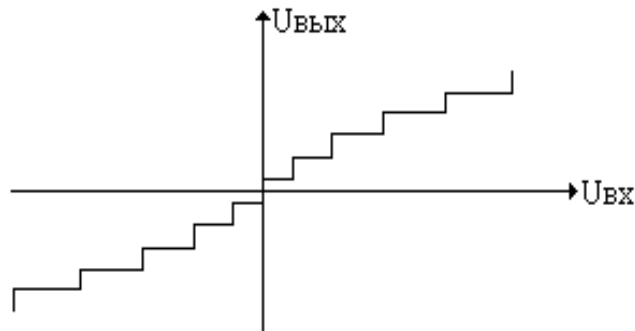


Рис. 5.2 – Неравномерная шкала квантования

В этом случае мощность шума квантования рассчитывают на каждом шаге:

$$W_{ш\,кв\,i} = \frac{\Delta i^2}{12}, \quad (5.5)$$

$$W_{\Sigma\,ш\,кв} = \sum \frac{\Delta i^2}{12}. \quad (5.6)$$

Следовательно, при уменьшении уровня сигнала уменьшается и уровень шума квантования. Защищенность от шумов квантования выравнивается:

$$\tilde{A}_{з\,ш\,кв} \approx p_c - p_{ш\,кв}$$

При этом ошибка квантования не должна превышать значения:

$$\eta_{кв\,дек} \leq \frac{\Delta i^2}{2}. \quad (5.7)$$

5.1.2 Кодирование

При квантовании по уровню определяются номер разрешенного для передачи уровня в десятичной системе счисления.

В результате кодирования в канальном интервале размещается кодовая группа, соответствующая номеру уровня, которого достиг квантованный отсчет, в двоичной системе счисления.

То есть кодер преобразует номер разрешенного к передаче уровня из десятичной системы счисления в двоичную.

Телефонный сигнал и сигнал радиовещания двухполярные, значит, кодируются отсчеты разных полярностей. Обычно применяют натуральные, либо симметричные коды.

В кодерах формирование нелинейной (неравномерной) шкалы квантования по уровню осуществляется с помощью схем логики.

Характеристика компрессии формируется как линейно-ломаная аппроксимация характеристики компрессора (рис. 5.3). Динамический диапазон 2-х полярного сигнала разбит на 16 сегментов, по 8 в каждой полярности. Внутри каждого сегмента с равномерным шагом расположены 16 уровней квантования, разрешенных к передаче (внутри сегмента шаг квантования равномерный). Всего в кодере 256 уровней, разрешенных к передаче.

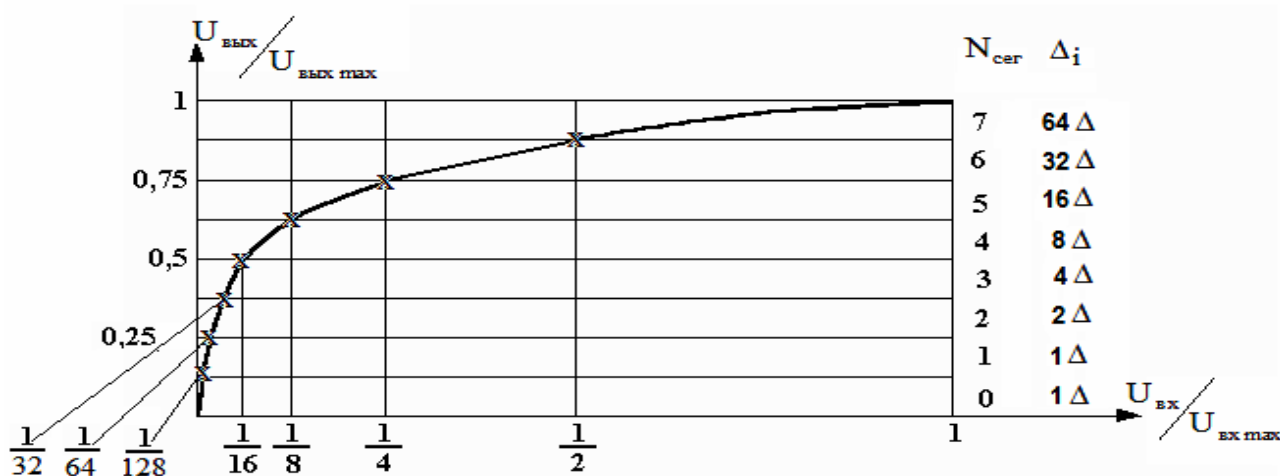


Рис.5.3 – Шкала квантования для импульсов положительной полярности кодера с неравномерной шкалой квантования

