

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Локтионова Оксана Геннадьевна

Должность: проректор по учебной работе

Дата подписания: 06.08.2023 12:41:17

Уникальный программный ключ:

0b817ca911e6668abb13a5d426d39e5f1c11eabbf754943df4a4851fda56d089

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра космического приборостроения и систем связи

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
О.Г. Локтионова  
« 8 » 08 2023 г.



## ОБЩАЯ ТЕОРИЯ СВЯЗИ

Методические указания  
по выполнению практических работ  
для студентов, обучающихся по направлению подготовки  
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»  
по дисциплине «Общая теория связи»

Курск 2023

УДК 621.391

Составители: Д.С. Коптев

Рецензент:

Доктор технических наук, старший научный сотрудник,  
заведующий кафедрой космического приборостроения и систем связи  
*В. Г. Андронов*

**Общая теория связи:** методические указания по выполнению практических работ / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: Д.С. Коптев. Курск, 2023. – 25 с.

Методические указания по выполнению практических работ направлены на закрепление теоретического материала на практике, а также формирование практических умений и навыков в процессе выполнения заданий по построению временных и спектральных диаграмм для периодической последовательности прямоугольных импульсов, различных видов модулированных сигналов, отклика нелинейной цепи на различные виды входного воздействия.

Методические указания соответствуют учебному плану по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», а также рабочей программе дисциплины «Общая теория связи».

Предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» очной и заочной форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать 08.08.2023. Формат 60x84/16.  
Усл. печ. л. 1,45. Уч.-изд. л. 1,32. Тираж 100 экз. Заказ 764. Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Практическая работа № 1  
**СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРИОДИЧЕСКОЙ  
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПРЯМОУГОЛЬНЫХ ИМПУЛЬСОВ**

**Цель работы:** научиться проводить спектральный анализ периодической последовательности прямоугольных импульсов (ПППИ).

**Подготовка к выполнению работы**

- 1 Изучить по [1] – [6] ПППИ.
- 2 Подготовить ответы на вопросы для самопроверки.

**Вопросы для самопроверки**

- 1 Что называется скважностью импульсов?
- 2 Что называется частотой следования импульсов?
- 3 Что показывает скважность импульсов?
- 4 Как зависит ширина спектра импульсной последовательности от скважности?
- 5 Как влияет скважность на спектр ПППИ сигнала?
- 6 В чем заключается связь между временным и спектральным представлением сигнала?
- 7 Приведите формулу для расчета амплитуд спектральных составляющих ПППИ.

**Аппаратное и программное обеспечение**

- 1 Микрокалькулятор.

**Порядок выполнения работы**

- 1 Ответить на вопросы по домашнему заданию.
- 2 Нарисовать временную диаграмму ПППИ сигнала при скважности  $1 + N$ , где  $N$  – номер варианта.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Номер варианта соответствует порядковому номеру записи фамилии студента в учебном журнале.

- 3 Рассчитать амплитуды составляющих спектра ПППИ в пределах ширины спектра. Нарисовать в примерном масштабе временную диаграмму рассматриваемой последовательности импульсов согласно данным таблицы 1.

По результатам расчетов построить спектральную диаграмму ПППИ.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Данные
1	$U(t) = \begin{cases} 5, & 0 \leq t \leq 3 \text{ мс} \\ 0, & 3 < t < 10 \text{ мс} \end{cases}$
2	$U(t) = \begin{cases} 10, & 0 \leq t \leq 2 \text{ мс} \\ 0, & 2 < t < 8 \text{ мс} \end{cases}$
3	$U(t) = \begin{cases} 3, & -5 \leq t \leq 5 \text{ мс} \\ 0, & 5 < t < 35 \text{ мс} \end{cases}$
4	$U(t) = \begin{cases} 2, & 5 \leq t \leq 15 \text{ мс} \\ 0, & 15 < t < 45 \text{ мс} \end{cases}$
5	$U(t) = \begin{cases} 7, & 0 \leq t \leq 3 \text{ мс} \\ 0, & 3 < t < 12 \text{ мс} \end{cases}$
6	$U_m = 4 \text{ В}, T = 100 \text{ мс}, \tau = 25 \text{ мс}$
7	$U_m = 8 \text{ В}, T = 80 \text{ мс}, \tau = 20 \text{ мс}$
8	$U_m = 6 \text{ В}, T = 120 \text{ мс}, \tau = 30 \text{ мс}$
9	$U_m = 9 \text{ В}, T = 60 \text{ мс}, \tau = 15 \text{ мс}$
10	$U_m = 4 \text{ В}, T = 36 \text{ мс}, \tau = 9 \text{ мс}$
11	$U_m = 11 \text{ В}, f = 10 \text{ кГц}, q = 4$
12	$U_m = 13 \text{ В}, f = 15 \text{ кГц}, q = 3$
13	$U_m = 15 \text{ В}, f = 24 \text{ кГц}, q = 3$
14	$U_m = 16 \text{ В}, f = 28 \text{ кГц}, q = 4$
15	$U_m = 10 \text{ В}, f = 30 \text{ кГц}, q = 4$
16	$U(t) = \begin{cases} 16, & 0 \leq t \leq 4 \text{ мс} \\ 0, & 4 < t < 16 \text{ мс} \end{cases}$
17	$U(t) = \begin{cases} 10, & -2 \leq t \leq 2 \text{ мс} \\ 0, & 2 < t < 6 \text{ мс} \end{cases}$
18	$U(t) = \begin{cases} 13, & -4 \leq t \leq 5 \text{ мс} \\ 0, & 5 < t < 32 \text{ мс} \end{cases}$
19	$U(t) = \begin{cases} 22, & 10 \leq t \leq 20 \text{ мс} \\ 0, & 20 < t < 50 \text{ мс} \end{cases}$
20	$U(t) = \begin{cases} 16, & 0 \leq t \leq 15 \text{ мс} \\ 0, & 15 < t < 60 \text{ мс} \end{cases}$
21	$U_m = 14 \text{ В}, T = 120 \text{ мс}, \tau = 30 \text{ мс}$
22	$U_m = 18 \text{ В}, T = 88 \text{ мс}, \tau = 22 \text{ мс}$
23	$U_m = 16 \text{ В}, T = 56 \text{ мс}, \tau = 14 \text{ мс}$
24	$U_m = 19 \text{ В}, T = 240 \text{ мс}, \tau = 60 \text{ мс}$
25	$U_m = 24 \text{ В}, T = 48 \text{ мс}, \tau = 12 \text{ мс}$
26	$U_m = 21 \text{ В}, f = 45 \text{ кГц}, q = 4$
27	$U_m = 23 \text{ В}, f = 35 \text{ кГц}, q = 3$

