

Министерство внутренних дел
Российской Федерации
Краснодарский университет

А. Б. Сизоненко

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Учебно-практическое пособие

Краснодар
КрУ МВД России
2015

УДК 621.39
ББК 45.01
С34

Одобрено
редакционно-издательским советом
Краснодарского университета
МВД России

Рецензенты:

А. Н. Голубинский, доктор технических наук, доцент, начальник кафедры радиотехники и электроники (Воронежский институт МВД России);

М. В. Коцарев, заместитель начальника центра информационных технологий, связи и защиты информации (ГУ МВД России по Краснодарскому краю).

Сизоненко А. Б.

С34 Системы связи : учебно-практическое пособие / А. Б Сизоненко. – Краснодар : Краснодарский университет МВД России, 2015. – 62 с.

ISBN 978-5-9266-0873-8

Представлены задания для практических занятий по дисциплине «Системы связи». Рассмотрены способы кодирования и декодирования информации, а также все современные стандарты сотовой связи.

Для курсантов, обучающихся по специальности 10.05.05 – Безопасность информационных технологий в правоохранительной сфере.

УДК 621.39
ББК 45.01

ISBN 978-5-9266-0873-8

© Краснодарский университет
МВД России, 2015
© Сизоненко А. Б., 2015

1. РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛОВ СВЯЗИ

Содержание работы:

1. Расчет количества информации и энтропии
2. Расчет параметров сигналов
3. Оценка ширины спектра сигналов

1.1 Расчет количества информации и энтропии

Выбрать исходные данные согласно своего варианта из таблицы:

№ вар	Вероятность появления символа алфавита								Т (мс)
	p ₁	p ₂	p ₃	p ₄	p ₅	p ₆	p ₇	p ₈	
1, 11	0,01	0,06	0,2	0,28	0,12	0,13	0,14	0,06	1
2, 12	0,1	0,04	0,23	0,14	0,3	0,07	0,05	0,07	2
3, 13	0,12	0,13	0,14	0,06	0,11	0,05	0,25	0,14	3
4, 14	0,3	0,07	0,05	0,07	0,01	0,06	0,18	0,26	4
5, 15	0,12	0,13	0,14	0,06	0,1	0,15	0,2	0,1	5
6, 16	0,3	0,08	0,07	0,1	0,13	0,19	0,05	0,08	0,1
7, 17	0,11	0,05	0,25	0,14	0,17	0,14	0,06	0,08	0,2
8, 18	0,01	0,06	0,2	0,26	0,2	0,17	0,03	0,07	0,3
9, 19	0,13	0,21	0,05	0,07	0,1	0,05	0,25	0,14	0,4
10, 20	0,17	0,14	0,06	0,08	0,03	0,06	0,2	0,26	0,5

а) Количество информации, которое приходится на одно сообщение a_i , определяется выражением:

$$I(a_i) = \log_2 \frac{1}{p(a_i)} = -\log_2 p(a_i)$$

б) Среднее количество информации $H(A)$, которое приходится на одно сообщение, поступающее от источника без памяти, получим, применив операцию усреднения по всему объему алфавита:

$$H(A) = -\sum_{i=1}^K p(a_i) \log_2 p(a_i).$$

в) Рассчитать производительность источника сообщений

Среднее количество информации, выдаваемое источником в единицу времени, называют производительностью источника:

$$H'(A) = H(A)/T$$

1.2 Расчет параметров сигналов

Непрерывное сообщение, поступающее от источника ИС и представленное первичным электрическим сигналом в форме напряжения $u(t)$, является стационарным случайным процессом, мгновенные значения которого распределены равномерно в интервале (u_{\min} до u_{\max}).

№ вар	u_{\min}	u_{\max}	№ вар	u_{\min}	u_{\max}
1	0	1	11	1	1
2	0	2	12	1	2
3	0	3	13	1	3
4	0	4	14	1	4
5	0	5	15	1	5
6	-1	1	16	-2	1
7	-1	2	17	-2	2
8	-1	3	18	-2	3
9	-1	4	19	-2	4
10	-1	5	20	-2	5

Рассчитать следующие параметры сигнала:

а). Записать аналитическое выражение и построить график одномерной плотности вероятности мгновенных значений сообщения $u(t)$.

б). Найти соответствующую интегральную функцию распределения сообщения и построить ее график.

в). Рассчитать значения математического ожидания, среднеквадратического отклонения и дисперсии.

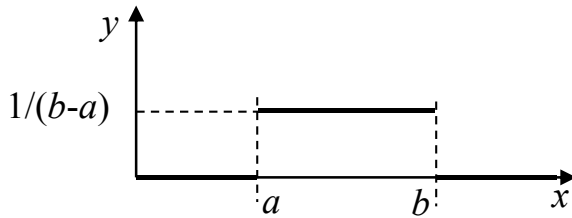
Методические рекомендации по решению задачи

Решение: Согласно задания, непрерывное сообщение, представленное электрическим сигналом напряжения представляет собой случайный процесс, мгновенные значения которого распределены равномерно. Случайная величина называется равномерно распределенной на $[a, b]$, если ее плотность вероятности на $[a, b]$ постоянна, а вне $[a, b]$ равна 0. Так как

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx = 1,$$

$$\text{то } f(x) = \frac{1}{b-a}.$$

Графически это можно представить следующим образом:



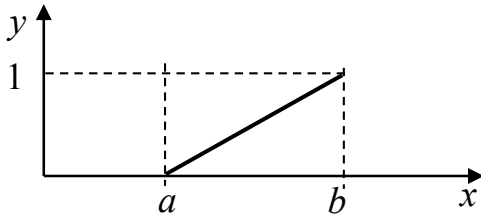
Функцию распределения получаем интегрирование функции плотности распределения:

$$F(x) = \int f(x)dx = \int \frac{1}{b-a} dx = \frac{1}{b-a} x + c$$

Так как задан интервал существования функции $[a, b]$, то в качестве свободного члена интегрирования берется значение $a/(b-a)$, таким образом получим:

$$F(x) = \frac{1}{b-a}(x-a).$$

График функции распределения будет выглядеть следующим образом:



Среднее значение, или математическое ожидание вычисляется по формуле:

$$m_x = \int_a^b xf(x)dx.$$

Среднеквадратичное значение (мощность сигнала) определяется по формуле:

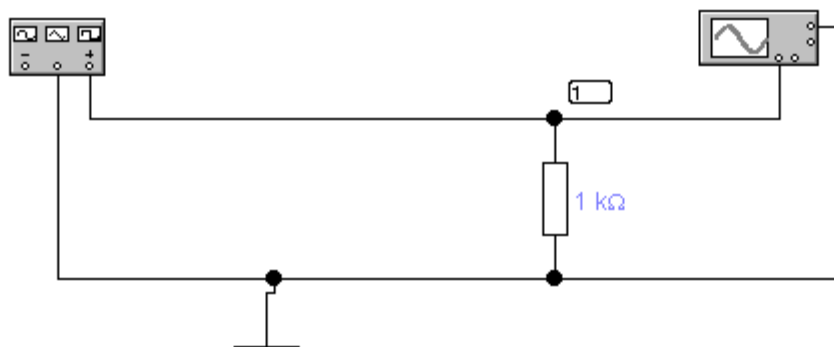
$$p_x = \int_a^b x^2 f(x)dx.$$


Дисперсия — это мера разброса случайной величины. Дисперсия и среднеквадратичное значение связаны формулой:

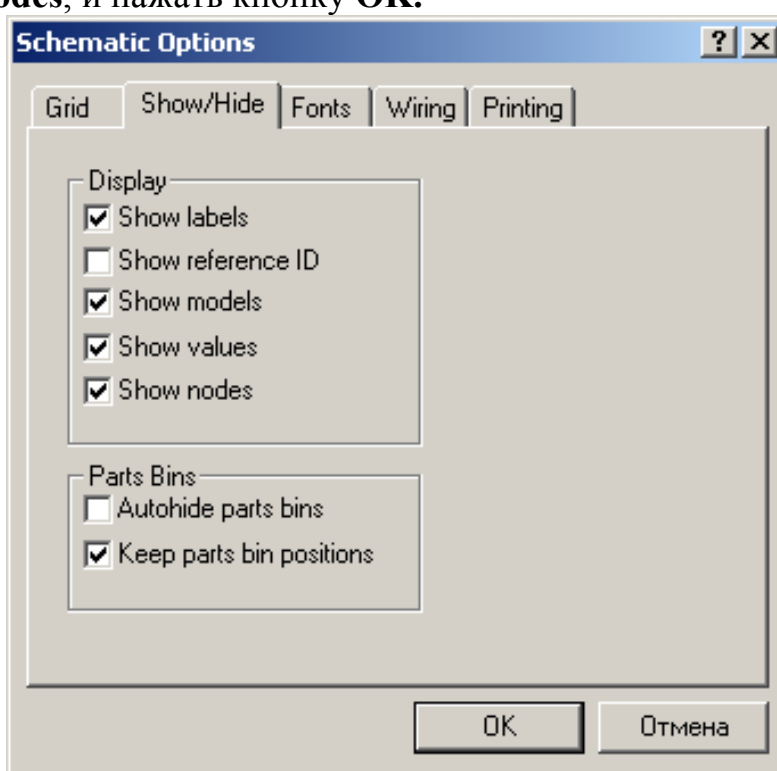
$$\sigma_x^2 = p_x - m_x^2.$$

1.3 Оценка ширины спектра сигналов.

а) Собрать схему, приведенную на рисунке:













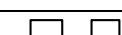



На схеме символы , обозначают номера узлов. Для их отображения необходимо войти в меню **Circuit** выбрать пункт **Schematic options**. На появившейся панели выбрать вкладку **Show/Hide** и поставить галочку напротив пункта **Show nodes**, и нажать кнопку **OK**.



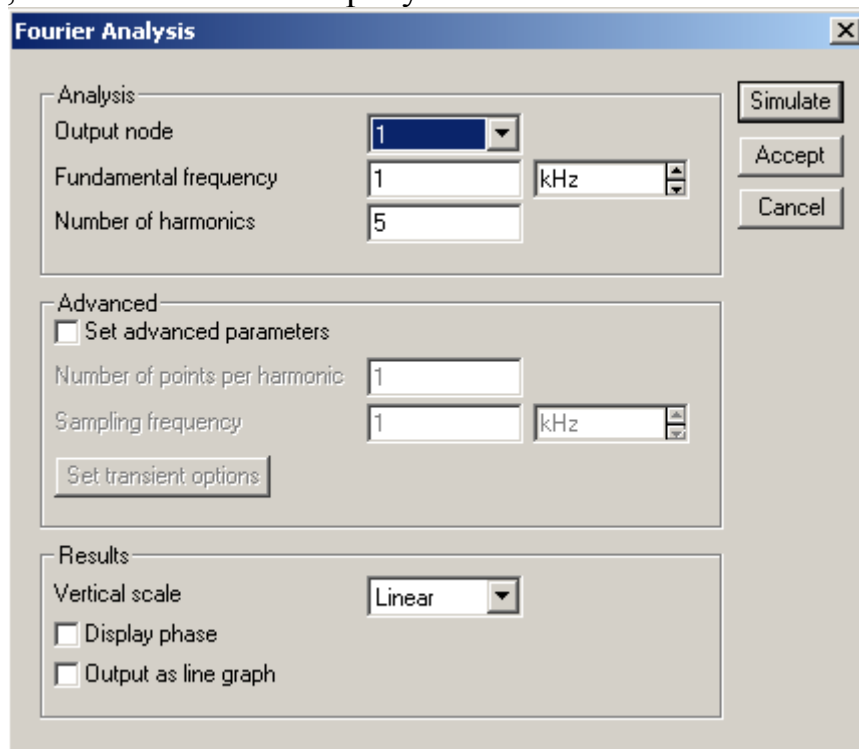
В среде моделирования EWB нумерация узлов зависит от последовательности сборки схемы.

б) Установить значение органов управления генератора согласно задания (Опыт 1).