Шаг квантования в сегментах 0 и 1 минимальный и равен Δ . Начиная с сегмента 2, шаг квантования увеличивается вдвое. Таким образом, в 7-ом сегменте шаг квантования равен 64Δ . При этом в 0-ом сегменте с шагом Δ расположена $1/128$ часть диапазона амплитуд квантуемого сигнала, а в 7-ом сегменте с шагом 64Δ - $1/2$ часть диапазона амплитуд.

При квантовании АИМ-отсчетов должно выполняться условие:

$$\eta_{\text{кв}i} \leq \frac{\Delta i^2}{2}, \quad (5.7)$$

где Δi – шаг квантования в i -том сегменте, которого достиг квантуемый отсчет.

Стандартные кодеры ИКМ используют 8-ми разрядный код ($m=8$) с конкретным назначением каждого разряда.

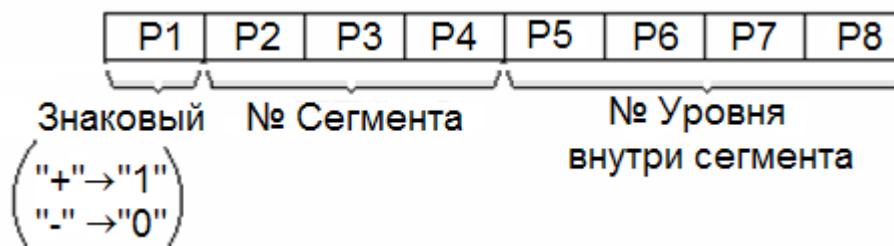


Рис. 5.4 – Структура кодовой комбинации квантованного отсчета на выходе кодера ИКМ

Амплитуда квантованного отсчета формируется путем суммирования эталонных напряжений (табл. 5.1).

$$U_{\text{кв}} = U_{\text{нг}i} + \sum_{k=1}^4 a_i \cdot \Delta_i \cdot 2^{4-k}, \quad (5.5)$$

где $U_{\text{нг}i}$ – нижняя граница сегмента, в котором находится кодируемый отсчет;

a_i – символ разряда (0 или 1);

Δ_i – шаг квантования внутри сегмента.

Таблица эталонных напряжений

№ сегмента	Шаг квант. внутри сегмента Δ_i	Нижняя граница сегмента $U_{нг_i}$	Код сегмента	Эталонные напряжения в пределах одного сегмента
0	Δ	0Δ	000	$8\Delta \ 4\Delta \ 2\Delta \ 1\Delta$
1	Δ	16Δ	001	$8\Delta \ 4\Delta \ 2\Delta \ 1\Delta$
2	2Δ	32Δ	010	$16\Delta \ 8\Delta \ 4\Delta \ 2\Delta$
3	4Δ	64Δ	011	$32\Delta \ 16\Delta \ 8\Delta \ 4\Delta$
4	8Δ	128Δ	100	$64\Delta \ 32\Delta \ 16\Delta \ 8\Delta$
5	16Δ	256Δ	101	$128\Delta \ 64\Delta \ 32\Delta \ 16\Delta$
6	32Δ	512Δ	110	$256\Delta \ 128\Delta \ 64\Delta \ 32\Delta$
7	64Δ	1024Δ	111	$512\Delta \ 256\Delta \ 128\Delta \ 64\Delta$

Пример

Определить структуру кодовой комбинации, если АИМ-отсчет имеет амплитуду: $U_{АИМ}=+353 \Delta$.

Отсчет имеет положительный знак, что отражается в первом разряде кодовой комбинации. Амплитуда отсчета больше нижней границы 5-го сегмента, но меньше нижней границы 6-го сегмента. Следовательно, отсчет находится в 5-м сегменте. В разрядах со 2-го по 4-ый записан код сегмента, а на выход кодера подключается эталонное напряжение выбранного сегмента. Далее кодируются символы разрядов с 5-го по 8-ой. То есть определяется номер разрешенного для передачи уровня внутри сегмента, которого достиг отсчет. Для кодирования уровня внутри сегмента используется равномерное квантования и поразрядное взвешивание. Для кодирования отсчета внутри сегмента необходимо 4 эталонных напряжения. Кодер последовательно подключает дополнительные эталонные напряжения из выбранного сегмента, начиная со старшего. Если сумма эталонных напряжений на выходе кодера

превышает амплитуду кодируемого отсчета, то дополнительное эталонное напряжение отключается, в соответствующем разряде записывается символ – 0.

