Некоммерческое акционерное общество

АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра Телекоммуникационных систем и связи

ТЕОРИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЯЗИ

Методические указания по выполнению практических работ
для студентов специальности
5В071900 – Радиотехника, электроника и
телекоммуникации

Алматы 2018

СОСТАВИТЕЛИ: Хизирова М.А., Шугайып У Теория элекрической связи. Методические указания по выполнению практических работ для студентов специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации. – Алматы: АУЭС, 2017. – 27 с.

Методические указания содержат указания по подготовке к проведению практических работ.

Методические указания предназначены для студентов всех форм обучения специальности 5В071900 – Радиотехника, электроника и телекоммуникации.

Рецензент: к.т.н. Мусапирова Г.К.

Печатается по внеплановому изданию некоммерческого акционерного общества «Алматинский университет энергетики и связи» на 2017 г.

© НАО «Алматинский университет энергетики и связи», 2017г.

Введение

Теория электрической связи относится к числу фундаментальных дисциплин подготовки инженеров, владеющих современными методами анализа и синтеза систем и устройств связи различного назначения и имеет цель сформировать знания основ теорий передачи и кодирования сообщений, методов передачи и приема дискретных и непрерывных сообщений, цифровых методов передачи сообщений, принципов построения многоканальных систем передачи и методов повышения эффективности систем электросвязи, а также умений использовать методы анализа систем электрической связи для количественной оценки их эффективности.

Предметом изучения дисциплины являются закономерности процессов преобразования и передачи информации в системах электросвязи.

Знания и умения по дисциплине являются составной частью общепрофессиональной подготовки к самостоятельной инженерно-эксплуатационной деятельности.

Дисциплина базируется на предшествующем изучении физики, математики, дискретной математики, теории вероятностей, математической статистики и информатики. В свою очередь «Теория электрической связи» является базовой для дисциплин «Радиопередающие устройства», «Радиоприемные устройства», «Цифровые системы передачи», «Микропроцессоры и цифровая обработка сигналов», «Средства и комплексы радиорелейной, спутниковой и электропроводной связи».

При решении задач необходимо использовать Международную систему единиц (СИ). Результаты решения целесообразно представить в единицах измерения, удобных для осмысления.

В методическом указании использованы обозначения физических величин, приведенных в [2]. Обозначения наиболее часто используемых физических величин приведены в таблице 1.

Таблица 1- Обозначение физических величин

Наименование физической величины	Обозначение
1 Амплитуда гармонических составляющих спектра	$A_{m1}, A_{m2}, ...; U_{m1}, U_{m2}, ...; I_{m1}, I_{m2}, ...$
2 Амплитуда постоянной составляющей спектра	A_0, U_0, I_0
3 Ширина спектра сигнала (ширина полосы частот)	$\Delta f, \Delta F_c$
4 Объем сигнала	V_c
5 Динамический диапазон сигнала (канала)	$Д_c (Д_к)$

6 Спектральная плотность амплитуд сигнала	$S(\omega)$
7 Длительность импульса	τ
8 Период следования (частота следования) импульсов	$T(F)$
9 Длительность сигнала	T_c
10 Мгновенные значения сигналов	$u(t), i(t), s(t)$
11 База сигнала	B
12 Скважность импульсов	q
13 Математическое ожидание	m
14 Дисперсия	σ^2
15 Энтропия	H
16 Пропускная способность	C
17 Спектральная плотность помех	$N(\omega)$
18 Угловая частота	ω, Ω
19 Циклическая частота	f, F
20 Индекс частотной модуляции	M

Практическое занятие №1

ПЕРВИЧНЫЕ СИГНАЛЫ ЭЛЕКТРОСВЯЗИ. СООБЩЕНИЕ И СИГНАЛ, СИСТЕМА СВЯЗИ, КАНАЛ СВЯЗИ

Электрический сигнал – это материальный носитель (переносчик) сообщения. В системах электросвязи для передачи сообщения на дальние расстояния переносчиком является переменный электрический ток (в проводных линиях), электромагнитное поле (радиоволны), световые волны (оптоволоконнные линии связи).

Скорость распространения перечисленных переносчиков приближается к скорости света и с помощью этих переносчиков можно передавать огромное количество информации.

В любой системе электросвязи должны быть устройства, осуществляющие преобразования:

-на передаче: информация - сообщение - сигнал;

-на приеме: сигнал - сообщение - информация.

Структурная схема систем связи изображена на рисунке 1.1.

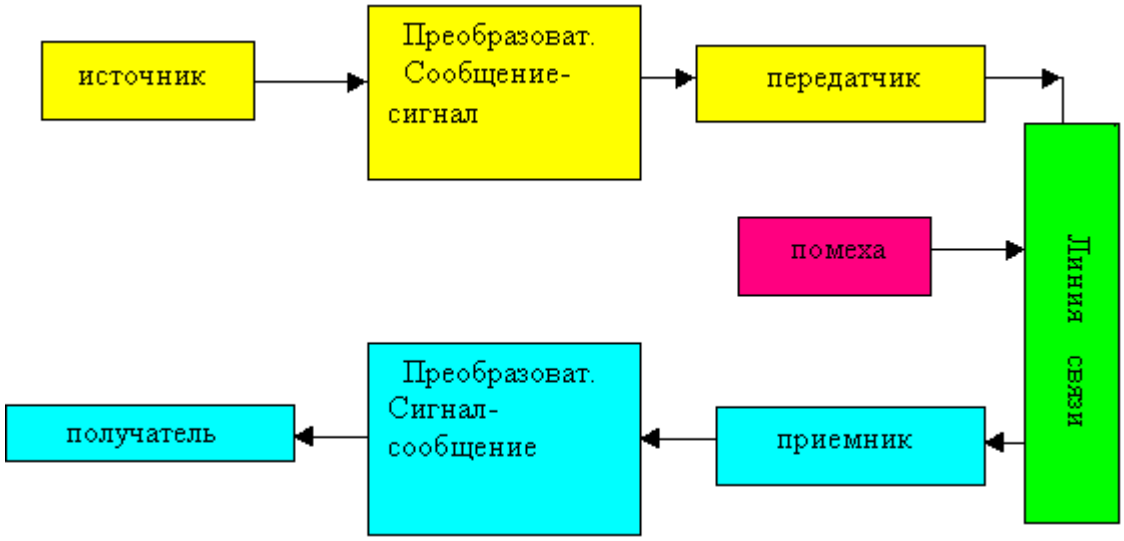


Рисунок 1.1 - Структурная схема системы связи

Источник и получатель информации являются абонентами в системе связи, поэтому их называют абонентскими устройствами или терминалами.

В передатчике происходит преобразование первичного сигнала в высокочастотный, удобный для передачи по линии связи.

В приемнике из принятого сигнала извлекается первичный сигнал, но из-за помех в линии связи он несколько отличается от исходного.