## Окончание таблицы 1

Вариант	Данные
28	$U_m = 15 \text{ В}, f = 43 \text{ кГц}, q = 3$
29	$U_m = 16 \text{ В}, f = 65 \text{ кГц}, q = 4$
30	$U_m = 10 \text{ В}, f = 23 \text{ кГц}, q = 4$

- 4 Нарисовать в общем виде спектральную диаграмму ПППИ сигнала при скважности  $1 + N$ , где  $N$  – номер варианта.
- 5 Показать результаты выполнения работы преподавателю.
- 6 Сделать выводы.
- 7 Составить отчет по работе.

### Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Наименование аппаратного и программного обеспечения.
- 3 Исходные данные для расчетов.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Временные и спектральные диаграммы ПППИ.
- 6 Выводы по работе.
- 7 Ответы на контрольные вопросы (по заданию преподавателя).

### Контрольные вопросы

- 1 Как влияет изменение длительности импульсов на спектр ПППИ?
- 2 Какие гармонические составляющие отсутствуют при скважности 4 в ПППИ?
- 3 Как изменится спектр ПППИ при изменении частоты следования импульсов?
- 4 Что изменится в спектре ПППИ при изменении амплитуды импульсов?
- 5 Чем определяется ширина спектра ПППИ?
- 6 Поясните, как определить ширину спектра по спектральной диаграмме ПППИ.
- 7 В чем особенность спектра ПППИ при скважности  $q = 3,2$ ?
- 8 Сравните спектры периодических импульсных последовательностей, приведенных на рисунке 1.

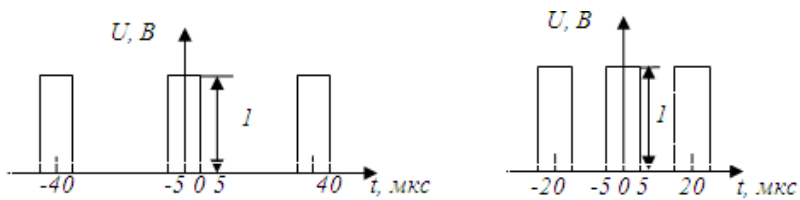


Рисунок 1 – Временные диаграммы сигналов.

9 Где используются ПППИ сигналы?

### Содержание зачета

Учащемуся необходимо знать ответы на контрольные вопросы, уметь проводить расчеты, строить временные и спектральные диаграммы ПППИ и анализировать результаты.

## Практическая работа № 2

### АНАЛИЗ СПЕКТРА ОТКЛИКА НЕЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ

**Цель работы:** научиться анализировать графическим и аналитическим способами спектр отклика нелинейной цепи на гармоническое и бигармоническое воздействия.

#### Подготовка к выполнению работы

- 1 Изучить по [1] – [6] спектральный состав отклика нелинейной цепи на гармоническое и бигармоническое воздействия.
- 2 Подготовить бланк отчета.
- 3 Подготовить ответы на вопросы для самопроверки.

#### Вопросы для самопроверки

- 1 Что называют нелинейной цепью?
- 2 Какими свойствами обладает нелинейная цепь?
- 3 Что называют воздействием?
- 4 Какие методы анализа нелинейных цепей чаще всего используют?
- 5 Что называют откликом нелинейной цепи?
- 6 Поясните спектральный состав отклика, если характеристика нелинейного элемента (НЭ) аппроксимируется полиномом второй степени  $i = a_0 + a_1u + a_2u^2$ . В приведенном выражении  $u$  – гармоническое колебание.
- 7 Поясните спектральный состав отклика, если на вход НЭ воздействует гармоническое колебание, а характеристика НЭ аппроксимируется выражением  $i = a_1u + a_2u^2$ .
- 8 Чем отличается спектр отклика нелинейной цепи при воздействии двух гармонических колебаний от спектра отклика нелинейной цепи при воздействии одного гармонического колебания?
- 9 Что называют комбинационными частотами?
- 10 В каких устройствах используют перемножение колебаний на НЭ?
- 11 В каких устройствах используют НЭ, на вход которых воздействуют гармонические колебания?