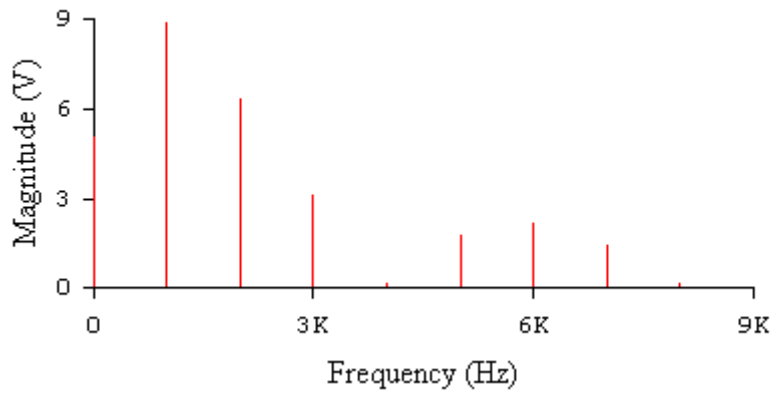
№ вар	Режим	Duty Cycle (опыт 1)	Duty Cycle (опыт 2)	Режим	Duty Cycle (Опыт 3)	Duty Cycle (Опыт 4)
1, 8, 15		10	40		70	30
2, 9, 16		20	50		60	90
3, 10, 17		30	60		50	80
4, 11, 18		40	70		40	70
5, 12, 19		50	80		30	60
6, 13, 20		60	90		20	50
7, 14, 21		70	30		10	40

Амплитуду для всех опытов установить **10 V**, частоту 1 кГц.

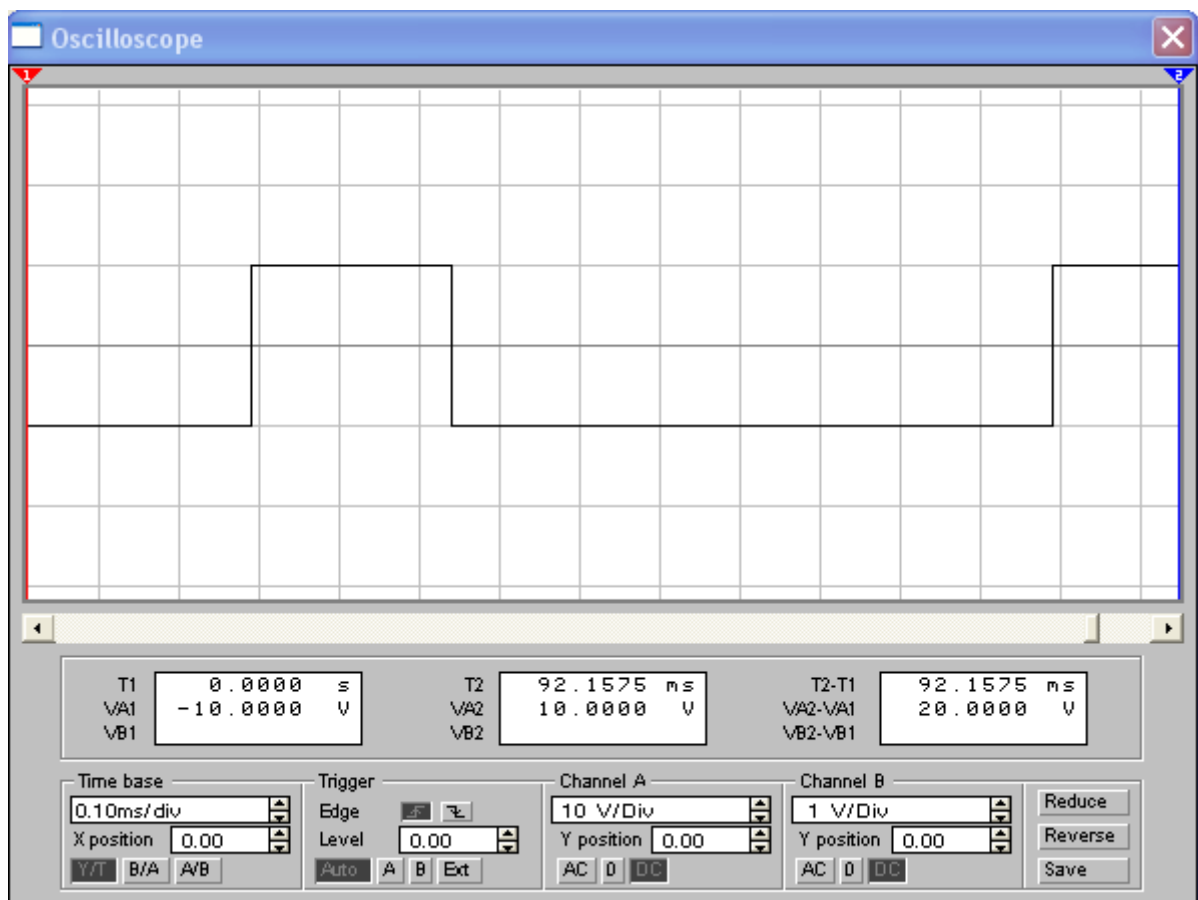
в) Произвести Фурье анализ входного сигнала. Для этого войти в меню **Analysis** и выбрать пункт **Fourier**. На появившейся панели установить все значения, как это показано на рисунке:



г) Нажать кнопку **Simulate**. На экране появятся результаты Фурье анализа выходного сигнала, показанные на рисунке:



д) Снять осциллограммы сигналов:



е) Повторить опыт для других значений из таблицы (опыт 2, 3, 4)

ж) Сделать вывод о зависимости ширины спектра сигнала от крутизны фронта, длительности импульсов, паузы между импульсами.

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

2. ИССЛЕДОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ

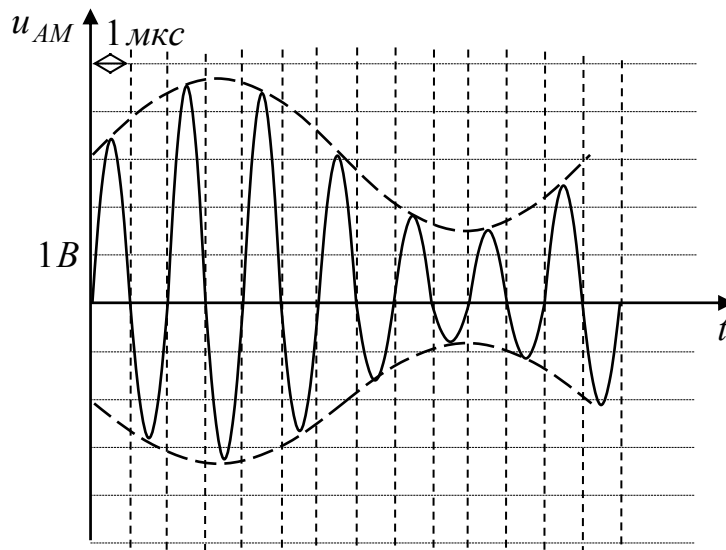
Содержание работы:

1. Исследование амплитудной модуляции
2. Исследование частотной модуляции
3. Исследование дискретных видов модуляции
 - 3.1. Исследование амплитудной манипуляции
 - 3.2. Исследование частотной манипуляции

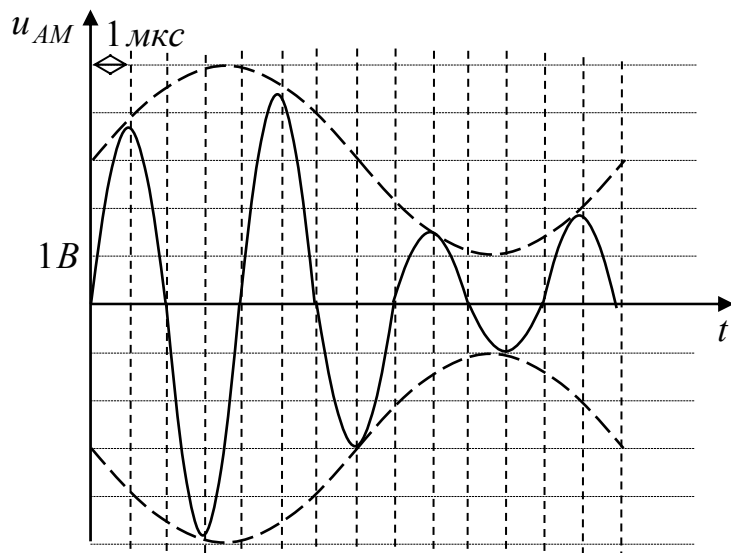
2.1 Исследование амплитудной модуляции

Определить глубину модуляции, спектральный состав, амплитуду гармоник амплитудно-модулированного сигнала, представленного на рисунке. Построить спектр сигнала.

Вариант 1 (нечетные номера по журналу).



Вариант 2 (четные номера по журналу).



Произвести моделирование амплитудно модулированного сигнала в среде EWB.

Снять осциллограмму смоделированного сигнала, сравнить с исходным. Сделать выводы.

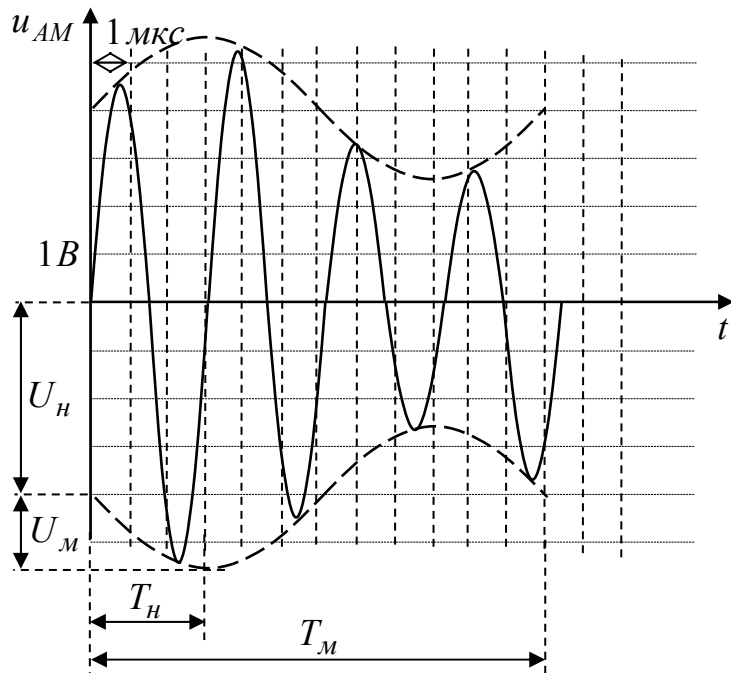
Провести Фурье анализ полученного сигнала. Сравнить результаты Фурье анализа сигнала с вычисленным спектром сигнала. Сделать выводы.

Дополнительное задание:

В среде EWB произвести моделирование амплитудно модулированного сигнала с подавлением верхней боковой полосы, с подавлением несущей.

Пример расчета:

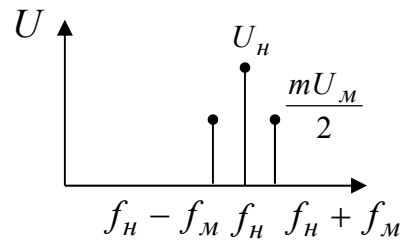
Пусть дано амплитудно модулированное колебание:



По рисунку определяем: $U_H = 4 \text{ В}$, $U_M = 1,5 \text{ В}$, $T_H = 3 \text{ мкс}$, $T_M = 12 \text{ мкс}$.