Канал связи – это совокупность технических средств и среды распространения , обеспечивающих передачу сообщения от источника к получателю. В зависимости от вида сообщений и среды распространения различают каналы: телефонные, телеграфные, передачи данных, звукового и телевизионного вещания, проводные и кабельные, радиосвязи, цифровые.

Канал является дискретным, если на его входе и выходе - дискретные (по состояниям) сигналы, и непрерывным, если эти сигналы непрерывные. У дискретно-непрерывного и непрерывно-дискретного канала на входе действуют дискретные сигналы, а на выходе непрерывные и наоборот.

Совместная вероятность подачи символа b_i на вход и появление символа b_i на выходе

$$P(b_i, \tilde{b}_j) = P(b_i)P(\tilde{b}_j|b_i) = P(\tilde{b}_j)P(b_i|\tilde{b}_j).$$

Вероятность того, что на вход подан символ b_i (при условии, что на выходе появится символ b_j (апостериорная вероятность), то есть формула Байеса

$$P(b_i|\tilde{b}_j) = \frac{P(b_i)P(\tilde{b}_j|b_i)}{\sum_{i=1}^{m} P(b_i)P(\tilde{b}_j/b_i)}$$

А вероятность при передаче символов по двоичному однородному симметричному каналу без памяти и страния будет принято ошибочно q из n символов, определяется формулой

$$P(q) = C^q_n p^q_0 (1-p_0)^{n-q}.$$

Емкостью (объемом) сигнала V_c называют произведение трех его физических характеристик: длительности сигнала T_c, ширины спектра F_c и динамического диапазона уровней сигнала (по мощности) D_c:

$$V_c = T_c F_c D_c, \quad (1.1)$$

$$D_c = 10\, lg \cdot Pmax/Pmin. \quad (1.2)$$

где $Pmax$ – максимальное (пиковое) значение мощности сигнала, $Pmin$ - минимальное значение мощности сигнала.

При наличии шумов в канале допустимый минимальный уровень мощности P_{min} обычно определяется средней мощностью шумов в канале. Поэтому можно записать

$$D_c = 10\, lg \cdot Pmax/Pmin, \quad (1.3)$$

$$D_c = 10 \cdot lg \cdot П^2 \cdot P_c/P_ш. \quad (1.4)$$

где $П^2 = P_{max} / P_c$ пик-фактор сигнала по мощности. Эта величина зависит от статистики сигнала. Отношение средних мощностей сигнала и шума $P_c/P_ш$ часто называют просто отношением сигнал-шум.

Аналогично емкости сигнала можно ввести характеристику, называемую емкостью (объемом) канала

$$V_k = T_k \cdot F_k \cdot D_k \,, \qquad (1.5)$$

где T_k время использования канала; F_k полоса пропускаемых каналом частот; D_k динамический диапазон уровней, пропускаемых каналом с допустимыми искажениями.

Кодирование (в узком смысле) — сопоставление дискретному сообщению a_i $(i=1,K)$ определенной последовательности кодовых символов, выбираемых из кодового алфавита. Если число разрядов во всех кодовых комбинациях n = const, то код называется равномерным. Число кодовых комбинаций равномерного кода

$$N=m^n, \qquad (1.8)$$

где m — основание кода; n — число разрядов в кодовой комбинации.

Неравномерные коды характеризуются различным числом символов в кодовых комбинациях. Каждую букву ансамбля $\{a_i\}$ с объемом K можно закодировать при

$$N = m^n \geq К \,, \qquad (1.9)$$

Если число кодовых комбинаций N—K, то код называется простым (примитивным) . Число разрядов в кодовой комбинации равномерного примитивного кода

$$n = log_m K = log_2 K / log_2 m \qquad (1.10)$$

Задачи для самостоятельного решения

На рис. 1.1 показана реализация напряжения нормированного первичного сигнала b(t) в системе передачи речи с максимальной частотой спектра F_{max}Гц кГц. С какой частотой работает генератор стробирования (взятия отсчетов) речевого сигнала, если шаг дискретизации во времени $\Delta t = 1/(2F_{max})$? Решить задачу для вариантов числовых значений, заданных в таблице 1.1. (вариант выбирается по списку в учебном журнале)

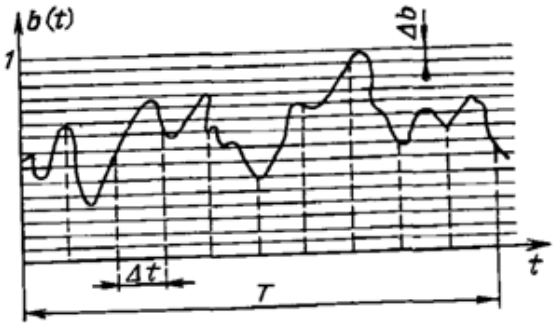


Таблица 1.1

вариан	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

т												
F_{max} ,кГц	4	5	6	2	6	9	10	8	1	4	9	1
T, мс	4	4	2	3	6	10	9	1	2	9	5	3
Δb ,В	0.01	0.02	0.02	0.06	0.01	0.02	0.07	0.08	0.01	0.04	0.04	0.05
|b|макс, В	1	2	3	3	2	4	7	4	3	2	2	5

Канал связи с полосой F_K предполагается использовать в течение T_c. В канале действует шум с равномерной спектральной плотностью мощности N_0. Какова предельная мощность сигнала, который может быть передан по данному каналу, если объем канала V_k? Решить задачу для вариантов числовых значений, приведенных в табл. 1.2. (вариант выбирается по списку в учебном журнале)

Таблица 1.2

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$F_к$, кГц	4	9	4	8	6	5	2	8	10	2	2	2
N_o ,мВт/Гц	10^{-4}	10^{-9}	10^{-5}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-4}	10^{-6}	10^{-8}	10^{-8}	10^{-4}	10^{-5}
$V_к$,	10^4	10^6	10^6	10^6	10^5	10^6	10^6	10^6	10^7	10^6	10^5	10^6
$T_к$,с	7	7	20	8	5	30	5	10	7	9	9	20

1.3 Вычислить апостериорные вероятности (формула Байера) передачи символов в дискретном однородном симметричном двоичном канале со стиранием для вариантов числовых значений, заданных в табл. 1.3. (вариант выбирается по списку в учебном журнале)

Таблица 1.3

Вариан	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	10	**u**	12
P_1	0,9	0,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,9	0,7
P_0	0,0				0,2	0,1	0,0				0,0	0,2
P_c		0,0	0,3	0,1				0,0	0,3	0,1		
$P(b_1)$	0,5	0,4	0,9	0,5	0,8	0,3	0,3	0,8	0,9	0,4	0,6	0,3
$d(b_2)$	0,5	0,6	0,1	0,5	0,2	0,7	0,7	0,2	0,1	0,6	0,4	0,7

Таблица 1.3

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
p_1	0,99	0,9	0,6	0,8	0,7	0,8	0,9	0,9	0,6	0,7	0,9	0,75
p_0	0,005	—	—	—	0,2	0,15	0,09	—	—	—	0,06	0,22
p_c	—	0,06	0,35	0,1	—	—	—	0,02	0,35	0,1	—	—
$P(b_1)$	0,5	0,4	0,9	0,5	0,8	0,3	0,3	0,8	0,9	0,4	0,6	0,3
$d(b_2)$	0,5	0,6	0,1	0,5	0,2	0,7	0,7	0,2	0,1	0,6	0,4	0,7