#### Аппаратное и программное обеспечение

- 1 Микрокалькулятор.

### Порядок выполнения работы

1 Ответить на вопросы преподавателя по домашнему заданию.

2 Решить задачу: Характеристика НЭ аппроксимируется полиномом  $i = a + a_1u + a_2u^2$ . На вход НЭ воздействуют два гармонических колебания. Рассчитать и построить спектр отклика нелинейной цепи для условий, приведенных в таблицах 2 и 3.

**ПРИМЕЧАНИЕ** – Номер варианта соответствует порядковому номеру записи фамилии студента в учебном журнале.

Таблица 2 – Исходные данные

Вариант	Характер изменения воздействующих сигналов	Законы изменения гармонических сигналов
1...5	$u = u_1 + u_3$	$u_1 = U_{m1}\cos\omega_1t;$ $u_3 = U_{m3}\cos\omega_3t;$
6...10	$u = u_1 + u_2$	$u_1 = U_{m1}\sin\omega_1t;$ $u_2 = U_{m2}\sin\omega_2t;$
11...15	$u = u_2 + u_3$	$u_2 = U_{m2}\cos\omega_2t;$ $u_3 = U_{m3}\cos\omega_3t;$
16...20	$u = u_1 - u_3$	$u_1 = U_{m1}\sin\omega_1t;$ $u_3 = U_{m3}\sin\omega_3t;$
21...25	$u = u_1 - u_2$	$u_1 = U_{m1}\sin\omega_2t;$ $u_2 = U_{m2}\sin\omega_3t;$
26...30	$u = u_2 - u_3$	$u_2 = U_{m2}\cos\omega_2t;$ $u_3 = U_{m3}\cos\omega_3t;$

Таблица 3 – Исходные данные

Вариант	Частоты воздействия			Амплитуда напряжения на входе НЭ			Коэффициенты аппроксимации		
	$f_1,$ кГц	$f_2,$ кГц	$f_3,$ кГц	$U_{m1},\text{В}$	$U_{m2},\text{В}$	$U_{m3},\text{В}$	$a_0$	$a_1$	$a_2$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
1	9	28	6	5,0	3,9	1,0	-	0,7	0,5
2	11	27	6	5,1	3,8	1,1	-	0,6	0,4
3	12	26	7	5,2	3,7	1,2	-	0,5	0,3
4	13	24	8	5,3	3,6	1,3	-	0,4	0,2
5	14	24	9	5,4	3,5	1,4	-	0,8	0,3
6	14	23	11	5,5	3,4	1,5	0,3	0,5	0,4
7	15	23	4	5,6	3,3	1,6	0,3	0,6	0,5



Окончание таблицы 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
8	17	21	3	5,7	3,2	1,7	0,3	0,7	0,5
9	17	20	2	5,8	3,1	1,8	0,3	0,4	0,3
10	18	30	2	5,9	3,0	1,9	0,3	0,3	0,2
11	20	31	11	6,0	2,9	2,0	0,4	0,3	0,2
12	21	2	10	6,1	2,8	2,1	0,4	0,4	0,3
13	22	3	12	6,2	2,7	2,2	0,4	0,5	0,4
14	23	4	12	6,3	2,6	2,3	0,4	0,6	0,3
15	24	5	14	6,4	2,5	2,4	0,4	0,7	0,4
16	25	6	15	6,5	2,4	2,5	0,5	0,3	0,1
17	26	7	16	6,6	2,3	2,6	0,5	0,4	0,2
18	27	8	19	6,7	2,2	2,7	0,5	0,7	0,3
19	28	8	20	6,8	2,1	2,8	0,5	0,6	0,4
20	29	10	22	6,9	2,0	2,9	0,5	0,5	0,4
21	14	4	7	7,0	4,0	3,0	-	0,7	0,5
22	15	6	8	7,1	4,1	3,1	-	0,8	0,6
23	16	7	9	7,2	4,2	3,2	-	0,6	0,3
24	17	8	10	7,3	4,3	3,3	-	0,5	0,4
25	18	9	11	7,4	4,4	3,4	-	0,4	0,2
26	19	10	7	7,5	4,5	3,5	0,3	0,5	0,4
27	13	11	7	7,6	4,9	3,6	0,3	0,5	0,3
28	12	12	9	7,7	4,8	3,7	0,3	0,6	0,5
29	11	13	8	7,8	4,7	3,8	0,3	0,6	0,45
30	10	14	9	7,9	4,6	3,9	0,3	0,7	0,55

3 На вход НЭ подано напряжение  $U(t) = U_0 + U_m \sin 6,28 \cdot N \cdot 10^3 t$ , амплитуда тока на выходе нелинейного элемента равна  $I_m$  мА, напряжение отсечки  $U_H$  В. Рассчитать спектр отклика нелинейного элемента, построить временные диаграммы воздействия и отклика используя данные таблицы 4.