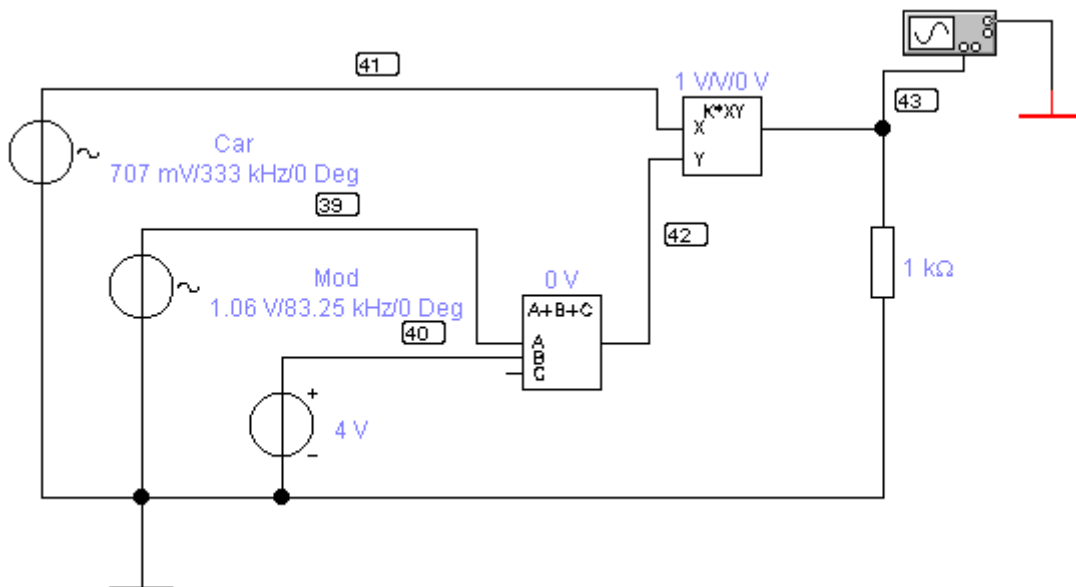
Вычисляем: $f_H = 1/T_H = 333 \text{ кГц}$, $f_M = 1/T_M = 83 \text{ кГц}$, $m_{ам} = U_M/U_H$.

Строим спектр амплитудно модулированного сигнала:



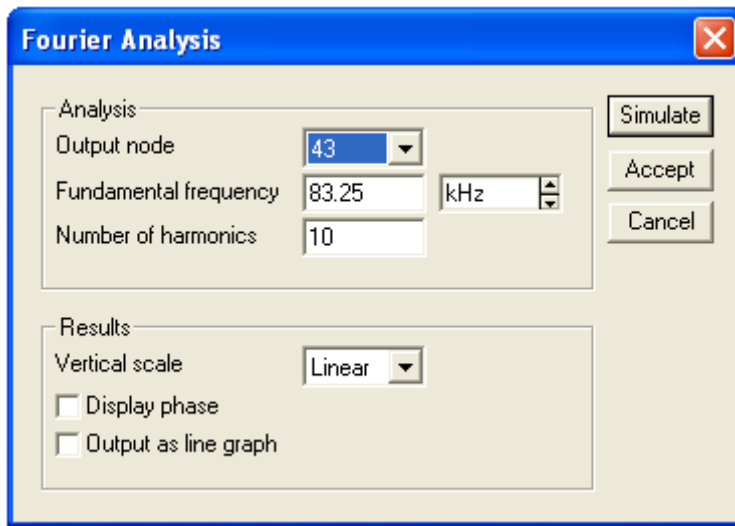
Как известно, амплитудно модулированное колебание описывается формулой: $u_{AM}(t) = (U_H + U_M \cos 2\pi f_M t) \cos(2\pi f_H t + \psi)$.

Производим моделирование сигнала в среде EWB. Для этого соберем следующую схему:

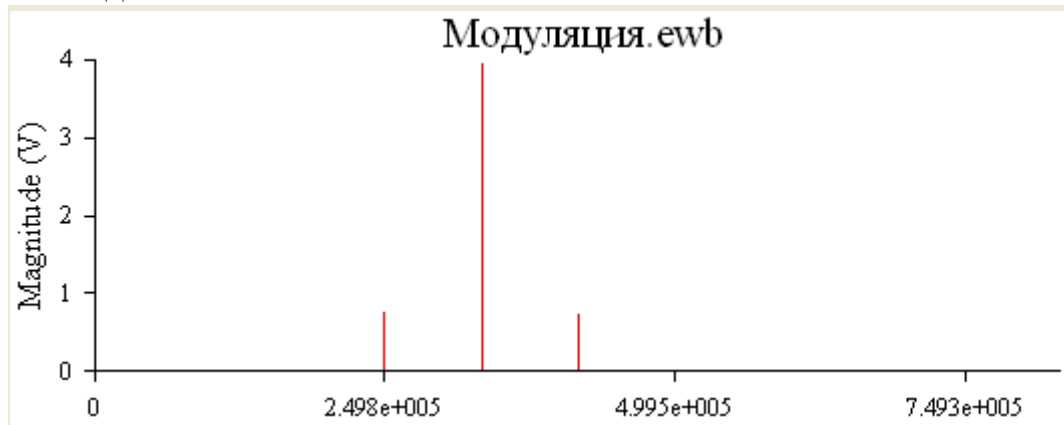


При установке параметров генераторов следует иметь в виду, что для генераторов переменного напряжения устанавливается действующее значение напряжения, которое в $\sqrt{2}$ раз меньше амплитудного.

Произведем анализ Фурье выходного сигнала (в узле 43). Для этого войти в меню **Analysis** и выбрать пункт **Fourier**. На появившейся панели установить все значения, как это показано на рисунке:



Нажать на кнопку Simulate, на экране появится результат Фурье анализа сигнала в заданной точке:



2.2 Исследование частотной модуляции

Построить модель в среде EWB для исследования частотной модуляции. Снять осциллограммы частотно модулированного сигнала. Произвести Фурье анализ частотно модулированного сигнала. Сделать вывод о зависимости ширины спектра частотно модулированного сигнала от коэффициента частотной модуляции.

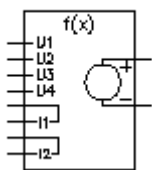
№ варианта	f_n , Гц	f_m , Гц	U_n , В
1, 6, 11, 16	8	1	1
2, 7, 12, 17	9	1	2
3, 8, 13, 18	10	1	3
4, 9, 14, 19	11	2	4
5, 10, 15, 20	12	2	5

Выполнить 5 опытов для $m_q = 1, 2, 3, 4, 5$.

Определить девиацию частоты для каждого опыта.

Пример моделирования:

Для моделирования используем элемент **Nonlinear Dependent Source**, расположенный на панели компонентов **Sources**:



Данный элемент позволяет создавать источник, моделирующий функцию устройства или сложной системы путем ввода математического выражения в строку Source Expression вкладки Value панели задания свойств компонента. В выражении в качестве переменных можно использовать 4 значения напряжения (входы V1-V4) и 2 значения силы тока (I1, I2).

Выражения могут содержать следующие операторы:

+ - * / ^

и встроенные функции:

abs asin atanh exp sin tan

acos asinh cos ln sinh u

acosh atan cosh log sqrt uramp

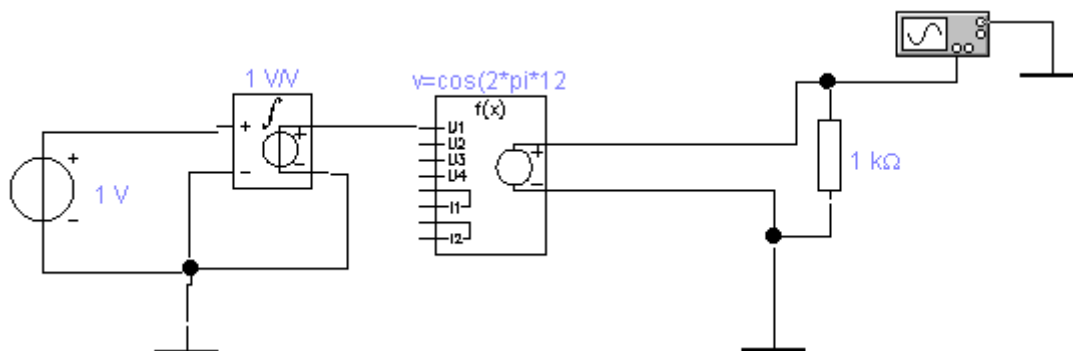
Математические примеры выражения:

$i = \cos(v(1)) + \sin(v(2))$

$v = \ln(\cos(\log(v(1,2))^2)) - v(3)^4 + v(2)^v(1)$

Примечание если значение выражения присваивается переменной v получаем источник ЭДС; если переменная i - получаем источник тока.

Соберем следующую схему:



В собранной схеме на выходе интегратора получаем напряжение, равное времени, прошедшему с начала моделирования. Перевод времени в напряжение нам необходим, так как в качестве переменных компонента **Nonlinear Dependent Source** могут выступать только напряжение и сила тока.

Известно, что частотно модулированный сигнал описывается выражением: $u_{чм}(t) = U_H \cos \Psi(t) = U_H \cos(\omega_0 t + m_q \sin \Omega t)$.

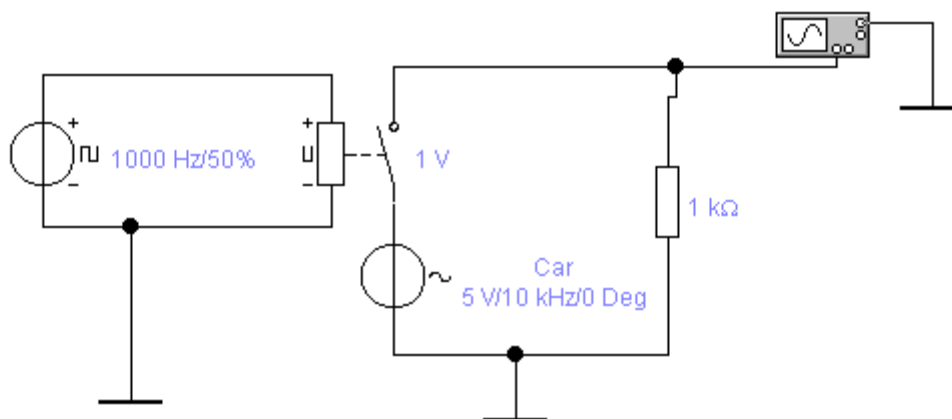
Для того, чтобы смоделировать частотно модулированный сигнал с параметрами $U_H = 1B$, $f_H = 12 Гц$, $f_M = 2 Гц$ в строке Source Expression вкладки Value панели задания свойств компонента **Nonlinear Dependent Source** запишем следующую строку:

$v = \cos(2 * \pi * 12 * v(1) + 1 * \sin(2 * \pi * 2 * v(1)))$.

2.3 Исследование дискретных видов модуляции

2.3.1 Исследование амплитудной манипуляции

Собрать схему, представленную на рисунке:



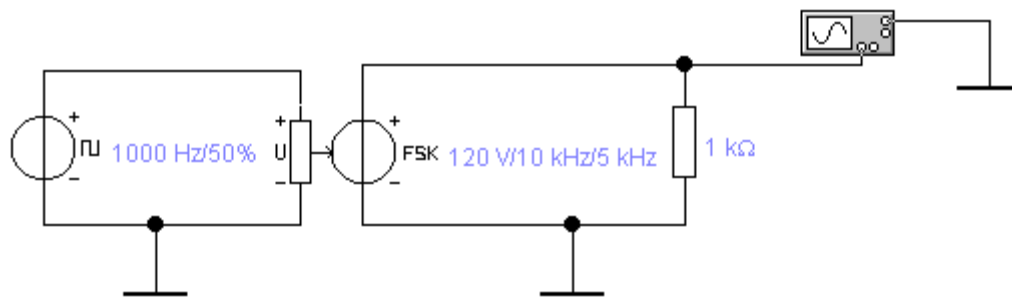
Установить значения источника ЭДС согласно своего варианта:

№ варианта	~		□	
	f_H , кГц	U_H , В	f_M , кГц	Duty Cycle
1, 6, 11, 16	8	1	0,5	30
2, 7, 12, 17	9	1	0,5	40
3, 8, 13, 18	10	1	1	50
4, 9, 14, 19	11	2	1	30
5, 10, 15, 20	12	2	1	40


Снять осциллограмму на выходе схемы, произвести Фурье анализ.