1.4 Дискретный двоичный источник выдает последовательности из трех символов $A\{t_l)$, $A(t_2)$, $A(t_3)$. Возможные реализации источника имеют вероятности заданных в таблице 1.4. Найти: вероятности появления 2-символьных реализаций $P(a_{i1}a_{i2})$ и $P(a_{i2}a_{i3})$; безусловные вероятности $P(a_{i1})$, $P(a_{i2})$, $P(a_{i3})$; условные вероятности переходов $P(a_{i3}|a_{i1}a_{i2}), P(a_{i1}a_{i2}|..|a_{i3}), P(a_{i3}|a_{i2}), P(a_{i2}|a_{i1})$. (вариант выбирается по списку в учебном журнале)

Таблица 1.4

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
P_1	0,15	0,1	0,2	0,17	0,03	0,1	0,05	0,1	0,5	0,4	0,15	0,05
P_2	0,15	0,2	0,1	0,2	0,26	0,05	0,05	0,1	0,25	0,3	0,1	0,25
P_3	0,1	0,05	0,1	0,15	0,09	0,04	0,125	0,15	0,125	0,12	0,15	0,05
P_4	0,1	0,1	0,1	0,15	0,05	0,01	0,125	0,15	0,0625	0,06	0,2	0,05
P_5	0,1	0,2	0,3	0,1	0,16	0,2	0,175	0,2	0,0313	0,03	0,05	0.2
P_6	0,1	0,05	0,1	0,13	0,1	0,03	0,125	0,05	0,02	0,01	0,15	0,1
P_7	0,15	0,25	0,05	0,07	0,09	0,07	0,15	0,05	0,005	0,04	0,15	0,05
P_8	0,1	0,05		0,03	0,22	0,5	0,2		0,0062	0,04	0,05	

1.5 Сообщения, выбираемые из ансамблей, имеющих объем K=8; 9; 16; 17; 32; 33; 256; 260, кодируются равномерным кодом с основанием m = 2; 3. В каких случаях величина $n=\log_2 K/(K\log_2 m)$ будет точно выражать длину кодовой комбинации?

Практическое занятие №2

ТЕОРИИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ. КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ.

Количество информации, определяется

$$I(a_l)=-\log P(a_l) \qquad (4.1)$$

Основание логарифма в (4 1) может быть произвольным, оно определяет лишь систему единиц измерения количества информации. Чаще всего

$$I(a_l)=-\log_2 P(a_l) \qquad (4.2)$$

Среднее количество информации или энтропия источника независимых сообщений, приходящееся на один символ, выдаваемый дискретным источником независимых сообщений с объемом алфавита *К,* можно найти как математическое ожидание дискретной случайной величины определяющей количество информации, содержащееся в одном случайно выбранном символе (знаке)-

$$H(A)^{-} = \overline{I(a_l)} = -\sum_{i=l}^{K} P(a_i)\log P(a_i). \qquad (4.3)$$

Одной из информационных характеристик дискретного источника является избыточность, который зависит как от протяженности статистических связей между последовательно выбираемыми символами (памяти источника), так и от степени неравновероятности отдельных символов.

$$x = 1 - H(A)/H(A) = 1 - H(A)/\log K \qquad (4.4)$$

$$H'(A) = \upsilon_H H(A) = H(A)/Tcp \qquad (4.5)$$

где T_{cp} средняя длительность одного символа.

Энтропия системы дискретных случайных величин X и Y

$$H(X,Y) = -\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} P(x_i, y_j)\log_2 P(x_i, y_j), \qquad (1.3)$$

где $P(x_i, y_j)$ – вероятность совместного появления i-го и j-го значений случайных величин X и Y, или в форме математического ожидания

$$H(X,Y) = M[-\log_2 P(X,Y)],$$

где $\log_2 P(X,Y)$ – случайная величина, принимающая значения согласно матрице совместного распределения, и для которой значение $\log_2 P(x_i,y_j)$ имеет вероятность $P(x_i,y_j)$.

Задачи для самостоятельного решения:

2.1 Источник сообщений выдает символы из ансамбля А= $\{a_i\}$ с вероятностями $P(a_i)$ которые приведены в табл. 2.1.

а) Найти количество информации, содержащееся в каждом из символов источника при их независимом выборе (источник без памяти). Вычислить энтропию и избыточность заданного источника.

б) Закодировать символы данного ансамбля кодом Хаффмена. Построить граф кода и определить среднюю длину кодовой комбинации. Сравнить полученный результат с минимальной длиной кодовой комбинации при кодировании равномерным двоичным кодом. Показать, что код Хаффмена близок к оптимальному по Шеннону коду.

в) Построить код Шеннона — Фано для данных сообщений и вычислить среднюю длину кодовой комбинации и сравнить ее с энтропией сообщения.

Таблица 2.1

вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$P(a_1)$	0.1	0.1	0.03	0.4	0.5	0.06	0.4	0.24	0.24	0.1	0.2	0.02
$P(a_2)$	0.25	0.05	0.26	0.25	0.04	0.15	0.18	0.18	0.28	0.1	0.1	0.5
$P(a_3)$	0.15	0.04	0.09	0.05	0.03	0.15	0.1	0.38	0.05	0.1	0.3	0.03
$P(a_4)$	0.15	0.01	0.05	0.3	0.15	0.07	0.1	0.1	0.22	0.2	0.25	0.15
$P(a_5)$	0.3	0.2	0.16	-	0.04	0.05	0.07	0.06	0.15	0.35	0.15	0.04
$P(a_6)$	0.05	0.03	0.1	-	0.12	0.29	0.02	0.02	0.06	0.15	-	0.12
$P(a_7)$	-	0.07	0.09	-	0.1	0.19	0.05	0.02	-	-	-	0.04
$P(a_8)$	-	0.5	0.22	-	0.02	0.04	0.04	-	-	-	-	0.1

2.2 Согласно экспериментальным данным безусловные вероятности букв русского алфавита характеризуются табл. 2.2. Найти энтропию источника, выдающего текст из этих букв, при отсутствии статистических связей между буквами. Вычислить избыточность источника, выдающего русский текст, обусловленную неравновероятностью выбора букв, а также и их статистическими связями (памятью источника), если по

экспериментальным данным энтропия источника $H(A)$=1 бит/символ.
Таблица 2.2

Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность
Пробел	0,175	**К**	0,028	**Ч**	0,012
о	0,090	М	0,026	й	0,010
е	0,072	Д	0,025	Х	0,009
а	0,062	П	0,023	Ж	0,007
и	0,062	У	**0,021**	Ю	0,006
Т	0,053	Я	0,018	Ш	0,006
Н	0,053	Ы	0,016	Щ	0,004
с	0,045	З	0,016	Ц	0,003
Р	0,040	Ь, Ъ	0,014	Э	0,002
В	0,038	Б	0,014	**ф**	0,002
Л	0,035	Г	0,013		

Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность
Пробел	0,175	к	0,028	ч	0,012
о	0,090	м	0,026	й	0,010
е	0,072	д	0,025	х	0,009
а	0,062	п	0,023	ж	0,007
и	0,062	у	0,021	ю	0,006
т	0,053	я	0,018	ш	0,006
н	0,053	ы	0,016	ц	0,004
с	0,045	з	0,016	щ	0,003
р	0,040	ь, ъ	0,014	э	0,002
в	0,038	б	0,014	ф	0,002
л	0,035	г	0,013		

Буква	Вероятность	Буква	Вероятность	Буква	Вероятность
Пробел	0,2	h	0,047	w	0,012
e	0,105	d	0,035	g	0,011
t	0,072	l	0,028	b	0,010
o	0,065	c	0,023	v	0,008
a	0,063	f	0,023	k	0,003
n	0,058	u	0,023	x	0,001
i	0,055	m	0,021	j	0,001
r	0,052	p	0,018	q	0,001
s	0,052	y	0,012	z	0,001

2.3 Найти пропускную способность m-ичного симметричного канала без памяти и стирания по числовым значениям, приведенным в табл. 2.3.
Таблица 2.3

Таблица 4.8

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$v_к$	700	700^{-1}	200	800	500	300	500	1000	700	900
m	4	6	3	7	8	4	10	3	8	6
p	0,1	0,01	0,2	0,02	0,15	0,015	0,01	0,01	0,02	0,003

Практическое занятие №3

МОДУЛЯЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Модуляция – это процесс изменения одного или нескольких параметров несущего колебания (высокочастотного) в соответствии с изменением параметров модулирующего (низкочастотного) информационного сигнала. Коэффициент модуляции – это отношение

разности между максимальным и минимальным значениями амплитуд АМ – сигнала к сумме этих значений (выражается в процентах):

$$M = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$$

Или:

$$M = \square A/A_O$$

Т.е. коэффициент модуляции равен отношению максимального приращения амплитуды к амплитуде несущей.

При модуляции одним тоном модулирующий сигнал имеет вид:

$$u_M(t) = \cos \Omega t$$

Аналитические выражения фазомодулированного (ФМ) и частотномодулированного (ЧМ)сигналов по форме записи имеют совершенно одинаковый вид:

$$s_{ФМ}(t) = A_O \cos(\omega_0 t + m \cos \Omega t)$$

$$s_{ЧМ}(t) = A_O \cos(\omega_0 t + m \sin \Omega t)$$

Отличие - только в порядке вычисления индекса и фазы модулирующего колебания.

Задачи для самостоятельного решения

3.1 Напишите выражение для сигнала в системе ОМ—ФМ (в нижней ступени модуляции используется нижняя или верхняя боковая полоса). Индексы 1 и 2 припишите параметрам соответственно первой и второй системы модуляции. Определите ширину полосы сигнала, если поднесущая частота, верхняя частота сообщения и индекс модуляции во второй системе заданы в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Вариант	**I**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
ft, кГц	40	100	300	400	300	80	100	200	300	60	100	50
^макс	5	2	8	10	2	2	8	6	6	7	6	2
	14	8	9	10	16	8	9	12	18	17	12	14

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
f_0, кГц	40	100	300	400	300	80	100	200	300	60	100	50
$F_{макс}$, кГц	5	2	8	10	2	2	8	6	6	7	6	2
β_2	14	8	9	10	16	8	9	12	18	17	12	14

3.2 Напишите выражение для сигнала в системе ФМ—АМ и ЧМ—ЧМ. Определите ширину полосы частот сигнала, если параметры заданы в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Вариант	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**

f>*t*	9	**8**	7	5	**8**	**10**	**8**	6	6	7	6	5
β	7	7	**8**	9	9	**10**	9	9	**8**	7	9	**8**
f, кГц	**100**	140	190	140	180	170	150	**120**	180	**120**	120	180
*F*макс>	1	5	7	**8**	2	9	**8**	1	6	7	**8**	6

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β_1	9	8	7	5	8	10	8	6	6	7	6	5
β_2	7	7	8	9	9	10	9	9	8	7	9	8
f_1, кГц	100	140	190	140	180	170	150	120	180	120	120	180
$F_{макс}$, кГц	1	5	7	8	2	9	8	1	6	7	8	6

3.3 Для АМ сигнала произвести следующие расчеты (Номер варианта соответствует номеру записи фамилии студента в учебном журнале):

А) Составить математическую модель АМ сигнала и построить его спектральную диаграмму амплитуд согласно исходным данным, приведенным в таблице 3.1.

Б) Нарисовать в примерном масштабе временную диаграмму АМ сигнала, у которого несущая - синусоидальное колебание, модулирующий сигнал и коэффициент m- согласно данным таблицы 3.2. Коэффициент пропорциональности $\alpha_{АМ}$=1.

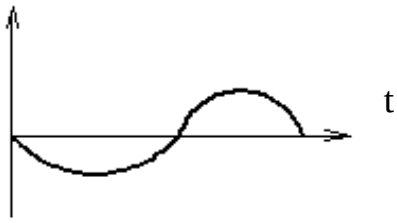
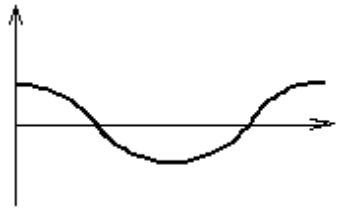
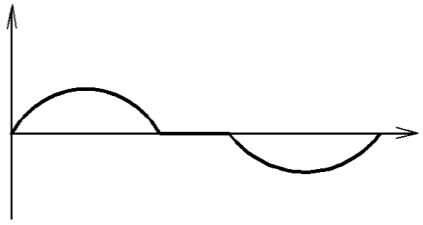
В) Составить математическую модель АМ сигнала и построить его спектральную диаграмму по исходным данным, приведенным в таблице 3.3. Рассчитать ширину спектра АМ сигнала по данным таблицы 3.3.