Амплитуда квантованного отсчета на выходе кодера:

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

Структура кодовой комбинации:

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

Из полученной кодовой комбинации следует, что кодируемый АИМ-отсчет положительной полярности пересек 6-й разрешенный для передачи уровень в 5-м сегменте.

Ошибка квантования для этого отсчета равна:

$$\eta_{кв код} = U_{АИМ} - U_{кв} = +353 \Delta - 352\Delta = 1\Delta.$$

Всего в кодере используется 11 эталонных напряжений, чтобы закодировать $16^2 = 256$ квантованных значений. Что значительно упрощает требования к источникам эталонов и кодера в целом. Порог ограничения такого кодера:

$$U_{огр} = 1024\Delta + 512\Delta + 256\Delta + 128\Delta + 64\Delta = 1984\Delta.$$

Если амплитуда отсчета больше порога ограничения, то кодер округлит его до значения $U_{огр}$.

Номер сегмента, в котором находится отсчет, кодируется за 3 шага (рис. 5.5).

При кодировании номера сегмента на первом шаге кодируется символ 2-го разряда, на 2-м 3-го, на 3-м 4-го разряда. Причем, на первом шаге отсчет сравнивается с эталонным напряжением нижней границы 4-го сегмента - 128Δ .

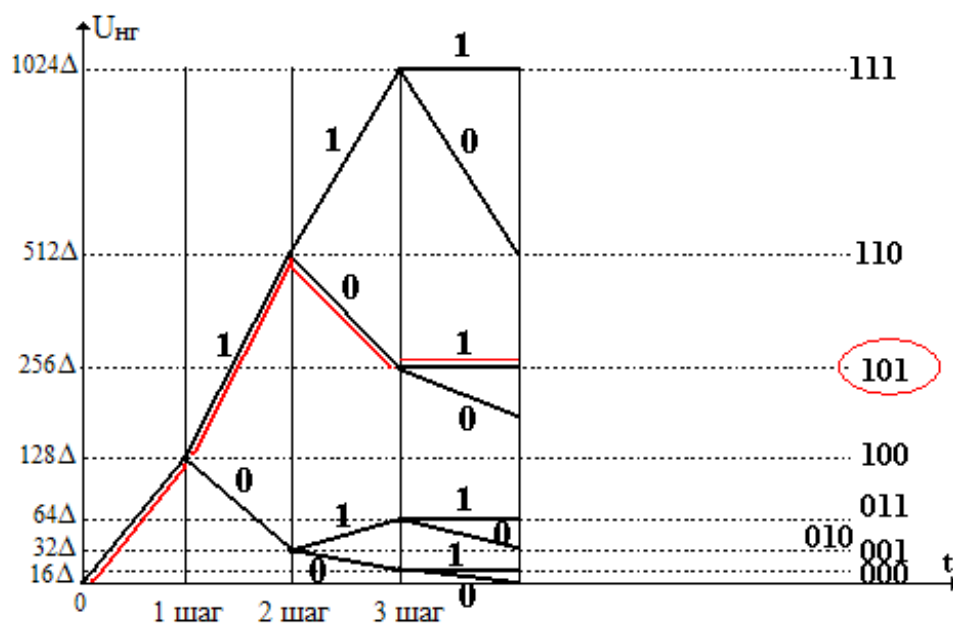


Рис. 5.5 – Порядок кодирования номера сегмента (красным отмечено кодирование номера сегмента для отсчета, рассмотренного в примере)

Если отсчет больше нижней границы 4-го сегмента, 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.

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 сегмента. Коэффициент компрессии равен отношению величины самого большого шага квантования к самому малому.

Выигрыш в помехозащищенности от шума квантования равен 24 дБ.

Кодер осуществляет две операции: квантование по уровню и кодирование. На выходе кодера ИКМ формируется кодовая комбинация, соответствующая номеру разрешенного к передаче уровня внутри сегмента, который пересек АИМ-отсчет.

В соответствии с выражением (5.7) нормируемая ошибка квантования не должна быть больше половины шага квантования внутри сегмента, в котором находится кодируемый отсчет.