2.3.2 Исследование частотной манипуляции

Собрать схему, представленную на рисунке:



Установить значения источника ЭДС согласно своего варианта:

№ варианта	FSK				
	f_{H1} , кГц	f_{H0} , кГц	U_H , В	f_M , кГц	Duty Cycle
1, 6, 11, 16	8	2	1	0,5	30
2, 7, 12, 17	9	3	1	0,5	40
3, 8, 13, 18	10	4	1	1	50
4, 9, 14, 19	11	5	2	1	30
5, 10, 15, 20	12	6	2	1	40

Снять осциллограмму на выходе схемы, произвести Фурье анализ.

Содержание отчета:

- 1 Тема, цели, содержание работы.
- 2 Исследуемые схемы.
- 3 Выводы по каждому вопросу.

3. ЦИФРОВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ АНАЛОГОВЫХ СИГНАЛОВ

Содержание работы:

1. Расчет параметров дискретизатора и АЦП
2. Моделирование АЦП
3. Моделирование ЦАП

3.1 Расчет параметров дискретизатора и АЦП

Непрерывное сообщение, поступающее от источника ИС и представленное первичным электрическим сигналом в форме напряжения $u(t)$, является стационарным случайным процессом, мгновенные значения которого распределены равномерно в интервале (u_{\min} до u_{\max}), энергетический спектр сосредоточен в полосе частот от 0 до f_c .

Дискретизатор преобразует сообщение в последовательность отсчетов, взятых с интервалом по времени Δt . Затем каждый отсчет квантуется по уровню (напряжению) с равномерным шагом $\Delta a = 0,1 B$.

Требуется рассчитать следующее.

- а). Максимально допустимый интервал дискретизации по времени Δt .
- б). Число уровней квантования L .
- в). Среднюю мощность шума квантования.
- г). Отношение средних мощностей сигнала и шума квантования в децибелах, определить достаточное ли число уровней квантования используется, рассчитать требуемое количество уровней квантования. (формулы для расчета приведены в лекции 3)

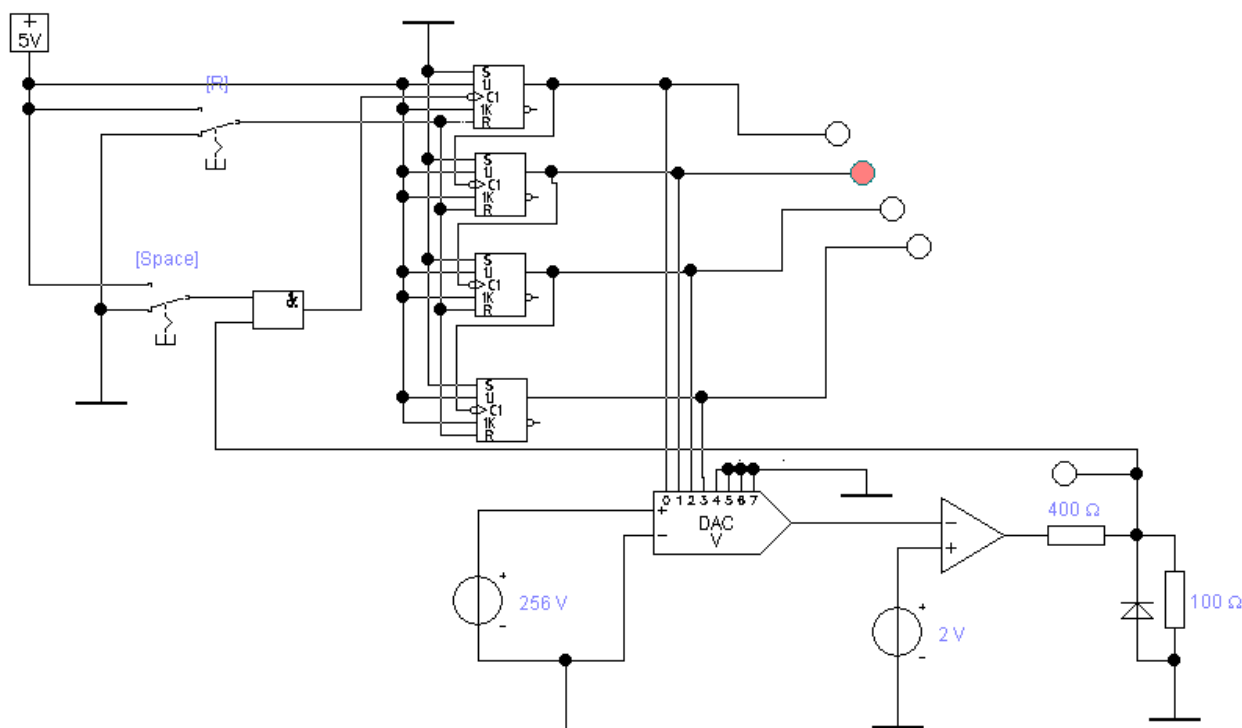
№ вар	u_{\min}	u_{\max}	f_c
1	0	6,4	
2	0	3,2	
3	0	1,6	
4	-6,4	6,4	
5	-3,2	3,2	
6	-1,6	1,6	
7	-6,4	0	
8	-3,2	0	
9	-1,6	0	
10	0	12,8	

3.2 Моделирование АЦП

а) Собрать схему моделирующую работу АЦП последовательного счета.

Значение преобразуемого напряжения установить из таблицы, согласно своего варианта:

№ вар	u_{ex} , В	№ вар	u_{ex}
1	4,2	11	9,2
2	4,7	12	9,7
3	5,2	13	10,2
4	5,7	14	10,7
5	6,2	15	11,2
6	6,7	16	11,7
7	7,2	17	12,2
8	7,7	18	12,7
9	8,2	19	13,2
10	8,7	20	13,7

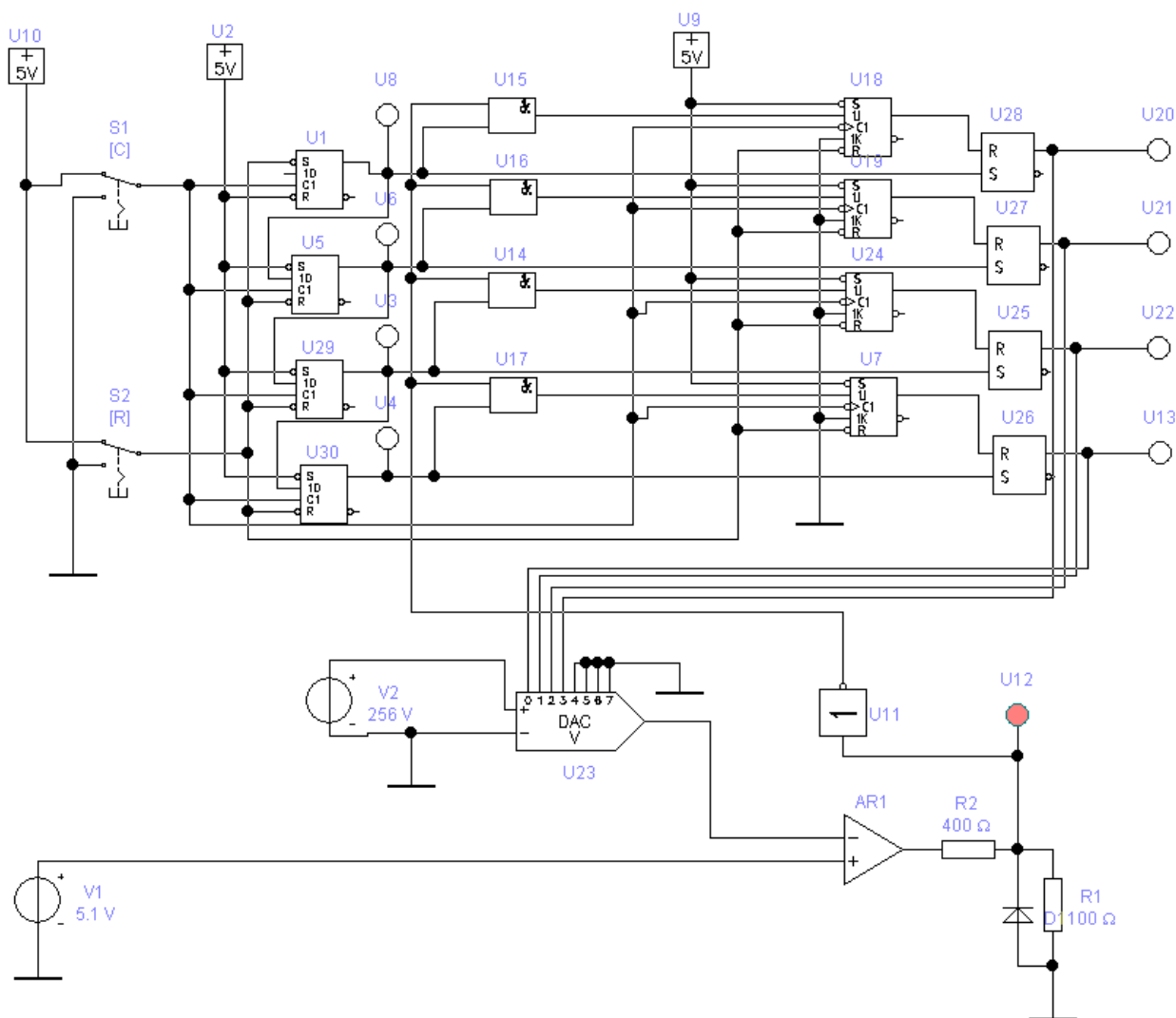


Построить временные диаграммы, поясняющие принцип получения цифрового кода для заданного входного напряжения.

Сделать вывод.

б) Собрать схему моделирующую работу АЦП последовательного счета.

Значение преобразуемого напряжения установить из таблицы, согласно своего варианта.

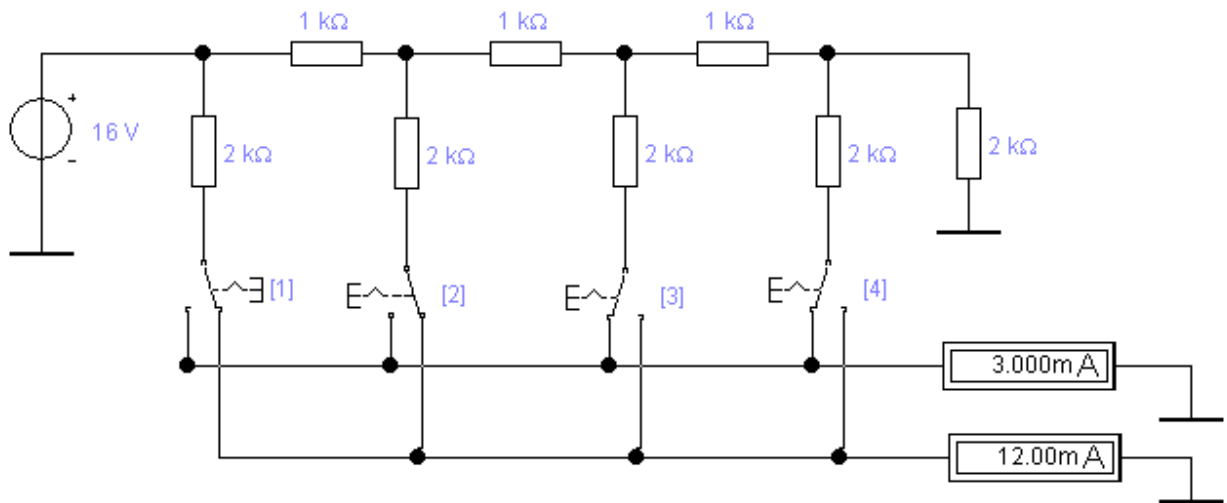


Построить временные диаграммы, поясняющие принцип получения цифрового кода для заданного входного напряжения.