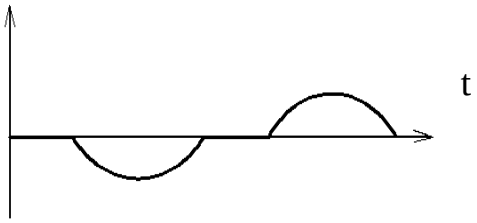
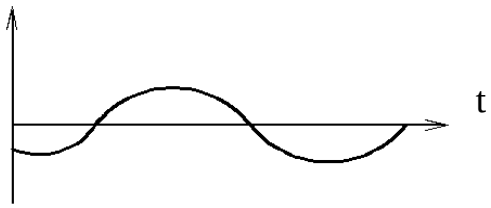
Таблица 3.1- Исходные данные

Вариант	Математическая модель несущего колебания	Параметры модулирующего колебания		Коэффициент $\alpha_{АМ}$
		Амплитуда, В	Период, мс	
1	$3{,}4 \cos 62{,}8\cdot10^4 t$	1,2	0,10	0,86
2	$10 \cos 0{,}6\cdot12{,}56\cdot10^5 t$	4,7	0,08	0,92
3	$1{,}8 \cos 2\pi\cdot13\cdot10^4 t$	0,9	$6{,}25\cdot10^{-2}$	0,85
4	$2{,}2 \cos 2\cdot251{,}2\cdot10^3 t$	1,0	$16\cdot10^{-2}$	0,93
5	$4{,}2 \cos 3{,}14\cdot1{,}8\cdot10^4 t$	2,6	$1\cdot10^{-1}$	0,84
6	$3{,}6 \cos 2\pi\cdot104\cdot10^3 t$	2,0	$8\cdot10^{-2}$	0,94
7	$1{,}6 \cos 0{,}5\cdot62{,}8\cdot10^4 t$	0,7	0,25	0,88
8	$2{,}8 \cos 5\cdot12{,}56\cdot10^4 t$	1,6	$6{,}25\cdot10^{-2}$	0,86
9	$12 \cos 2\pi\cdot78\cdot10^3 t$	7,4	$25\cdot10^{-2}$	0,92
10	$3{,}7 \cos 31{,}4\cdot18000 t$	2,1	0,16	0,94
11	$1{,}7 \cos 125{,}6\cdot4200 t$	1,1	$62{,}5\cdot10^{-3}$	0,82
12	$14 \cos 62{,}8\cdot92\cdot10^3 t$	9,6	$10\cdot10^{-2}$	0,93
13	$3{,}8 \cos 2\pi\cdot14{,}2\cdot10^4 t$	2,4	$6{,}25\cdot10^{-2}$	0,85
14	$5{,}7 \cos 628\cdot860 t$	3,8	$12{,}5\cdot10^{-2}$	0,90
15	$4{,}1 \cos 314\cdot1520 t$	2,6	$16\cdot10^{-2}$	0,86
16	$6{,}4 \cos 2\pi\cdot96\cdot10^3 t$	4,1	0,08	0,82
17	$4{,}8 \cos 628000 t$	3,0	$10\cdot10^{-2}$	0,80

18	3,9 cos 0,55·12,56·10^5t	1,8	6,25·10^{-2}	0,92
19	4,4 cos 2,8·12,56·10^4t	3,1	20·10^{-2}	0,94
20	5,6 cos 3,14·128000t	4,2	0,16	0,86
21	7,2 cos 2π·106000t	5,8	8·10^{-2}	0,90
22	3,9 cos 2·251200t	2,8	0,125	0,95
23	9,4 cos 314·1980t	6,2	0,16	0,82
24	6,2 cos 8,9·6,28·10^4t	4,1	10·10^{-2}	0,84
25	5,2 cos 12,56·52000t	3,5	6,25·10^{-2}	0,80
26	7,4 cos 3,14·182000t	5,9	0,08	0,90
27	9,2 cos 125,6·3400t	7,6	16·10^{-2}	0,92
28	1,9 cos 25,12·23000t	0,9	0,125	0,85
29	2,6 cos 2π·6,9·10^4t	1,3	0,16	0,87
30	8,8 cos 314·1260t	6,1	0,32	0,89

Таблица 3.2- Исходные данные

Вариант	Временная диаграмма модулирующего сигнала	Коэффициент амплитудной модуляции
1	2	3
1 2 3 4 5	a(t)  t	m=0,4 m=0,3 m=0,5 m=0,8 m=0,7
6 7 8 9 10	a(t)  t	m=0,9 m=0,2 m=0,4 m=0,6 m=0,3
11 12 13 14 15	a(t)  t	m=0,9 m=0,4 m=0,2 m=0,8 m=0,6

16 17 18 19 20	a(t)  	m=0,2 m=0,3 m=0,5 m=0,7 m=0,8
21 22 23 24 25	a(t)  	m=0,5 m=0,4 m=0,7 m=0,9 m=0,3

Продолжение таблицы 3.2

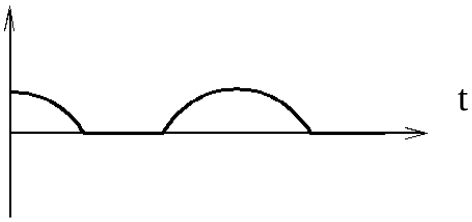
1	**2**	**3**
26 27 28 29 30	a(t)  	m=0,2 m=0,6 m=0,4 m=0,7 m=0,9

Таблица 3.3- Исходные данные

Вариант	$f_{нбч}$, кГц	$f_{вбч}$, кГц	U_{mu}, В	m		Вариант	$f_{нбч}$, кГц	$f_{вбч}$, кГц	U_{mu}, В	m
1	104	112	0,2	0,22		16	100	120	25	0,8
2	100	108	0,25	0,21		17	90	102	0,20	0,4
3	96	104	0,28	0,23		18	100,6	107,4	0,20	0,15
4	92	100	0,30	0,24		19	60,6	67,4	0,25	0,16
5	88	96	0,33	0,25		20	64,6	71,4	0,30	0,17
6	60	68	0,35	0,26		21	68,6	75,4	0,35	0,18
7	64	72	0,37	0,18		22	72,6	79,4	0,40	0,19
8	68	76	0,40	0,19		23	76,6	83,4	0,45	0,20
9	72	80	0,43	0,20		24	80,6	87,4	0,50	0,21
10	76	84	0,45	0,27		25	84,6	91,4	0,55	0,22
11	80	88	0,47	0,28		26	88,6	95,4	0,60	0,23
12	72	84	0,5	0,6		27	92,6	99,4	0,24	0,24
13	104	116	10	0,7		28	96,6	103,4	0,28	0,25
14	86	106	15	0,4		29	100,6	107,4	0,32	0,26

15	68	88	20	0,5		30	104,6	111,4	0,38	0,27

Практическое занятие №4,5

ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Для исследования различных свойств сообщений, сигналов и помех удобно использовать разложение этих процессов в ряды.

Любой процесс (с некоторыми математическими ограничениями) можно представить в виде ряда:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c_k \varphi_k(t), \qquad (2.1)$$

φ_k – ортогональные простейшие функции, неслучайные. Например:

$$\lim_{T\to\infty} \frac{1}{2} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \varphi_i(t)\varphi_k(t)dt = \begin{cases} E_k, & \text{если } i = k, \\ 0, & \text{если } i \neq k, \end{cases}$$

c_k – случайный коэффициент:

$$c_k = \frac{1}{E_k} \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} x(t)\varphi_k(t)dt,$$

E_k – энергия ортогональных функций.

$$\text{Если } \varphi_k = \begin{cases} \cos k\omega_0 t, \\ \sin k\omega_0 t, \\ e^{jk\omega_0 t}, \end{cases}$$

то ряд (2.1) Фурье:

$$x(t) = \frac{c_0}{2} + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos k\omega_0 t + b_k \sin k\omega_0 t) = \frac{1}{2} \sum_{k=\infty}^{k} \dot{c}_k e^{jk\omega_0 t},$$

$$\dot{c}_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t)\, e^{-jk\omega_0 t} dt, \qquad a_k = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos k\omega_0 t dt,$$

$$b_k = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)\sin k\omega_0 t dt, \qquad c_0 = \frac{2}{T}\int_0^T x(t)dt.$$

Теорема В.А.Котельникова является основой для преобразования аналогового сигнала в дискретный. Согласно теореме Котельникова осуществляется ИКМ – преобразование (ИКМ-технология или импульсно-кодовая модуляция), которое нашло широкое применение в технике связи для построения цифровых систем передачи информации (сеть PDH-плезиохронная цифровая сеть связи).