Таблица 4 – Исходные данные

Вариант	$U_0$ , В	$U_m$ , В	$U_H$ , В	$I_m$ , мА
1	0,4	0,2	0,5	1
2	0,6	0,4	0,6	2
3	0,8	0,6	1,0	3
4	1,0	0,8	1,2	4
5	1,2	1,0	1,5	5

Окончание таблицы 4

Вариант	$U_0$ , В	$U_m$ , В	$U_H$ , В	$I_m$ , мА
6	1,4	1,2	1,4	6
7	1,6	1,4	1,6	7
8	1,8	1,6	1,8	8
9	2,0	1,8	2,0	9
10	2,2	2,0	2,2	10
11	2,4	2,2	2,1	11
12	2,6	2,4	1,8	12
13	2,8	2,6	1,6	13
14	3,0	2,8	1,5	14
15	0,3	3,0	1,5	15
16	0,5	0,3	0,3	16
17	0,7	0,5	0,9	17
18	0,9	0,7	1,0	18
19	1,1	0,9	1,5	19
20	1,3	1,1	1,8	20
21	1,5	1,3	1,5	21
22	1,7	1,5	1,7	22
23	1,9	1,7	1,9	23
24	2,1	1,9	2,1	24
25	2,3	2,1	2,3	25
26	2,5	2,3	2,1	26
27	2,7	2,5	2,0	27
28	2,9	2,7	1,9	28
29	1,0	2,9	0,9	29
30	1,2	1,0	0,6	30

- 4 Нарисовать временную диаграмму сигнала с углом отсечки равным  $5N$ , где  $N$  – номер варианта.
- 5 Показать результаты выполнения работы преподавателю.
- 6 Сделать выводы.
- 7 Составить отчет по работе.

**Содержание отчета**

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Наименование аппаратного и программного обеспечения.
- 3 Исходные данные для расчетов.
- 4 Результаты расчетов.

- 5 Временные и спектральные диаграммы воздействия и отклика нелинейной цепи.
- 6 Выводы по работе.
- 7 Ответы на контрольные вопросы (по заданию преподавателя).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Как влияет на спектр отклика нелинейность характеристики НЭ?
- 2 Изменится ли спектральный состав отклика нелинейной цепи, если изменится амплитуда одного из воздействующих колебаний?
- 3 Изменится ли спектральный состав отклика нелинейной цепи, если изменится частота одного из воздействующих колебаний?
- 4 Как изменится спектральный состав отклика нелинейной цепи, если угол отсечки уменьшится с  $70^\circ$  до  $40^\circ$ ?
- 5 Как изменится спектр отклика, если на вход нелинейной цепи будет подано три гармонических колебания?
- 6 Как выделить из спектра отклика нелинейной цепи необходимые колебания?
- 7 Изменится ли спектр амплитуд отклика, если вместо синусоидальных колебаний на вход нелинейной цепи будут поданы косинусоидальные колебания?
- 8 Какой способ аппроксимации характеристики нелинейного элемента целесообразно использовать при больших амплитудах входного сигнала?
- 9 Что показывает значение крутизны вольтамперной характеристики НЭ  $6 \text{ мА/В}$ ?
- 10 Как называется внешняя характеристика нелинейной индуктивности?

### **Содержание зачета**

Учащемуся необходимо знать ответы на контрольные вопросы, уметь проводить расчеты, предусмотренные заданием на работу, строить временные и спектральные диаграммы воздействия и отклика НЭ и анализировать результаты.

Практическая работа № 3

## АНАЛИЗ АМПЛИТУДНО-МОДУЛИРОВАННЫХ И ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

**Цель работы:** научиться составлять математические модели амплитудно-модулированного (АМ) и частотно-модулированного (ЧМ) сигналов, рассчитывать спектры АМ и ЧМ сигналов, представлять временные диаграммы модулированных сигналов.

### Подготовка к выполнению работы

- 1 Изучить по [1] – [6] формирование амплитудно- и частотно-модулированных сигналов.
- 2 Подготовить ответы на вопросы для самопроверки.

### Вопросы для самопроверки

- 1 Что называют амплитудной модуляцией?
- 2 Каким должно быть соотношение частот и амплитуд несущего и модулирующего колебаний?
- 3 Какие составляющие АМ сигнала несут информацию о модулирующем сигнале?
- 4 Что называют частотной модуляцией?
- 5 Что называют девиацией частоты?
- 6 Какие составляющие ЧМ сигнала несут информацию о модулирующем сигнале?
- 7 Как зависит ширина спектра ЧМ сигнала от индекса частотной модуляции?
- 8 Какие достоинства и недостатки частотной модуляции?

### Аппаратное и программное обеспечение

- 1 Микрокалькулятор.

### Порядок выполнения работы

- 1 Ответить на вопросы по домашнему заданию.
- 2 Составить математическую модель АМ сигнала и построить его спектральную диаграмму амплитуд согласно исходным данным, приведенным в таблице 5.