Кодер производит округление АИМ-отсчета всегда в меньшую сторону и ошибка квантования на выходе кодера **может быть больше половины шага квантования**.

Уменьшение ошибки квантования производится при декодировании.

Декодирование цифрового сигнала состоит в преобразовании кодовой группы в соответствующие им квантованные отсчеты аналоговых сигналов.

В декодерах величина АИМ отсчета формируется путем суммирования весовых значений символов кодовой комбинации. Декодер **обязательно добавляет** к результату эталонное напряжения, равное половине шага квантования расшифрованного сегмента.

Пример

На выходе кодера передатчика сформирована кодовая комбинация квантованного отсчета: 11010110. Определить амплитуду квантованного отсчета на выходе декодера приемника системы передачи с ИКМ.

В соответствии со структурой кодовой комбинации, декодер суммирует эталонные напряжения нижней границы и дополнительные эталонные напряжения в пределах сегмента, в котором находится АИМ отсчет.

Декодер последовательно расшифровывает кодовую комбинацию, поступившую на его вход. «1» в 1-ом разряде свидетельствует о том, что отсчет положительный. Следовательно, декодер при формировании АИМ-отсчета будет использовать эталонные напряжения положительной полярности.

Далее декодер анализирует разряды 2-4, где зашифрован код сегмента. В примере это 5-й сегмент. К выходу будет подключено эталонное напряжение нижней границы этого сегмента. Исходя из структуры разрядов 5-8, декодер подключит к выходу дополнительные эталонные напряжения из расшифрованного сегмента. Для уменьшения ошибки квантования к полученному значению амплитуды отсчета декодер обязательно добавит половину шага квантования из расшифрованного сегмента:

$$U_{кв\ дек} = 256\Delta + 0 \cdot 128\Delta + 1 \cdot 64\Delta + 1 \cdot 32\Delta + 0 \cdot 16\Delta + 8\Delta = 360\Delta.$$

$$\eta_{\text{кв дек}} = U_{\text{АИМ}} - U_{\text{кв дек}} = |353\Delta - 360\Delta| = 7\Delta < \left(\frac{\Delta_5}{2} = \frac{16\Delta}{2} = 8\Delta\right).$$

Запомнить: ошибка квантования на выходе декодера всегда соответствует норме:

$$\eta_{\text{кв дек}} \leq \frac{\Delta_i}{2}.$$

5.2 Задание и исходные данные

Задание

Закодировать в нелинейном кодере заданные значения АИМ импульсов.

1. Рассчитать величины ошибок квантования на выходе кодера и сравнить их с шагом квантования в выбранном сегменте.

2. Декодировать в нелинейном декодере полученные кодовые комбинации.

3. Рассчитать величины ошибок квантования на выходе декодера для двух заданных отсчетов и сравнить их с шагом квантования в выбранном сегменте.

Исходные данные для выполнения заданий взять из табл. 5.2.

Таблица 5.2

Исходные данные

Амплитуда отсчета аналогового сигнала $U_{1\text{АИМ}}, \Delta$	1087 Δ	543 Δ	271 Δ	135 Δ	281 Δ	455 Δ	94 Δ	315 Δ	617 Δ	777 Δ
Амплитуда отсчета аналогового сигнала $U_{2\text{АИМ}}, \Delta$	Номера вариантов									
- 511 Δ	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09
- 214 Δ	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
- 148 Δ	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
- 452 Δ	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
- 89 Δ	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
-105 Δ	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
- 653 Δ	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69
- 367 Δ	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
- 544 Δ	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
- 38 Δ	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ЗАЩИТЕ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

1. Абсолютные уровни передачи по мощности, напряжению и току. Расчетные формулы.

2. Дать понятие относительного уровня передачи и измерительного уровня передачи.

3. Затухание четырехполюсника. Расчетные формулы.

4. Усиление четырехполюсника. Расчетные формулы.

5. Взаимосвязь между уровнем передачи по мощности и уровнем передачи по напряжению.

6. Как связаны между собой относительные и абсолютные уровни передачи?

7. Что такое усиление и затухание четырехполюсника?

8. Какие приборы применяются для измерения уровней передачи?

9. Что понимают под энергетическим спектром первичного сигнала, его аналитическое выражение и физическая сущность?

10. Динамический диапазон первичного сигнала, физический смысл величин, входящих в формулу для определения динамического диапазона.

11. Пик-фактор первичного сигнала. Физический смысл величин, входящих в формулу для определения пик-фактора.