Суть теоремы: **любой аналоговый сигнал можно представить в дискретном виде (выборки сигнала) и не потерять информации, если выбрать частоту дискретизации исходного сигнала больше или равной удвоенному значению верхней частоты спектра сигнала**:

$$\mathbf{f_д = 2\,F_{max}}$$

или

$$\Delta t = 1/(2F).$$

С математической точки зрения теорема Котельникова означает представление сигнала в виде ряда:

$$x(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k\Delta t)\frac{\sin\omega_в(t-k\Delta t)}{\omega_в(t-k\Delta t)},$$

$k\Delta t$ – отсчеты, ($k = 0, 1, 2$ ...),

$\frac{\sin\omega_в(t-k\Delta t)}{\omega_в(t-k\Delta t)}$ – функция отсчетов.

Детерминированные (регулярные) сигналы описываются известными функциями времени. Реальные сигналы и помехи – случайные функции времени.

Детерминированные сигналы делятся на:

1. Периодические

$$S(t) = S(t+T).$$

Разложение сигнала $S(t)$ в ряд Фурье:

$$x(t) = \frac{c_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} c_n\cos(n\omega_0 t - \varphi_n) = \frac{c_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty}(a_n\cos\omega_0 nt + b_n\sin\omega_0 nt) =$$

$$= \frac{1}{2}\sum_{n=-\infty}^{\infty} \dot{c}_n e^{jn\omega_0 t},$$

где:

$$c_0 = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)dt, \qquad a_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\cos n\omega_0 t dt,$$

$$b_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)\sin n\omega_0 t dt, \qquad c_n = \sqrt{a_n^2 + b_n^2},$$

$$\dot{c}_n = \frac{2}{T}\int_0^T S(t)e^{-jn\omega_0 t}\, dt, \qquad \omega_0 = \frac{2\pi}{T},$$

ω_0 – основная частота сигнала (первая гармоника),

$$\varphi_n = \mathrm{arctg}\frac{b_n}{a_n}.$$

2. Непериодические

Прямое преобразование Фурье:

$$S(j\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t)e^{-j\omega t}dt.$$

Обратное преобразование Фурье:

$$x(t) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} S(j\omega)e^{j\omega t}d\omega.$$

3. Почти периодические.

Задачи для самостоятельного решения

4.1 Нарисовать заданный аналоговый сигнал на интервале времени t через интервал дискретизации **t** значениями **U_1.....U_5 (мВ)** в виде сигнала ИКМ, исходные данные в таблице 4.1, **F_{max} –** максимальная частота спектра непрерывного сигнала, **U = 1 мВ –** шаг квантования, **n –** значность (разрядность) кода, основание кода равно двум.

Таблица 4.1

Номер варианта	**U_1**	**U_2**	**U_3**	**U_4**	**U_5**	**F_{max} Гц**	**n**
1	1,2	1,8	3,1	5,9	7,3	3400	3

2	25,4	18,9	16,2	12,6	11,3	6800	5
3	30,6	29,7	23,3	18,7	9,4	10000	5
4	3,8	7,3	8,6	9,2	15,1	15000	4
5	3,3	5,4	10,2	17,7	25,3	5400	5
6	3,4	4,1	5,3	5,9	6,7	6000	3
7	13,1	9,2	8,4	4,3	3,2	5000	4
8	8,2	10,1	16,4	17,9	21,3	18000	5
9	7,1	6,3	5,4	4,2	2,9	12000	3
10	15,2	14,3	12,8	10,2	5,3	4000	3

4.2 Определить относительную погрешность $6_У$ при представлении сигнала $s(t) = a \exp(-p^2/^2)$ $s(t) = a \exp(-\beta^2 t^2)$ (колокольный импульс) рядом Котельникова, полагая, что полоса сигнала ограничивается в результате пропускания через идеальный фильтр нижних частот с полосой *F*. Найти интервал дискретизации *At*, полагая на числовые значения по таблице 4.2.

Таблица 4.2

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
β, c^{-1}	7	7	2	8	5	4	1	5	3	2	10	2
$\delta_У$, %	6	9	5	6	3	4	3	5	8	2	8	2

4. 3 из методички ТЭС АУЭС Медеуов

Практическое занятие №6

Модуляторы и детекторы

Модулятор – изменяет один (или несколько) параметров сигнала переносчика в соответствии с модулирующим сообщением, поступающим от кодера. В процессе модуляции могут изменяться амплитуда, частота или фаза гармонической несущей; амплитуда, длительность импульсов, частота следования, фаза импульсного переносчика; тип использования шумоподобного сигнала. Иногда одновременно может осуществляться модуляция нескольких параметров сигнала-переносчика.

Демодулятор (детектор) – преобразует принятый модулированный сигнал в сообщение, которым осуществлялась модуляция, и содержащее переданную информацию.

Задачи для самостоятельного решения

6.1 Составить математическую модель ЧМ сигнала и построить его спектральную диаграмму амплитуд согласно исходным данным, приведенным в таблице 4.1. Номер варианта соответствует номеру записи фамилии студента в учебном журнале.

6.2 Рассчитать ширину спектра ЧМ сигнала по спектральной диаграмме, полученной при выполнении п. 6.2, и сравнить ее с теоретической. Сделать выводы.