**ПРИМЕЧАНИЕ** – Номер варианта соответствует порядковому номеру записи фамилии студента в учебном журнале.

Таблица 5 – Исходные данные

Вариант	Математическая модель несущего колебания $S(t)$	Параметры модулирующего колебания		Коэффициент $a_{AM}$
		Амплитуда, В	Период, мс	
1	$3,4 \cos 62,8 \cdot 10^4 t$	1,2	0,10	0,86
2	$10 \cos 0,6 \cdot 12,56 \cdot 10^5 t$	4,7	0,08	0,92
3	$1,8 \cos 2\pi \cdot 13 \cdot 10^4 t$	0,9	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,85
4	$2,2 \cos 2 \cdot 251,2 \cdot 10^3 t$	1,0	$16 \cdot 10^{-2}$	0,93
5	$4,2 \cos 3,14 \cdot 1,8 \cdot 10^4 t$	2,6	$1 \cdot 10^{-1}$	0,84
6	$3,6 \cos 2\pi \cdot 104 \cdot 10^3 t$	2,0	$8 \cdot 10^{-2}$	0,94
7	$1,6 \cos 0,5 \cdot 62,8 \cdot 10^4 t$	0,7	0,25	0,88
8	$2,8 \cos 5 \cdot 12,56 \cdot 10^4 t$	1,6	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,86
9	$12 \cos 2\pi \cdot 78 \cdot 10^3 t$	7,4	$25 \cdot 10^{-2}$	0,92
10	$3,7 \cos 31,4 \cdot 18000 t$	2,1	0,16	0,94
11	$1,7 \cos 125,6 \cdot 4200 t$	1,1	$62,5 \cdot 10^{-3}$	0,82
12	$14 \cos 62,8 \cdot 92 \cdot 10^3 t$	9,6	$10 \cdot 10^{-2}$	0,93
13	$3,8 \cos 2\pi \cdot 14,2 \cdot 10^4 t$	2,4	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,85
14	$5,7 \cos 628 \cdot 860 t$	3,8	$12,5 \cdot 10^{-2}$	0,90
15	$4,1 \cos 314 \cdot 1520 t$	2,6	$16 \cdot 10^{-2}$	0,86
16	$6,4 \cos 2\pi \cdot 96 \cdot 10^3 t$	4,1	0,08	0,82
17	$4,8 \cos 628000 t$	3,0	$10 \cdot 10^{-2}$	0,80
18	$3,9 \cos 0,55 \cdot 12,56 \cdot 10^5 t$	1,8	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,92
19	$4,4 \cos 2,8 \cdot 12,56 \cdot 10^4 t$	3,1	$20 \cdot 10^{-2}$	0,94
20	$5,6 \cos 3,14 \cdot 128000 t$	4,2	0,16	0,86
21	$7,2 \cos 2\pi \cdot 106000 t$	5,8	$8 \cdot 10^{-2}$	0,90
22	$3,9 \cos 2 \cdot 251200 t$	2,8	0,125	0,95
23	$9,4 \cos 314 \cdot 1980 t$	6,2	0,16	0,82
24	$6,2 \cos 8,9 \cdot 6,28 \cdot 10^4 t$	4,1	$10 \cdot 10^{-2}$	0,84
25	$5,2 \cos 12,56 \cdot 52000 t$	3,5	$6,25 \cdot 10^{-2}$	0,80
26	$7,4 \cos 3,14 \cdot 182000 t$	5,9	0,08	0,90
27	$9,2 \cos 125,6 \cdot 3400 t$	7,6	$16 \cdot 10^{-2}$	0,92
28	$1,9 \cos 25,12 \cdot 23000 t$	0,9	0,125	0,85
29	$2,6 \cos 2\pi \cdot 6,9 \cdot 10^4 t$	1,3	0,16	0,87
30	$8,8 \cos 314 \cdot 1260 t$	6,1	0,32	0,89

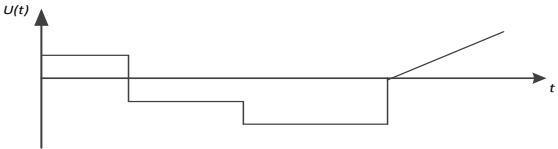
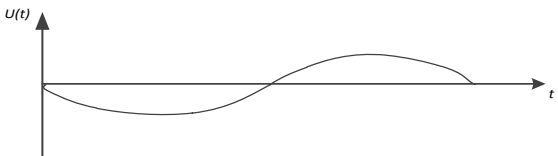
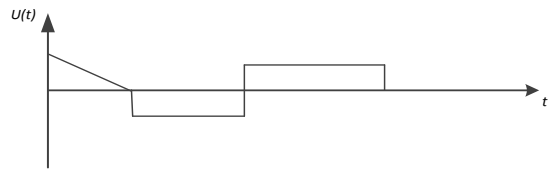
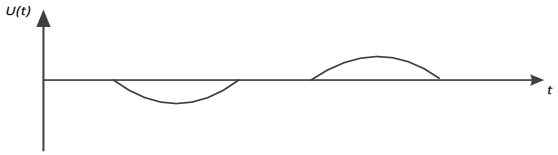
3 Составить математическую модель ЧМ сигнала и построить его спектральную диаграмму амплитуд согласно исходным данным, приведенным в таблице 6.

Таблица 6 – Исходные данные

Вариант	$f_m$ , МГц	$F$ , кГц	$U_m$ , В	$\Delta f_m$ , кГц	$M$	$\lambda$ , 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	107	-	4,4	45	3	-
26	70	13	0,5	-	3	-
27	35	13	0,5	-	3	-
28	140	14	0,4	-	3	-
29	84	-	5	45	3	-
30	70	14	1,5	-	3	-

4 Нарисовать временные диаграммы АМ и ЧМ сигналов, если информационный имеет вид, представленный в таблице 7.