Сделать вывод.

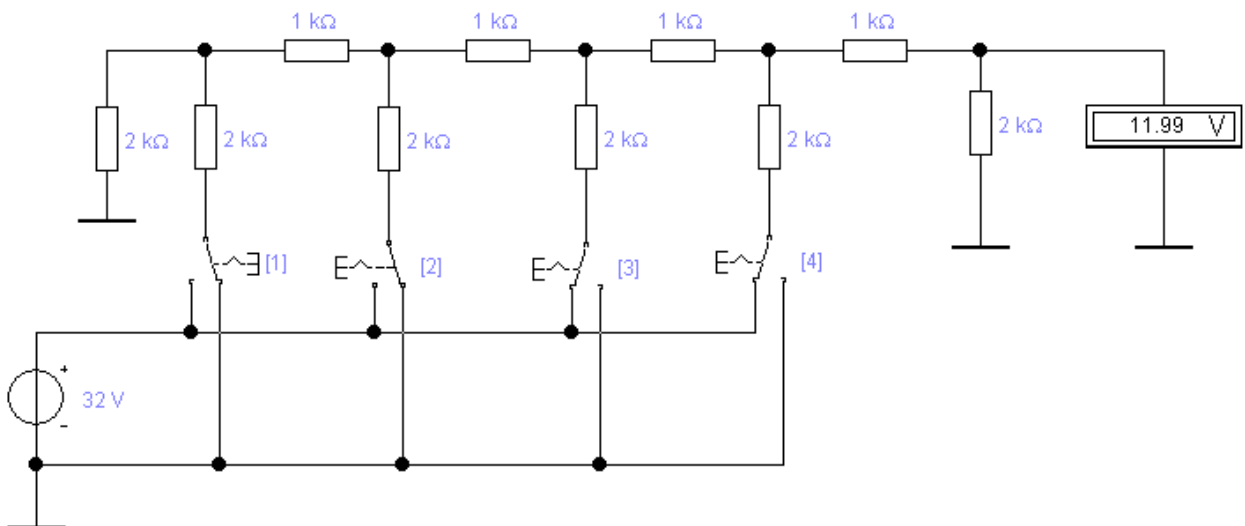
3.3 Моделирование ЦАП

а) Собрать схему ЦАП, построенную на основе матрица R-2R с суммированием токов.



Сделать вывод.

б) Собрать схему ЦАП, построенную на основе матрица R-2R, с выходным значением в виде напряжения.



Снять значения напряжений на всех наборах кодовых комбинаций.

Построить диаграмму, поясняющую зависимость выходного напряжения от входной кодовой комбинации.

Сделать вывод.

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

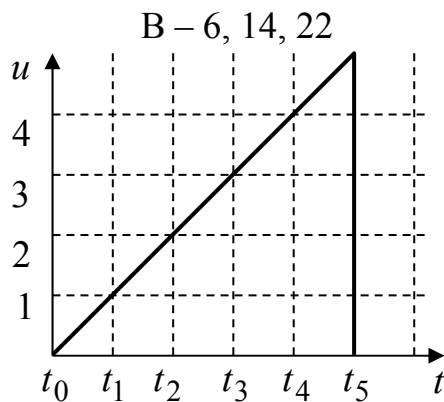
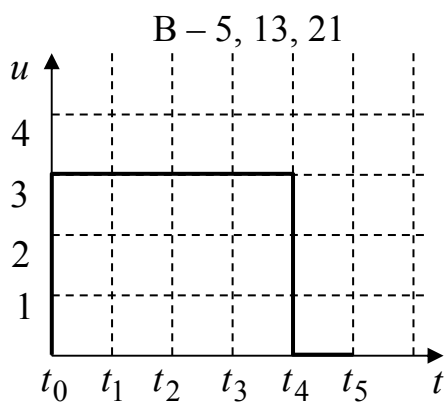
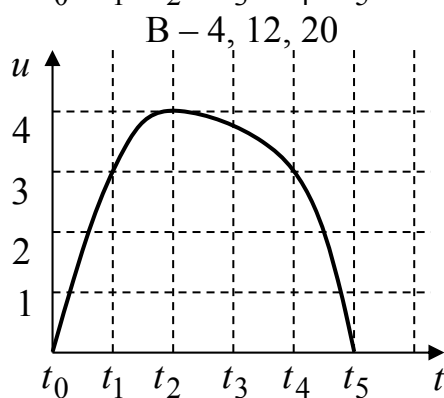
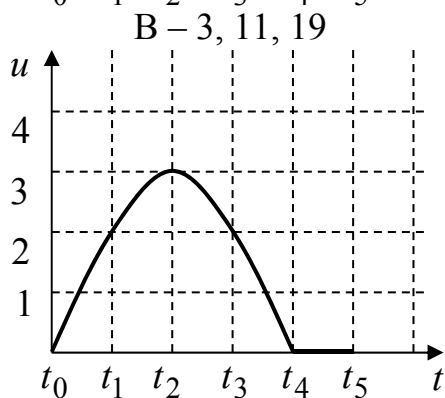
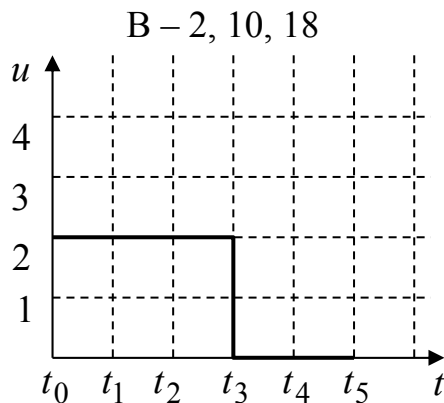
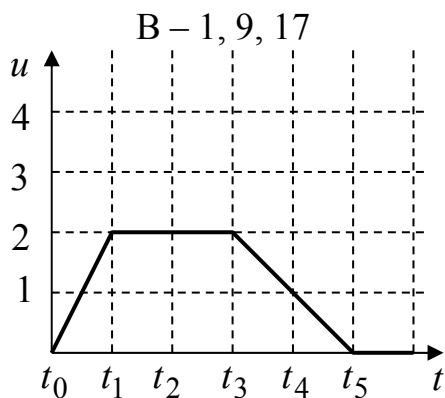
4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА СИГНАЛА С ПОМОЩЬЮ ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ

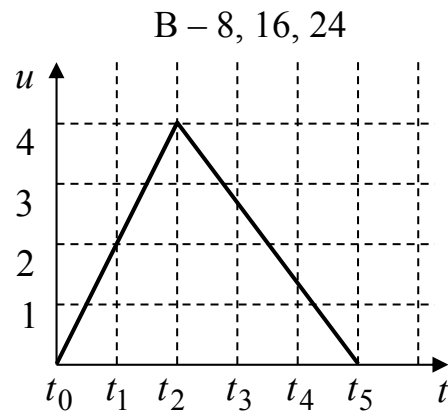
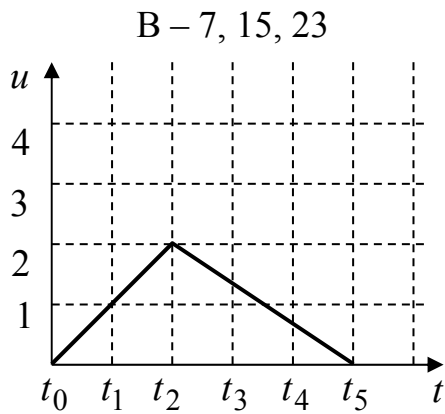
Содержание работы:

1. Вычисление коэффициентов ДПФ
2. Восстановление исходного сигнала по ДПФ

4.1 Вычисление коэффициентов ДПФ

Вычислить спектр сигнала с помощью ДПФ





Пример расчета:

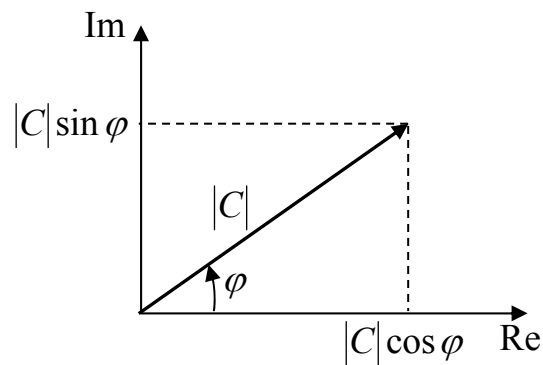
Пусть даны отсчеты сигнала $u_k = \{1, 1, 1, 0, 0, 0\}$.

Требуется вычислить отсчеты спектрального представления.

Используя формулу $C_n = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} u_k e^{-j2\pi nk/N}$.

Так как отсчетов 6 то и $N=6$.

В данной формуле комплексное число представлено в показательной форме. Для сложения и вычитания комплексных чисел необходимо соответственно складывать и вычитать между собой отдельно их действительные и мнимые части. Геометрическое изображение комплексного числа представлено на рисунке. Там же даны формулы для вычисления действительной и мнимой частей.



n	$\frac{1}{N}$	Слагаемые при k равном:						C_n
		0	1	2	3	4	5	
0	1/6	1	1	1	0	0	0	0,5
1	1/6	1	$1 \cdot e^{-j\pi/3}$ $0,5 - j\sqrt{3}/2$	$1 \cdot e^{-j2\pi/3}$ $-0,5 - j\sqrt{3}/2$	$0 \cdot e^{-j3\pi/3}$ 0	$0 \cdot e^{-j4\pi/3}$ 0	$0 \cdot e^{-j5\pi/3}$ 0	$\frac{1}{6}(1 - j\sqrt{3})$
2	1/6	1	$1 \cdot e^{-j2\pi/3}$ $-0,5 - j\sqrt{3}/2$	$1 \cdot e^{-j4\pi/3}$ $-0,5 + j\sqrt{3}/2$	0 0	0 0	0 0	0
3	1/6	1	$1 \cdot e^{-j\pi}$ -1	$1 \cdot e^{-j2\pi}$ 1				1/6

Таким образом

$$C_0 = \frac{1}{6}$$

$$C_1 = \frac{1}{6}(1 - j\sqrt{3})$$

$$C_2 = 0$$

$$C_3 = \frac{1}{6}$$

Остальные коэффициента ДПФ образуют сопряженные пары и на основании свойства ДПФ будут иметь следующие значения:

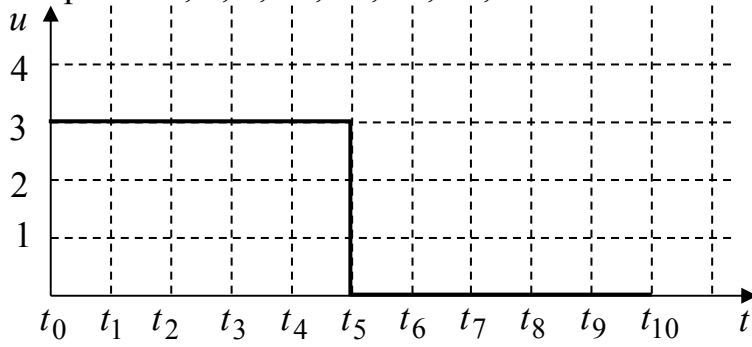
$$C_4 = 0$$

$$C_5 = \frac{1}{6}(1 + j\sqrt{3})$$

4.2 Восстановление исходного сигнала по ДПФ

Произвести восстановление сигнала по данным отсчетам ДПФ и смоделировать сигнал в системе схемотехнического моделирования EWB. Снять осциллограмму, сделать вывод о степени соответствия полученного сигнала и исходного.