6.4 Используя математическую модель ЧМ сигнала, приведенную в таблице 4.2, рассчитать и построить спектральную диаграмму амплитуд частотно-модулированного сигнала, сравнить полученную ширину спектра с теоретической. Найти девиацию частоты и привести математическую модель модулирующего колебания, (принять крутизну модуляционной характеристики $a_{ЧМ} = 10^5 \frac{рад}{с \cdot В}$)

Таблица 4.1- Исходные данные

Вариант	$f_н$, МГц	F, кГц	U_m, В	Δf_m, кГц	M	λ, м
1	66	15	32	-	3,33	-
2	67	15	31	-	3,33	-
3	68	15	30	-	3,33	-
4	69	15	29	-	3,33	-
5	70	15	28	-	3,33	-
6	71	15	27	-	3,33	-
7	72	15	26	-	3,33	-
8	73	15	25	-	3,33	-
9	-	15	24	50	-	4,1
10	-	15	23	50	-	4,2
11	-	15	22	50	-	4,3
12	-	15	21	50	-	4,4
13	-	15	20	50	-	4,5
14	-	15	19	50	-	4,15
15	-	15	18	50	-	4,25
16	-	15	17	50	-	4,35
17	-	-	10	45	3	4,16
18	-	-	9	45	3	4,46
19	-	-	8	45	3	4,55
20	-	-	7	45	3	4,45
21	66	15	6	-	3	-
22	67	15	5	-	3	-

23	68	15	4	-	3	-
24	69	15	3	-	3	-
25	10,7	-	4,4	50	3,33	-
26	70	1300	0,5	-	0,6	-
27	35	1300	0,5	-	0,8	-
28	140	3340	0,4	-	0,5	-
29	8,4	-	5	50	3	-
30	70	552	1,5	-	0,6	-

Таблица 4.2- Исходные данные

Вариант	Математическая модель ЧМ сигнала
1	$2\sin(2\pi\cdot35\cdot10^6t-0,9\cos2\pi\cdot250\cdot10^3t)$
2	$1,5\sin(2\pi\cdot70\cdot10^6t+0,6\sin2\pi\cdot550\cdot10^3t)$
3	$5\sin(2\pi\cdot8\cdot10^6t-0,3\cos2\pi\cdot330\cdot10^3t)$
4	$0,5\sin(2\pi\cdot140\cdot10^6t+0,5\sin2\pi\cdot3300\cdot10^3t)$
5	$0,5\sin(2\pi\cdot70\cdot10^6t+1\sin2\pi\cdot1300\cdot10^3t)$
6	$4,5\sin(2\pi\cdot10\cdot10^6t-0,4\cos2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
7	$3\sin(2\pi\cdot69\cdot10^6t+0,8\sin2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
8	$4\sin(2\pi\cdot70\cdot10^6t+0,2\sin2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
9	$\sin(2\pi\cdot68\cdot10^6t+0,3\sin2\pi\cdot10\cdot10^3t)$
10	$7\sin(2\pi\cdot67\cdot10^6t-0,5\cos2\pi\cdot250\cdot10^3t)$
11	$10\sin(2\pi\cdot65\cdot10^6t+0,7\sin2\pi\cdot500\cdot10^3t)$
12	$5\sin(2\pi\cdot60\cdot10^6t-0,5\cos2\pi\cdot1000\cdot10^3t)$
13	$4,4\sin(2\pi\cdot8,4\cdot10^6t+0,4\sin2\pi\cdot1300\cdot10^3t)$
14	$0,4\sin(2\pi\cdot10,7\cdot10^6t+0,6\sin2\pi\cdot330\cdot10^3t)$
15	$25\sin(2\pi\cdot73\cdot10^6t-0,8\cos2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
16	$3\sin(2\pi\cdot69\cdot10^6t+0,5\sin2\pi\cdot252\cdot10^3t)$
17	$0,9\sin(2\pi\cdot140\cdot10^6t-0,2\cos2\pi\cdot1300\cdot10^3t)$
18	$10\sin(2\pi\cdot35\cdot10^6t+\sin2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
19	$20\sin(2\pi\cdot60\cdot10^6t+0,8\sin2\pi\cdot1100\cdot10^3t)$
20	$17\sin(2\pi\cdot10,7\cdot10^6t-0,5\cos2\pi\cdot250\cdot10^3t)$
21	$5\sin(2\pi\cdot120\cdot10^6t+0,3\sin2\pi\cdot3340\cdot10^3t)$
22	$1,5\sin(2\pi\cdot8,4\cdot10^6t-0,9\cos2\pi\cdot152\cdot10^3t)$
23	$0,4\sin(2\pi\cdot66\cdot10^6t+0,45\sin2\pi\cdot10\cdot10^3t)$
24	$18\sin(2\pi\cdot10,5\cdot10^6t-0,65\cos2\pi\cdot5.7\cdot10^3t)$
25	$2\sin(2\pi\cdot5,7\cdot10^6t+0,8\sin2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
26	$4\sin(2\pi\cdot3,14\cdot10^6t-3,33\cos2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
27	$7\sin(2\pi\cdot6,28\cdot10^6t+3,33\sin2\pi\cdot10\cdot10^3t)$
28	$0,5\sin(2\pi\cdot3,14\cdot10^6t+3,3\sin2\pi\cdot15\cdot10^3t)$
29	$4,4\sin(2\pi\cdot35\cdot10^6t-0,4\cos2\pi\cdot1300\cdot10^3t)$
30	$10\sin(2\pi\cdot70\cdot10^6t+3,33\sin2\pi\cdot330\cdot10^3t)$

Практическое занятие №7

КОРРЕКТИРУЮЩИЕ КОДЫ

Корректирующие коды позволяют обнаружить и исправить ошибки, поэтому применение этих кодов – это один из способов повышения качества передачи сообщений по дискретным каналам с помехами.

Корректирующая способность кода определяется кратностью обнаруживаемых и исправляемых ошибок, под которыми понимают гарантированное число ошибок в кодовой комбинации, обнаруживаемых или исправляемых заданным кодом. Чем больше кратность, тем совершенней является код.

Расстояние Хэмминга d_{ij} показывает степень различия между i-ой и j – ой кодовыми комбинациями. Для любых двух двоичных кодовых комбинаций кодовое расстояние равно числу несовпадающих в них разрядов.

Кодовое расстояние – это минимальное расстояние Хэмминга для заданного кода. Перебрав все возможные пары разрешенных кодовых комбинаций и вычислив для них d_{ij}, **необходимо найти среди них минимальное**, это и будет кодовое расстояние

$$d_o = \min d_{ij},$$

которое полностью характеризует корректирующую способность кода.

Вес кодовой комбинации W численно равен числу входящих в нее ненулевых символов.

Относительная скорость кода $R_к$ показывает относительное число разрешенных кодовых комбинаций в коде и вычисляется по формуле:

$$R_к = \log_2 M_a / \log_2 M_0$$

Величина **1 – $R_к$ является коэффициентом избыточности кода.**

для обнаружения ошибок кодовое расстояние между любыми двумя разрешенными кодовыми комбинациями должно быть достаточным для того, чтобы при изменении одного или нескольких символов в них под воздействием ошибок не возникла снова разрешенная кодовая комбинация, т.е. **для** обнаружения ошибок кратности $g_{о.ош}$ кодовое расстояние d_o должно быть хотя бы на единицу больше кратности обнаруживаемых ошибок $g_{о.ош}$, т.е.:

$$d_0 \geq g_{ошб} + 1$$

для исправления ошибок кратностью g и.ош необходимо, чтобы запрещенная кодовая комбинация, получаемая при $g_{и.ош.}$- кратных ошибках,

оставалась ближе к истинной, чем к любой другой разрешенной комбинации.

$$d_0 \geq 2g_{ошб} + 1$$

W_P=2*. (5 2)

Избыточностью равномерного блочного кода является величина

$x_к$ = 1—(log/C)/(nlogm), (5.3)

а относительной скоростью кода

RK= (log *К)/(n* logm) = 1—Хк. (5 4)

Зная порождающий полином, можно построить все кодовые комбинации циклического кода, а также устройства кодирования и декодирования. Но порождающий полином должен делиться без остатка двучлен $x^n \pm 1$. Полученный результат определяет проверочный полином

$$h(x) = (x^n - 1)/g(x). \quad (5.17)$$

Порождающий полином $g(x)$ и проверочный полином $h(x)$ являются ортогональными, так как при $x^n - 1 = 0$ они удовлетворяют условию

$$g(x)h(x) = 0. \quad (5.18)$$

При отсутствии ошибок в кодовой комбинации циклического кода должно выполняться условие

$$б(x)h(x) = 0. \quad (5.19)$$

Невыполнение условия (5 19), т. е. $б(x)h(x) \neq 0$, является признаком ошибки.