Таблица 7 – Исходные данные

Вариант	Временная диаграмма информационного сигнала
1 – 8	
9 – 16	
17 – 23	
24 – 30	

- 5 Показать результаты выполнения работы преподавателю.
- 6 Сделать выводы.
- 7 Выключить оборудование.
- 8 Составить отчет по работе.

### Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Наименование аппаратного и программного обеспечения.
- 3 Исходные данные для расчетов.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Выводы по работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы (по заданию преподавателя).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Зачем применяют подавление одной боковой полосы частот АМ сигнала?
- 2 Какая будет ширина спектра АМ сигнала, если модулирующим является сигнал звукового вещания первого класса качества?
- 3 Как рассчитать коэффициент модуляции по временной диаграмме АМ сигнала?
- 4 Существует ли сдвиг по фазе между составляющими АМ сигнала?
- 5 Какая частотная модуляция называется широкополосной, узкополосной?
- 6 В чем преимущества узкополосной ЧМ модуляции?
- 7 Какие преимущества широкополосной ЧМ модуляции?
- 8 Какие особенности ЧМ сигнала при  $M_{\text{чм}} = 2,4$ ?

### **Содержание зачета**

Учащемуся необходимо знать ответы на контрольные вопросы, уметь проводить расчеты, предусмотренные заданием на работу, строить временные и спектральные диаграммы АМ и ЧМ сигналов и анализировать результаты.



Практическая работа № 4  
**АНАЛИЗ СИГНАЛОВ С ЦИФРОВОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ**

**Цель работы:** научиться рассчитывать частоту дискретизации сигналов, преобразовывать дискретный сигнал в импульсно-кодированный (ИКМ).

**Подготовка к выполнению работы**

- 1 Изучить по [1] – [5] принципы цифровой модуляции.
- 2 Подготовить ответы на вопросы для самопроверки.

**Вопросы для самопроверки**

1. Поясните физический смысл теоремы В.А. Котельникова. Для каких сигналов справедлива эта теорема?
2. Приведите пример практического применения теоремы В. А. Котельникова.
3. В чем заключаются основные преимущества цифровых методов передачи непрерывных сигналов?
4. Поясните принцип формирования ИКМ сигнала.
5. Поясните когда применяются равномерное и неравномерное квантование.
6. Какие недостатки имеют цифровые способы передачи непрерывных сигналов?

**Аппаратное и программное обеспечение**

- 1 Микрокалькулятор.

**Порядок выполнения работы**

- 1 Ответить на вопросы по домашнему заданию.
- 2 Построить спектральную диаграмму и рассчитать частоту дискретизации сигнала, математическая модель которого имеет вид согласно данным таблицы 8.

**ПРИМЕЧАНИЕ** – Номер варианта соответствует порядковому номеру записи фамилии студента в учебном журнале.

Таблица 8 – Исходные данные

Вариант	Математическая модель сигнала
1	$U(t) = 3\sin 62800t + 1,5\sin 188400t$
2	$U(t) = 5\cos 163280t + 5,7\cos 169560t$
3	$U(t) = 2\sin 125600t + 0,5\sin 251200t$
4	$U(t) = 2,5\cos 339120t + 7,7\cos 106760t$
5	$U(t) = 1,3\sin 6280t - 2,0\sin 18840t$
6	$U(t) = 9\cos 144440t - 5,7\cos 270040t$
7	$U(t) = 0,7\sin 94200t + 2,5\sin 219800t$
8	$U(t) = 1,4\cos 119320t + 2,9\cos 175840t$
9	$U(t) = 0,3\sin 138160t + 1,5\sin 69080t$
10	$U(t) = 4,3\sin 163280t + 5,1\cos 169560t$
11	$U(t) = 4\cos 75360t - 2\cos 43960t$
12	$U(t) = 6,3\cos 75360t + 1,5\cos 131880t$
13	$U(t) = 7\cos 131880t + 3\sin 119320t$
14	$U(t) = 3,2\cos 87920t + 2,3\cos 257480t$
15	$U(t) = 2\sin 314000t - 1,5\sin 31400t$
16	$U(t) = 3,6\cos 383080t + 6,3\cos 100480t$
17	$U(t) = 2\sin 6280t + 1,5\sin 18840t$
18	$U(t) = 4,2\cos 527520t + 2,4\cos 546360t$
19	$U(t) = 15\sin 150720t + 11\sin 175840t$
20	$U(t) = 3,5\cos 408200t + 2,7\cos 395640t$
21	$U(t) = 3\sin 232360t - 5\sin 87920t$
22	$U(t) = 7\cos 270040t - 5\sin 301440t$
23	$U(t) = 2\sin 75360t + 4\sin 175840t$
24	$U(t) = 6\cos 445880t + 10\cos 106760t$
25	$U(t) = 11\sin 628000t + 8\sin 1884000t$
26	$U(t) = 7,7\cos 138160t + 4,3\cos 276320t$
27	$U(t) = 4\sin 37680t - 1\sin 43960t$
28	$U(t) = 6,3\cos 207240t + 5,7\cos 345400t$
29	$U(t) = 1,2\sin 56520t + 2,3\cos 87920t$
30	$U(t) = 6\cos 339120t + 8\cos 113040t$

3 В результате дискретизации сигнала получена последовательность отсчетов  $U_{m1}, U_{m2}, U_{m3}, U_{m4}, U_{m5}$  В. Преобразовать эту последовательность в ИКМ сигнал при шаге квантования  $\Delta U$  В. Рассчитать ошибку квантования. Исходные данные смотреть в таблице 9.