12. Защищенность сигнала от помех. Расчетная формула. Физический смысл величин, входящих в формулу для расчета помехозащищенности.

13. Объем сигнала. Расчетная формула. Физический смысл величин, входящих в формулу для расчета объема сигнала.

14. Количество информации в первичном сигнале или производительность источника сигнала. Расчетная формула. Физический смысл величин, входящих в формулу для расчета объема сигнала.

15. В чем сущность частотного разделения каналов при построении многоканальных систем передачи?

16. Обосновать выбор амплитудной модуляции при формировании

канальных сигналов в системах с ЧРК?

17. Назначение узлов структурной схемы системы передачи с ЧРК.

18. Какие искажения в групповом тракте систем передачи с ЧРК приводят к нарушению принципа ортогональности (переходам между каналами)?

19. Что понимается под дискретизацией непрерывных сигналов по времени?

20. Сформулируйте теорему Котельникова, поясните ее физический смысл.

21. Из каких соображений выбирается частота дискретизации сигналов в СП с ВРК?

22. Почему теорема Котельникова применима к непрерывным сигналам только с ограниченным спектром?

23. Какие спектральные составляющие имеет АИМ-сигнал?

24. Какие искажения имеют место при дискретизации непрерывного сигнала, если частота дискретизации меньше удвоенного значения верхней частоты сигнала?

25. Приведите структурную схему СП с ВРК с АИМ и поясните назначение и работу отдельных ее узлов.

26. Преимущества цифровых систем передачи.

27. Этапы импульсно-кодовой модуляции (ИКМ). Назначение каждого этапа.

28. Почему в ЦСП с ИКМ используется неравномерное квантование АИМ-отсчетов по уровню?

29. Что называют шумом квантования? Причины его возникновения?

30. Назначение разрядов стандартной кодовой комбинации квантованного отсчета, полученной на выходе кодера.

31. Пояснить принцип формирования кодовой комбинации на выходе кодера.

32. Пояснить принцип формирования квантованного отсчета на выходе декодера.

7 СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васин Н. Н. и др. Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей. Учебник для вузов. ПГУТИ, Каф. СС. - Электрон. текстовые дан. (1 файл: 2,60 Мб). - Самара : ИНУЛ ПГУТИ, 2017. Электрон. версия печ. издания 2017 г. Режим доступа: http://elib.psuti.ru/Vasin_Osnovy_postroeniya_infokommunikacionnyh_sistem_i_setej_uchebnik_2017.pdf, свободный. - Б. ц.

2. Марыкова Л. А. Методические рекомендации к практическим занятиям «Уровни передачи и затухания четырехполюсников» по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Режим доступа: http://elib.psuti.ru/Marykova_Urovni_peredachi_i_zatuhaniya_chetyrehpolyusnikov_prakticheskie_zanyatiya_2019.pdf, свободный. - Б. ц.

3. Марыкова Л. А. Методические рекомендации к практическим занятиям «Основные характеристики первичных сигналов» по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Режим доступа: http://elib.psuti.ru/Marykova_Osnovnye_harakteristiki_pervichnyh_signalov_prakticheskie_zanyatiya_2019.pdf, свободный. - Б. ц.

4. Марыкова Л. А. Методические рекомендации к практическим занятиям «Принципы построения систем передачи с частотным разделением каналов» по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Режим доступа: http://elib.psuti.ru/Marykova_principy_postroeniya_sistem_peredachi_s_chastotnym_razdeleniem_kanalov_metod_ukazaniya_k_prakt_zanyatijam_2020.pdf, свободный. - Б. ц.

5. Марыкова Л. А. Методические рекомендации к практическим занятиям «Принципы построения систем передачи с временным разделением каналов» по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Режим доступа: http://elibr.psuti.ru/Marykova_principy_postroeniya_sistem_peredachi_s_vremennym_razdeleniem_kanalog_metod_ukazaniya_k_prakt_zanyatiyam_2020.pdf, свободный. - Б. ц.

6. Марыкова Л.А. Методические рекомендации к практическим занятиям «Нелинейный кодек с цифровым компандированием» по дисциплине «Основы построения инфокоммуникационных систем и сетей» для студентов очной и заочной форм обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Режим доступа: http://elibr.psuti.ru/Marykova_nelinejnyj_kodek_s_cifrovym_kompandirovaniem_metod_ukazaniya_k_prakt_zanyatiyam_2020.pdf, свободный. - Б. ц.