Вариант 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19, 22



$$t_1 - t_0 = 100 \text{ мкс}$$

$$u_k = \{3, 3, 3, 3, 3, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$C_0 = 1,5$$

$$C_3 = \frac{1}{10}(3 - j2,18)$$

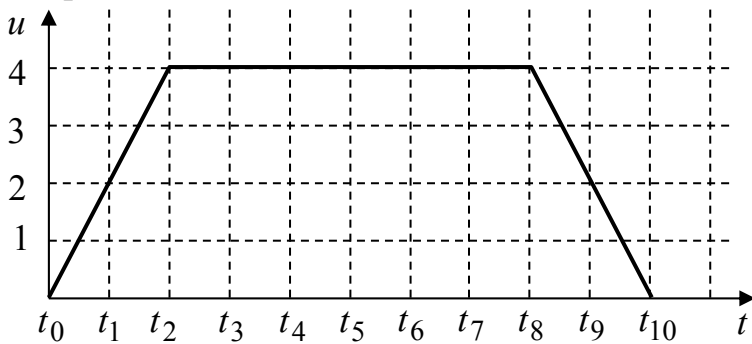
$$C_1 = \frac{1}{10}(3 - j9,23)$$

$$C_4 = 0$$

$$C_2 = 0$$

$$C_5 = 0,3$$

Вариант 2, 5, 8, 11, 14, 17, 20, 23



$$t_1 - t_0 = 100 \text{ мкс}$$

$$u_k = \{0, 2, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 4, 2\}$$

$$C_0 = 3$$

$$C_3 = \frac{1}{10}(-2,15 - j1,9)$$

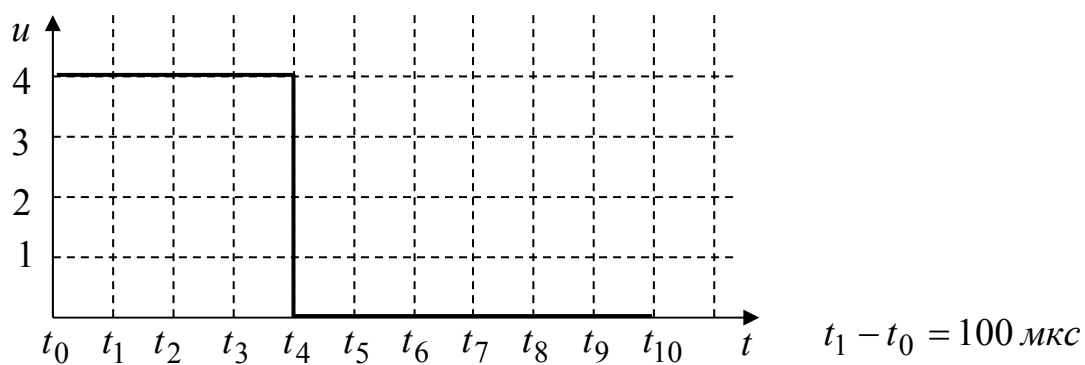
$$C_1 = \frac{1}{10}(-8,85 - j1,18)$$

$$C_4 = \frac{1}{10}(0,85 - j1,18)$$

$$C_2 = \frac{1}{10}(-5,85 - j1,9)$$

$$C_5 = 0,2$$

Вариант 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24



$$u_k = \{4, 4, 4, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0\}$$

$$C_0 = 1,6$$

$$C_1 = \frac{1}{10}(7,24 - j1,18)$$

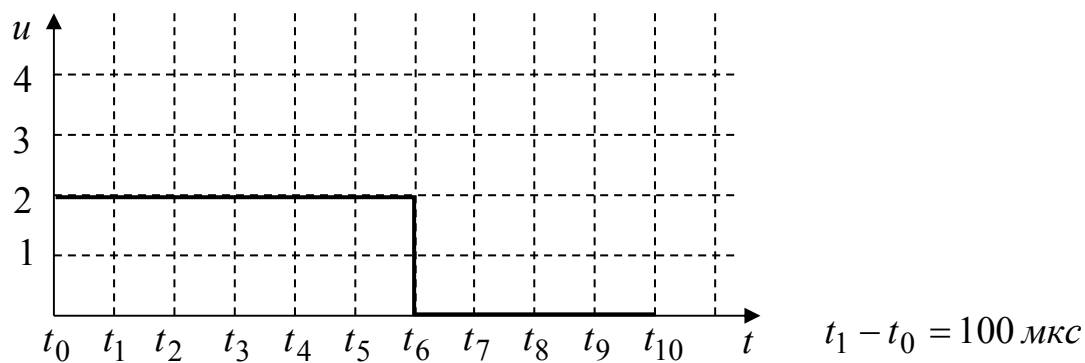
$$C_2 = \frac{1}{10}(1,34 - j3,8)$$

$$C_3 = \frac{1}{10}(2,76 + j0,9)$$

$$C_4 = \frac{1}{10}(3,23 - j2,35)$$

$$C_5 = 0$$

Пример расчета и моделирования в среде EWB.



$$u_k = \{2, 2, 2, 2, 2, 2, 0, 0, 0, 0\}$$

$$C_0 = 1,2$$

$$C_1 = \frac{1}{10}(0 - j6,16)$$

$$C_2 = 0,2$$

$$C_3 = \frac{1}{10}(0 - j1,45)$$

$$C_4 = 0,2$$

$$C_5 = 0$$

Как было показано в лекции исходный сигнал будет восстанавливаться по формуле:

$$u(t) = C_0 + |C_1| \cos(2\pi / T + \varphi_1) + |C_2| \cos(4\pi / T + \varphi_2) + \dots + |C_{N/2}| \cos(N\pi / T + \varphi_{N/2})$$

Так как мы будем производить моделирование восстановленного сигнала в среде моделирования EWB, где есть источники переменного **синусоидально-го** напряжения, параметрами которых являются действующее значение переменного напряжения, частота, то формулу можно переписать в следующем виде:

$$u(t) = C_0 + \frac{|C_1|}{\sqrt{2}} \sin(2\pi(1 \cdot f)t + \varphi_1 + 90) + \frac{|C_2|}{\sqrt{2}} \sin(2\pi(2 \cdot f)t + \varphi_2 + 90) + \dots + \frac{|C_{N/2}|}{\sqrt{2}} \sin(2\pi(N/2 \cdot f)t + \varphi_{N/2} + 90)$$

Для удобства расчет сведем исходные и полученные данные в таблицу.

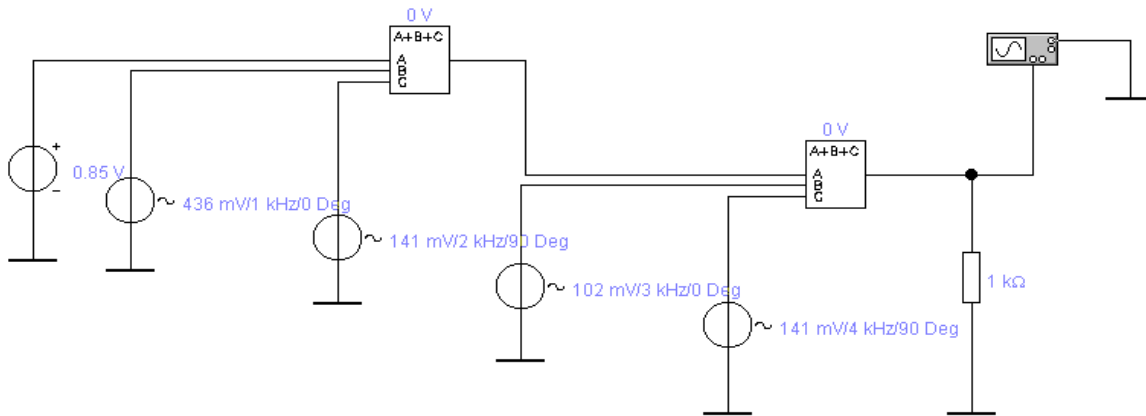
Значение коэфф. $c = a + jb$	Модуль коэфф.а $ c = \sqrt{a^2 + b^2}$	Действующее значение $ c / \sqrt{2}$	Фазовый угол коэфф. ДПФ $\text{arg}c = \text{arctg} \frac{b}{a}$	Фаза ист. напряжен. $\varphi = \text{arg}c + 90$	Частота $f = 1/T$
1	2	3	4	5	6
$C_0 = 1,2$	1,2	0,85 В			
$C_1 = \frac{1}{10}(0 - j6,16)$	616 мВ	436 мВ	-90	0	1 кГц
$C_2 = 0,2$	200 мВ	141 мВ	0	90	2 кГц
$C_3 = \frac{1}{10}(0 - j1,45)$	145 мВ	102 мВ	-90	0	3 кГц
$C_4 = 0,2$	200 мВ	141 мВ	0	90	4 кГц
$C_5 = 0$		0	0		5 кГц

Примечания.

1. В графе 3 находится действующее значение напряжения сигнала, так как в среде моделирования EWB в источниках переменного напряжения задается действующее значение.

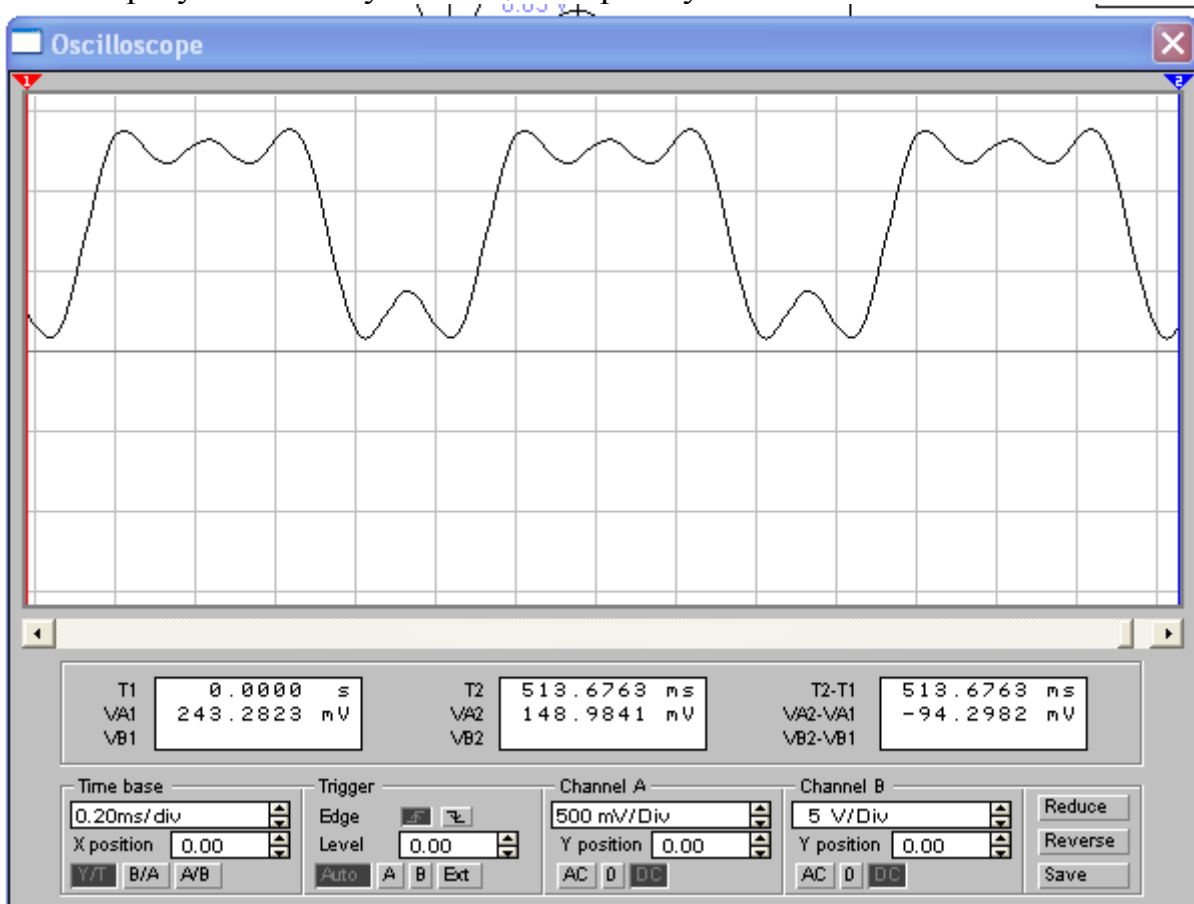
2. В графе 5 находим сумму $\varphi = \text{arg}c + 90^\circ$, так как в среде моделирования EWB есть только источники синусоидального напряжения.