Таблица 9 – Исходные данные

Вариант	$U_{m1}, В$	$U_{m2}, В$	$U_{m3}, В$	$U_{m4}, В$	$U_{m5}, В$	$\Delta U, В$
1	0,63	1,8	1,18	0,1	0,45	0,1
2	2,3	0,4	3,63	1,5	2,79	0,2
3	0,34	1,2	2,55	5,1	4,74	0,3
4	7,5	5,4	0,82	2,4	4,0	0,4
5	4,0	1,5	9,8	8,2	5,75	0,5
6	6,3	2,35	9,21	11,4	7,8	0,6
7	0,7	8,4	9,1	4,8	12,64	0,7
8	8,3	10,4	15,1	1,6	6,8	0,8
9	18,0	15,3	0,92	4,95	10,7	0,9
10	1,05	1,53	0,38	0,2	1,9	0,10
11	1,22	0,76	1,76	0,16	2,2	0,11
12	0,36	0,85	1,31	1,8	2,34	0,12
13	2,47	2,07	1,69	1,18	0,54	0,13
14	1,43	0,13	0,84	2,52	2,17	0,14
15	2,5	2,97	0,32	0,9	1,65	0,15
16	1,44	0,63	2,55	3,04	2,0	0,16
17	1,28	0,54	0,245	3,23	2,21	0,17
18	1,28	2,79	0,36	3,42	0,89	0,18
19	2,67	0,37	3,42	1,52	2,08	0,19
20	2,3	1,2	3,15	3,83	0,4	0,20
21	3,88	0,42	1,05	1,9	2,9	0,21
22	0,55	4,18	2,21	3,3	2,63	0,22
23	0,23	4,36	2,75	1,165	3,45	0,23
24	0,3	3,6	4,7	1,44	2,52	0,24
25	0,45	4,8	1,5	2,9	4	0,25
26	0,27	1,03	4,94	2,73	3,12	0,26
27	4,86	2,95	1,7	3,78	2,45	0,27
28	5,6	1,22	3,0	2,24	4,34	0,28
29	3,1	1,74	5,22	4,37	2,125	0,29
30	3,3	4,35	6,0	0,27	1,51	0,30

- 4 Показать результаты выполнения работы преподавателю.
- 5 Сделать выводы.
- 6 Составить отчет по работе.

#### Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Наименование аппаратного и программного обеспечения.

- 3 Исходные данные для расчетов.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Выводы по работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы (по заданию преподавателя).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Приведите выражение для расчета частоты дискретизации.
- 2 Почему следует частоту дискретизации выбирать на 10...15 % выше теоретической, рассчитываемой по теореме В. А. Котельникова?
- 3 Какие ошибки возникают при формировании ИКМ сигнала?
- 4 Как определяется интервал дискретизации?
- 5 Какие операции выполняются при преобразовании аналогового сигнала в цифровой?
- 6 Что такое квантование?
- 7 Что такое кодирование?

### **Содержание зачета**

Учащемуся необходимо знать ответы на контрольные вопросы, уметь проводить расчеты и анализировать результаты.

Практическая работа № 5  
**ПОМЕХОУСТОЙЧИВОЕ КОДИРОВАНИЕ СООБЩЕНИЙ**

**Цель работы:** научиться формировать разрешенные кодовые комбинации помехоустойчивых кодов и декодировать систематические линейные блочные коды.

**Подготовка к выполнению работы**

- 1 Изучить по [1] – [6] помехоустойчивое кодирование сообщений и синдромное декодирование кодов.
- 2 Подготовить ответы на вопросы для самопроверки.

**Вопросы для самопроверки**

- 1 В чем заключается помехоустойчивое кодирование?
- 2 Какие существуют способы формирования разрешенных кодовых комбинаций систематических линейных блочных кодов?
- 3 В чем состоит принцип синдромного декодирования помехоустойчивых кодов?
- 4 Как определить количество гарантированно обнаруживаемых и гарантированно исправляемых ошибок помехоустойчивым кодом?
- 5 Каким условиям должен удовлетворять порождающий полином линейного циклического кода?
- 6 Каким образом формируются разрешенные кодовые комбинации неразделимого и делимого линейных циклических кодов?
- 7 В чем заключается различие между систематическими и несистематическими помехоустойчивыми кодами?

**Аппаратное и программное обеспечение**

- 1 Микрокалькулятор.

**Порядок выполнения работы**

- 1 Ответить на вопросы программированного допуска.
- 2 Закодировать четырехразрядное сообщение кодом Хэмминга (7,4,3) с использованием порождающей и проверочной матриц, согласно таблице 10, и сравнить полученные результаты.