7.1 Нарисовать кодер циклического кода, для которого производящий полином равен **N**:

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
N	25	35	45	27	24	23	33	43	45	31

7.2 Определить избыточность и относительную скорость для кодов по следующим данным.

1) *m — 2*, л = 7, /С = 32; 2) *m* = 2, л = 6, *К*= 16;

3) *m* = 3, я = 4, *К*=27, 4) т = 3, л = 5, /(=81.

1) $m=2$, $n=7$, $K=32$; 2) $m=2$, $n=6$, $K=16$;
3) $m=3$, $n=4$, $K=27$, 4) $m=3$, $n=5$, $K=81$.

7.3 Определить долю обнаруживаемых и «справляемых ошибок для двоичных кодов по следующим данным:

1) „=5, *k = 4*, 2) *n* = 7, Л = 4, 3) *n*— 15, *k=U*, 4) л=21, *k=\0 5 19.*

1) $n=5$, $k=4$, 2) $n=7$, $k=4$, 3) $n=15$, $k=11$, 4) $n=21$, $k=10$

7.4 Двоичный код, предназначенный для (кодирования восьми сообщений, .содержит кодовые комбинации:

bi =00000; Ъ$_2$ — 10011; b_3 = 01010; b_4= 11001; b_s = 00101; b_6= 10110; Ь$_7$ = 0 1 Ш; Ь$_8$ = 11100.

$$b_1 = 00000;\ b_2 = 10011;\ b_3 = 01010;\ b_4 = 11001;$$
$$b_5 = 00101;\ b_6 = 10110;\ b_7 = 01111;\ b_8 = 11100.$$

Является ли данный код линейным? Найти избыточность кода и dмин

7.5 Закодировать четырехразрядное сообщение кодом Хэмминга (7,4,3) с использованием порождающей и проверочной матриц согласно данным таблицы 5.2. Сравнить полученные результаты.

Код сообщения сформировать следующим образом: закодировать 5-разрядным двоичным кодом номер варианта по п.6.2 и отбросить старший разряд (для номера "16" принять код "1110").

7.6 Определить синдром и вектор ошибки при искажении кодовой комбинации, полученной по п.6.3, для случаев внесения одно-, двух- и трех-кратных ошибок (искаженные разряды - произвольно), скорректировать внесенные ошибки. Сформировать кодовую комбинацию на выходе декодера.

7.7 Закодировать разделимым и неразделимым линейными укороченными циклическими кодами (9,5) 5-разрядный двоичный код номера варианта по п.6.2 и сравнить полученные результаты. Порождающий полином кодов приведен в таблице 5.3.

Таблица 5.2- Исходные данные для формирования кодов Хэмминга (7,4)

Номер варианта	Порождающая матрица	Проверочная матрица
1…15	$G_{4,7}=\begin{bmatrix}1000\ 111\\0100\ 110\\0010\ 101\\0001\ 011\end{bmatrix}$	$H_{3,7}=\begin{bmatrix}1110\ 100\\1101\ 010\\1011\ 001\end{bmatrix}$
16…30	$G_{4,7}=\begin{bmatrix}1000\ 011\\0100\ 110\\0010\ 101\\0001\ 111\end{bmatrix}$	$H_{3,7}=\begin{bmatrix}0111\ 100\\1101\ 010\\1011\ 001\end{bmatrix}$

Таблица 5.3- Исходные данные для формирования циклических кодов

Номер варианта	Порождающий полином g(x)		Номер варианта	Порождающий полином g(x)
1…8	$x^4+x^3+x^2+x+1$		17…24	$x^4+x^3+x^2+x+1$
9…16	x^4+x+1		25…30	x^4+x+1

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

ЗНАЧЕНИЕ ФУНКЦИИ □Plog2 P

Таблица

P	$-P\log_2 P$	P	$-P\log_2 P$	P	$-P\log_2 P$	P	$-P\log_2 P$
0.00	0.0000	0.26	0.5053	0.52	0.4906	0.78	0.2796
0.01	0.0664	0.27	0.5100	0.53	0.4854	0.79	0.2678
0.02	0.1129	0.28	0.5142	0.54	0.4800	0.80	0.2575
0.03	0.1517	0.29	0.5179	0.55	0.4744	0.81	0.2462
0.04	0.1857	0.30	0.5211	0.56	0.4684	0.82	0.2348
0.05	0.2161	0.31	0.5238	0.57	0.4623	0.83	0.2231
0.06	0.2435	0.32	0.5260	0.58	0.4558	0.84	0.2113
0.07	0.2686	0.33	0.5278	0.59	0.4491	0.85	0.1993
0.08	0.2915	0.34	0.5292	0.60	0.4422	0.86	0.1871
0.09	0.3127	0.35	0.5301	0.61	0.4350	0.87	0.1748
0.10	0.3322	0.36	0.5306	0.62	0.4276	0.88	0.1623
0.11	0.3503	0.37	0.5307	0.63	0.4199	0.89	0.1496
0.12	0.3671	0.38	0.5304	0.64	0.4121	0.90	0.1368
0.13	0.3826	0.39	0.5298	0.65	0.4040	0.91	0.1238
0.14	0.3971	0.40	0.5288	0.66	0.3957	0.92	0.1107
0.15	0.4105	0.41	0.5274	0.67	0.3871	0.93	0.0978
0.16	0.4230	0.42	0.5856	0.68	0.3784	0.94	0.0839
0.17	0.4346	0.43	0.5236	0.69	0.3694	0.95	0.0703
0.18	0.4453	0.44	0.5211	0.70	0.3602	0.06	0.0565
0.19	0.4552	0.45	0.5181	0.71	0.3508	0.97	0.0426
0.20	0.4644	0.46	0.5153	0.72	0.3412	0.98	0.0286
0.21	0.4728	0.47	0.5120	0.73	0.3314	0.99	0.0140
0.22	0.4806	0.48	0.5083	0.74	0.3215	1.00	0.0000
0.23	0.4877	0.49	0.5043	0.75	0.3113		
0.24	0.4941	0.50	0.5000	0.76	0.3009		
0.25	0.500	0.51	0.4954	0.77	0.2903		