Производим моделирование сигнала, для этого собираем схему:



Значение напряжения, частоты, фазы источников напряжения установим согласно граф 3, 5, 7 таблицы.

В результате получим осциллограмму:



Содержание отчета:

1. Тема, учебные вопросы.
2. Графики исходного сигнала, полученные отсчеты, вычисления и результаты вычисления в виде таблицы, выводы по первому вопросу.
3. Графики исходного сигнала, отсчеты, значения коэффициентов, вычисления и результаты вычисления в виде таблицы, модель в EWB (копия с экрана с полученными значениями), осциллограмма, выводы по второму вопросу.

5. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ ЛИНЕЙНЫХ БЛОЧНЫХ КОДОВ

Содержание работы:

1. Исследование схемной реализации кода хэмминга
2. Исследование схемной реализации циклического кода

5.1 Исследование схемной реализации кода хэмминга

Дана образующая матрица кода Хэмминга:

Вариант 1, 10, 19

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 2, 11, 20

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 3, 12

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 4, 13

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Вариант 5, 14

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 6, 15

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 7, 16

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 8, 17

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Вариант 9, 18

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Построить проверочную матрицу по образующей матрице согласно своего варианта.

Построить схемную реализацию кодера и декодера кода.

Закодировать комбинацию $D = N_{ЖУРН} \bmod 16$.

Аналитически вычислить проверочные биты, сравнить с полученными при моделировании работы кодера.

Смоделировать ошибку в разряде, номер которого вычисляется по формуле $N_{РАЗР} = N_{ЖУРН} \bmod 7$.

Получить синдром ошибки, по проверочной матрице вычислить номер разряда, в котором произошла ошибка, сравнить полученные данные с номером разряда, в котором смоделирована ошибка.

Сделать вывод по первому вопросу.

Пример.

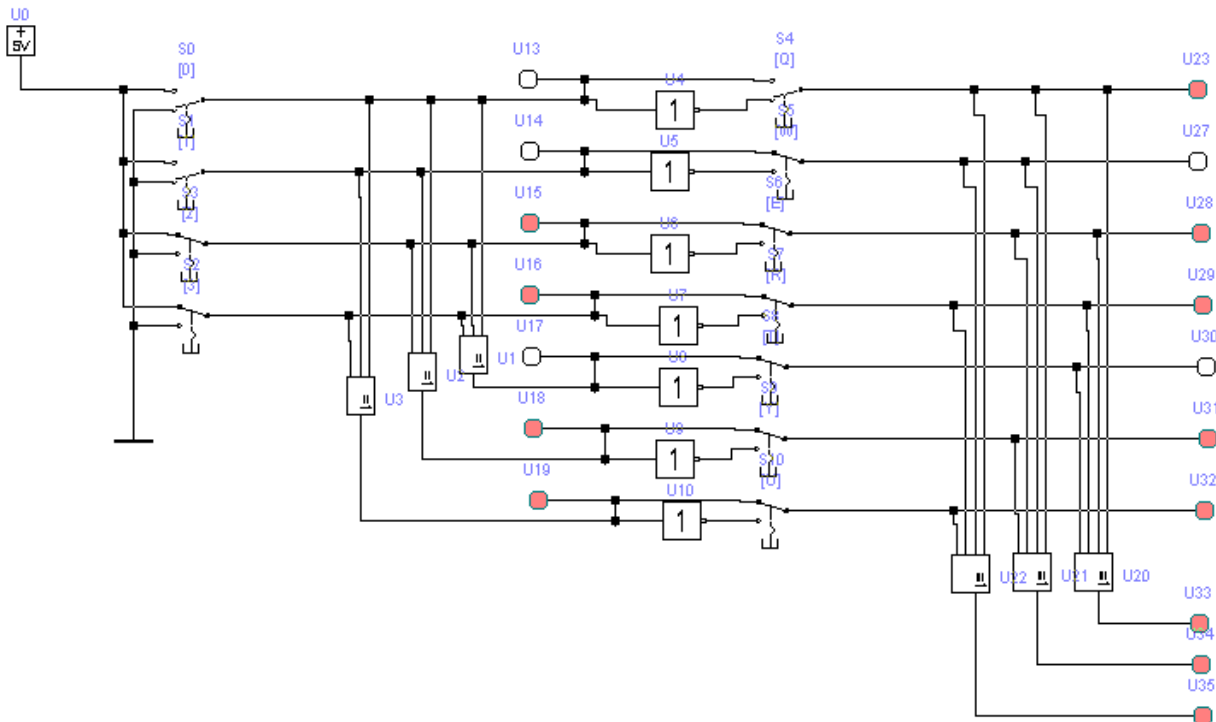
Дана образующая матрица кода Хэмминга:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Построим проверочную матрицу по образующей:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Построим схему.



В данной схеме переключатели S0-S3 устанавливают входную кодовую комбинацию. Сумматоры по модулю 2 U1-U3 формируют проверочные биты. Инверторы U4-U10 и переключатели S4-S10 предназначены для моделирования ошибки в определенном разряде кода. Сумматоры по модулю 2 U1-U3 формируют синдром ошибки.

Например для номера по журналу $N_{журн} = 35$ определим входную кодовую комбинацию $D = 35 \bmod 16 = 3_{10} = 0011_2$.

Аналитически определим кодовую комбинацию:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times (0 \ 0 \ 1 \ 1) = (0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1)$$

Таким образом, проверочные биты равны 011.

Смоделируем ошибку в $N_{разр} = 35 \bmod 7 = 0$ разряде. Таким образом получим следующую принятую кодовую комбинацию 1011011. Аналитически вычислим синдром ошибки:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \times (1 \ 0 \ 1 \ 1) = (1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 0 \ 0), \oplus \begin{array}{r} 0 \ 1 \ 1 \\ 1 \ 0 \ 0 \\ \hline 1 \ 1 \ 1 \end{array}$$

Таким образом, синдром ошибки равен 111 и по проверочной матрице определим, что ошибка произошла в нулевом разряде.

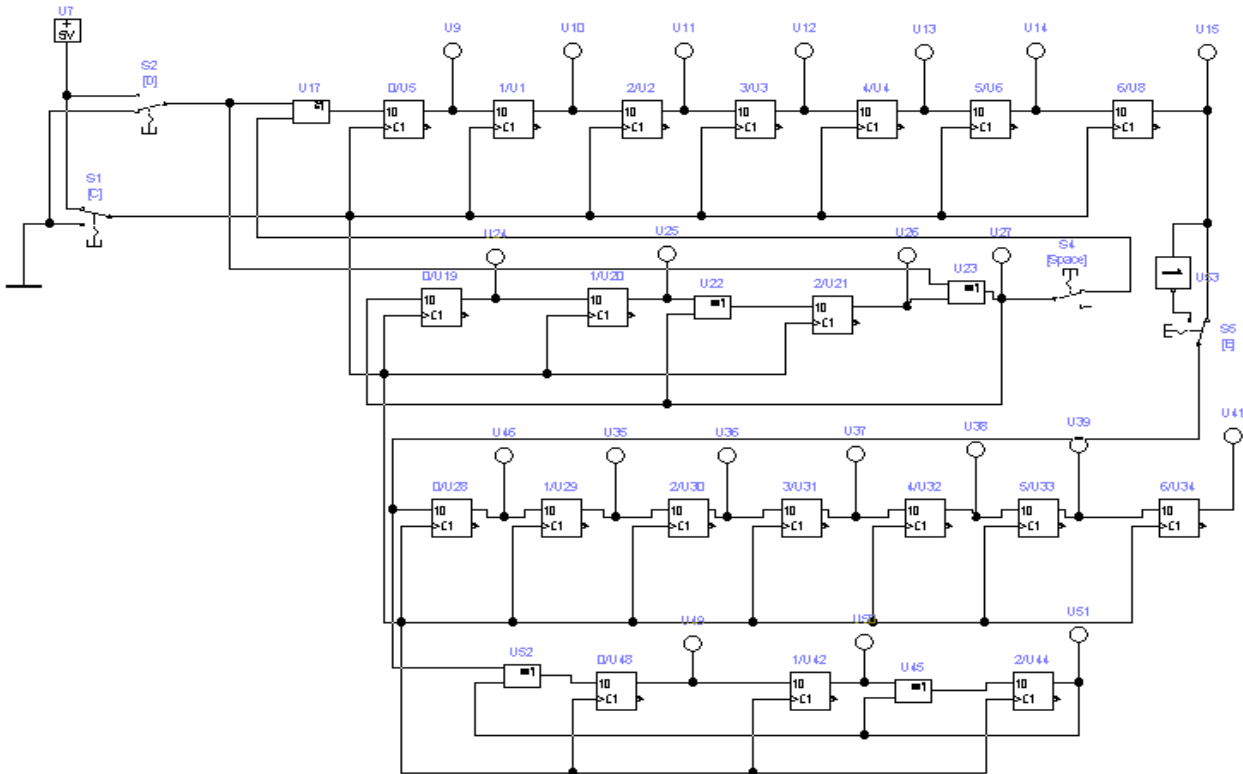
5.2 Исследование схемной реализации циклического кода

Смоделировать схему, реализующую циклический код, построенный на основе неприводимого многочлена $p(X) = x^3 + x^2 + 1$.

Закодировать кодовую комбинацию $D = N_{ЖУРН} \bmod 16$ аналитически и с помощью смоделированной схемы, сравнить результаты.

Опытным путем построить проверочную матрицу, последовательно внося ошибки в каждый из разрядов.

Сделать вывод по второму вопросу.



В схеме на элементах U1-U8 реализован последовательный регистр сдвига, в который записывается входная кодовая комбинация. На элементах U19-U23 собрана схема реализующая деление на образующий полином. Элементы U53, S5 предназначены для моделирования ошибки при передаче сообщения. На элементах U26, U29-U34 реализован последовательный регистр сдвига, в который записывается выходная кодовая комбинация. Элементы U42, U44, U45, U48, U52 формируют синдром ошибки. При подаче первых четырех импульсов переключатель S4 должен находиться в нижнем положении, затем его необходимо перевести в верхнее положение.

Для примера закодируем комбинацию 1001. Преобразуем эту комбинацию в полином $f(X) = x^3 + 1$, тогда $f(X)x^r = x^6 + x^3$.

$$\frac{f(x)x^r}{p(x)} = Q(x) + \frac{r(x)}{p(x)} \Rightarrow \frac{x^6 + x^3}{x^3 + x^2 + 1} = (x^3 + x^2 + x + 1) + \frac{x + 1}{x^3 + x^2 + 1} \Rightarrow r(X) = x + 1,$$

таким образом полином, соответствующий кодовой комбинации $f(X)x^r + r(X) = x^6 + x^3 + x + 1$, что соответствует кодовой комбинации 1001011.

Содержание отчета:

- 1 Тема, цели, содержание работы.
- 2 Исследуемые схемы.
- 3 Выводы по каждому вопросу.

6. ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ СПОСОБОВ ПЕРЕМЕЖЕНИЯ И СВЕРТОЧНЫХ КОДОВ

Содержание работы:

1. Исследование способов перемежения в системах связи
2. Исследование схемной реализации сверточного кода

6.1 Исследование способов перемежения в системах связи

Дана образующая матрица кода Хэмминга:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

1. Закодировать комбинацию согласно своего варианта.