**ПРИМЕЧАНИЕ:** Код сообщения сформировать следующим образом: закодировать 5-разрядным двоичным кодом номер варианта и отбросить старший разряд (для номера «16» принять код «1110»).

Таблица 10 – Исходные данные

Номер варианта	Порождающая матрица	Проверочная матрица
1...5	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 111 \\ 0100 & 110 \\ 0010 & 101 \\ 0001 & 011 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1110 & 100 \\ 1101 & 010 \\ 1011 & 001 \end{vmatrix}$
6...10	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 011 \\ 0100 & 110 \\ 0010 & 101 \\ 0001 & 111 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 0111 & 100 \\ 1101 & 010 \\ 1011 & 001 \end{vmatrix}$
11...15	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 110 \\ 0100 & 101 \\ 0010 & 111 \\ 0001 & 011 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1110 & 100 \\ 1011 & 010 \\ 0111 & 001 \end{vmatrix}$
16...20	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 110 \\ 0100 & 111 \\ 0010 & 101 \\ 0001 & 011 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1110 & 100 \\ 1101 & 010 \\ 0111 & 001 \end{vmatrix}$
21...25	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 101 \\ 0100 & 111 \\ 0010 & 011 \\ 0001 & 110 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1101 & 100 \\ 0111 & 010 \\ 1110 & 001 \end{vmatrix}$
26...30	$G_{4,7} = \begin{vmatrix} 1000 & 110 \\ 0100 & 011 \\ 0010 & 111 \\ 0001 & 101 \end{vmatrix}$	$H_{3,7} = \begin{vmatrix} 1011 & 100 \\ 1110 & 010 \\ 0111 & 001 \end{vmatrix}$

3 Декодировать синдромным способом кодовую комбинацию, полученную по пункту 2, для случаев внесения одно-, двух- и трехкратных ошибок (искаженные разряды – произвольно).

4 Закодировать разделимым и неразделимым линейным циклическим кодом (9,5) 5-разрядный двоичный код номера варианта и сравнить полученные результаты. Порождающий полином кодов приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Исходные данные

Номер варианта	Порождающий полином $g(x)$
1 – 15	$x^4 + x^3 + 1$
16 – 30	$x^4 + x + 1$

- 1 Показать результаты выполнения работы преподавателю.
- 2 Сделать выводы.
- 3 Составить отчет по работе.

### **Содержание отчета**

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Наименование аппаратного и программного обеспечения.
- 3 Исходные данные для расчетов.
- 4 Результаты расчетов.
- 5 Выводы по работе.
- 6 Ответы на контрольные вопросы (по заданию преподавателя).

### **Контрольные вопросы**

- 1 Ошибки какой кратности обнаруживает и исправляет код Хэмминга (7,4,3)?
- 2 Какой способ формирования разрешенных кодовых последовательностей систематических линейных блочных кодов проще осуществить аппаратными средствами?
- 3 Какой полином называют порождающим?
- 4 Какое минимальное число разрядов должна иметь разрешенная кодовая комбинация помехоустойчивого кода?
- 5 От чего зависит корректирующая способность помехоустойчивого кода?
- 6 Что понимают под разрешенной кодовой комбинацией?
- 7 Какие существуют методы помехоустойчивого декодирования?
- 8 В чем заключается синдромное декодирование?
- 9 Какой полином называют проверочным?
- 10 Можно ли проводить помехоустойчивое кодирование непрерывных сигналов?
- 11 Как определяется кратность гарантированно обнаруживаемых кодом ошибок?
- 12 Выполнение какого условия является необходимым для обнаружения ошибки передачи?
- 13 Как определяется кратность гарантированно исправляемых кодом ошибок?
- 14 Какие кодовые комбинации формирует кодер корректирующего кода?
- 15 Что достаточно знать для определения количества информационных символов в кодовой комбинации линейного циклического кода?

16 Составьте структурную схему кодера кода Хэмминга (7;4), если проверочные разряды формируются следующим образом:

$$a_5 = a_2 \oplus a_3 \oplus a_4;$$

$$a_6 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_3;$$

$$a_7 = a_1 \oplus a_2 \oplus a_4.$$

### **Содержание зачета**

Учащемуся необходимо знать ответы на контрольные вопросы, уметь формировать разрешенные кодовые комбинации помехоустойчивых кодов, декодировать принятые кодовые слова при введении ошибок и анализировать результаты.



## Литература

- 1 Ю. С. Шинаков, Ю. М. Колодяжный Теория передачи сигналов электросвязи. – М.: Радио и связь, 1989. – С. 60...67.
- 2 И. П. Панфилов, В. Е. Дырда Теория электрической связи. – М.: Радио и связь, 1991. – С. 88...92.
- 3 Л. Л. Ключев Теория электрической связи – Мн: Дизайн ПРО, 1998, 2008.
- 4 С. И. Баскаков Радиотехнические цепи и сигналы – М: Высшая школа, 1988, 2000.
- 5 В. П. Шувалов, Н. В. Захарченко и др. Передача дискретных сообщений, – М.: Радио и связь, 1990, с.146...155, 254...275.
- 6 А. Г. Зюко, Д. Д. Кловский, М. В. Назаров, Л. М. Финк Теория передачи сигналов, – М.: Радио и связь, 1986, с.109...112, 131...158.