№ вар	Кодовая комбинация	№ вар	Кодовая комбинация
1	0001 0011 0101 1001	11	1011 1011 0010 1001
2	0010 0100 0110 1110	12	1100 0011 1101 1010
3	0011 1010 1100 1110	13	1101 0010 0111 0110
4	0100 0111 1010 1101	14	1110 0101 1100 0011
5	0101 1101 1001 1111	15	1111 0011 0101 1001
6	0110 1011 0010 1001	16	0001 0100 0110 1110
7	0111 0011 1101 1010	17	0010 1010 1100 1110
8	1000 0011 1010 1101	18	0011 0111 1010 1101
9	1001 0010 0111 0110	19	0100 1101 1001 1111
10	1010 1100 0001 0101	20	0101 1011 0010 1001

2. Смоделировать пакет из 4 ошибок в разрядах с 13 по 16, попробовать устранить ошибки.

3. Подать закодированную в п. 1 цифровую последовательность на блочный перемежитель (4,7), смоделировать пакет из 4 ошибок в разрядах с 13 по 16, устранить ошибки, сравнить полученную последовательность с исходной.

Пример:

Дана образующая матрица кода Хэмминга:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}.$$

Построим проверочную матрицу по образующей:

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Закодируем последовательность: 1000 0101 0011 1100.

Получим: 1000110 0101010 0011100 1100011

Смоделируем ошибки в разрядах с 13 по 16 (1000110 0101001 1111100 1100011)

Попробуем раскодировать полученное сообщение и устранить ошибки:

1000110

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times (1 \ 0 \ 0 \ 0) = (1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0),$$

1 1 0

⊕

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 0 \\ \hline 0 \ 0 \ 0 \end{array}$$

Ошибки нет, кодовая комбинация 1000.

0101001

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times (0 \ 1 \ 0 \ 1) = (0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0), \oplus$$

$$\begin{array}{r} 0 \ 1 \ 0 \\ \hline 0 \ 0 \ 1 \\ \hline 0 \ 1 \ 1 \end{array}$$

По проверочной матрице находим, что ошибка в третьем разряде, т. о. полученная кодовая комбинация после устранения ошибки 0111, что не соответствует действительности.

1111100

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times (1 \ 1 \ 1 \ 1) = (1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1), \oplus$$

$$\begin{array}{r} 1 \ 1 \ 1 \\ \hline 1 \ 0 \ 0 \\ \hline 0 \ 1 \ 1 \end{array}$$

По проверочной матрице находим, что ошибка в третьем разряде, т. о. полученная кодовая комбинация после устранения ошибки 1101, что не соответствует действительности.

$$\begin{array}{l}
 1100011 \\
 \left(\begin{array}{ccccccc}
 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1
 \end{array} \right) \times (1 \ 1 \ 0 \ 0) = (1 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1), \oplus
 \end{array}
 \begin{array}{r}
 0 \ 1 \ 1 \\
 0 \ 1 \ 1 \\
 \hline
 0 \ 0 \ 0
 \end{array}$$

Ошибки нет, кодовая комбинация 1100.

Исследуем работу блочного перемежителя. Подадим закодированную последовательность на перемежитель (4,7), причем записывать информацию будем по строкам, а считывать по столбцам.

1000110 0101010 0011100 1100011

1	0	0	0	1	1	0
0	1	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0	0
1	1	0	0	0	1	1

При считывании по столбцам получим: 1001 0101 0010 0110 1010 1101 0001

После воздействия на передаваемое сообщение помехи и искажения символов с 13 по 16 получим 1001 0101 0010 1001 1010 1101 0001.

Подадим искаженную кодовую комбинацию на деперемежитель, причем записывать информацию в него будем по столбцам а считывать по строкам:

1	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	0	1	0
0	0	1	0	1	0	0
1	1	0	1	0	1	1

Получим: 1001110 0100010 0010100 1101011. Мы видим что пакетная ошибка «рассеялась» и теперь может быть исправлена.

Сделать выводы о влиянии размера матрицы на возможность исправлять пакеты ошибок различной длины.

6.2 Исследование схемной реализации сверточного кода

1. Построить схему, закодировать цифровую последовательность сверточным кодом со скоростью $1/2$ и порождающими многочленами $(7,5)_8$ в соответствии со своим вариантом.

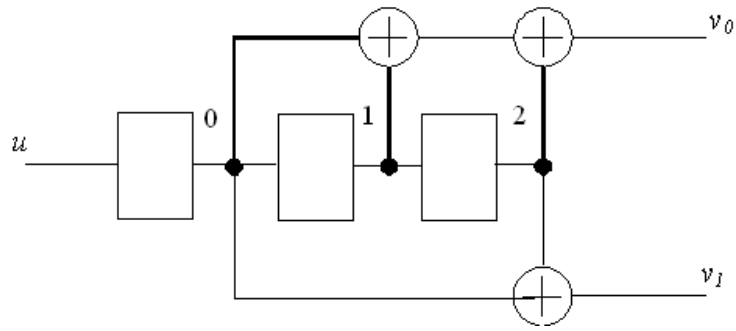
№ вар	Кодовая комбинация	№ вар	Кодовая комбинация
1	01011001	11	1011101
2	00100111	12	1100001
3	00111101	13	1101001
4	0100011	14	1110010
5	0101110	15	1111001
6	0110101	16	0001010
7	0111001	17	0010101
8	1000011	18	0011011
9	1001001	19	0100110
10	1010110	20	0101101

2. Собрать в системе схемотехнического моделирования схему, реализующую сверточный код $(7,5)_8$, проверить правильность его функционирования.

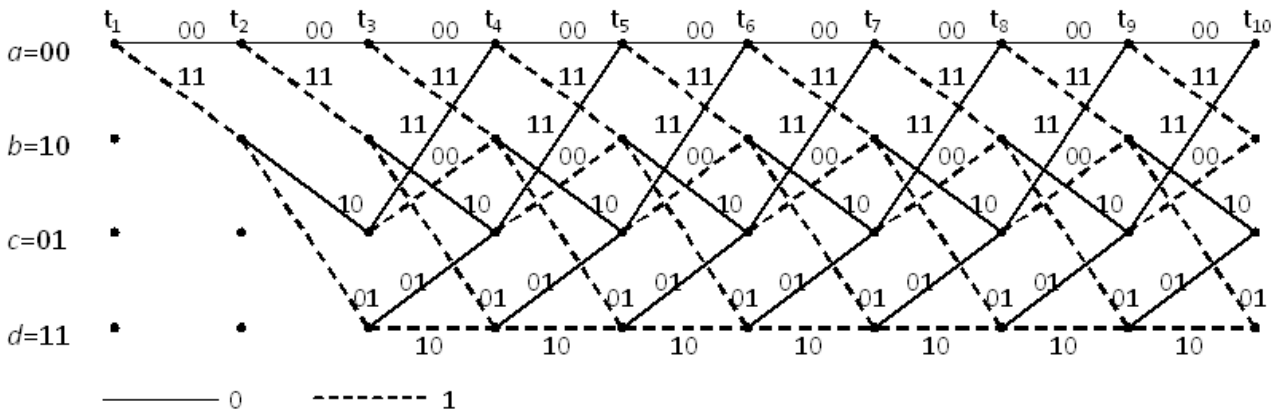
3. Сымитировать ошибку в 9 разряде кодовой последовательности и исправить ошибку с использованием алгоритма Витерби.

Пример:

1. Для того, чтобы построить схему кодера сверточного кода по порождающим многочленам $(7,5)_8$, представить десятичные числа в двоичном виде: $7_{10}=111_2$, $5_{10}=101_2$. На сумматор по модулю 2 подадим сигналы с тех разрядов регистра сдвига, номера которых соответствуют «1» в двоичном представлении чисел.



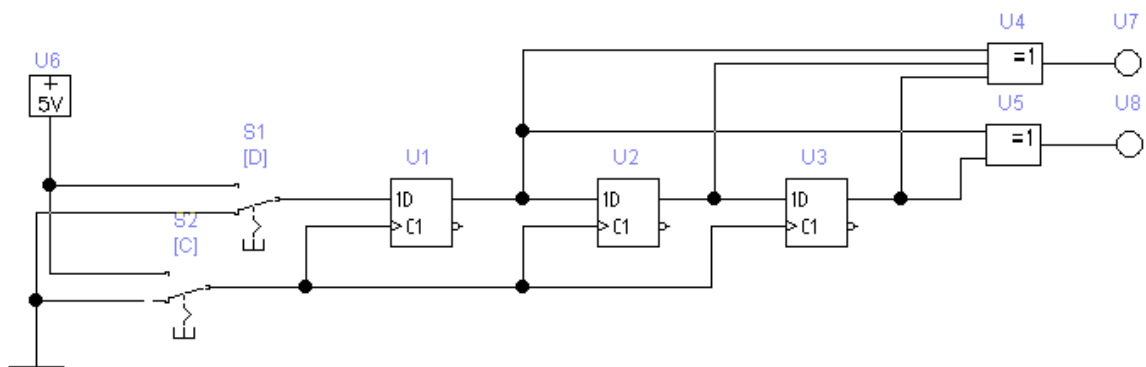
Данный код представлен следующей кодовой решеткой:



Закодируем по ней цифровую последовательность 0110101

u	0	1	1	0	1	0	1
v_0, v_1	00	11	01	01	00	10	00

2. Соберем схему, моделирующую работу сверточного кодера.



На схеме на элементах U1-U3 собран регистр сдвига. Элементы U4, U5 – сумматоры по модулю 2, осуществляющие формирование кодовых комбинаций. Переключатель S1 управляет входной кодовой комбинацией. Переключатель S2 управляет подачей тактовых импульсов.

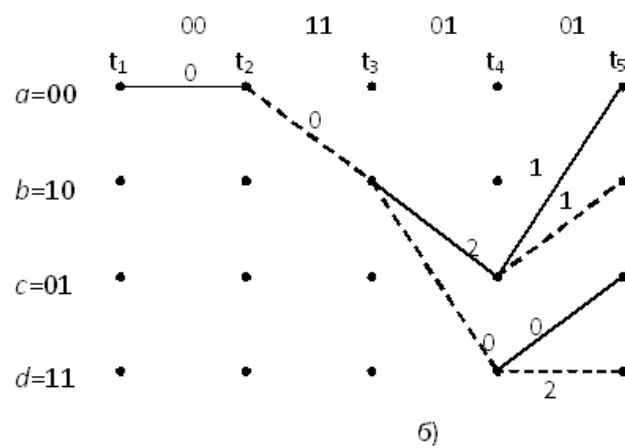
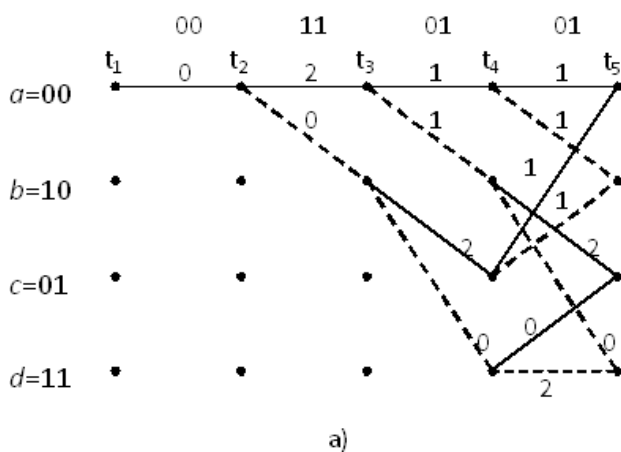
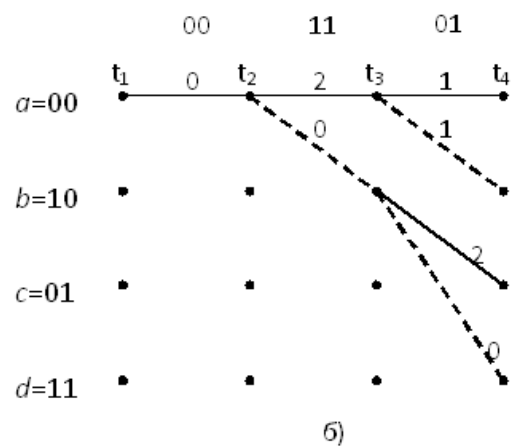
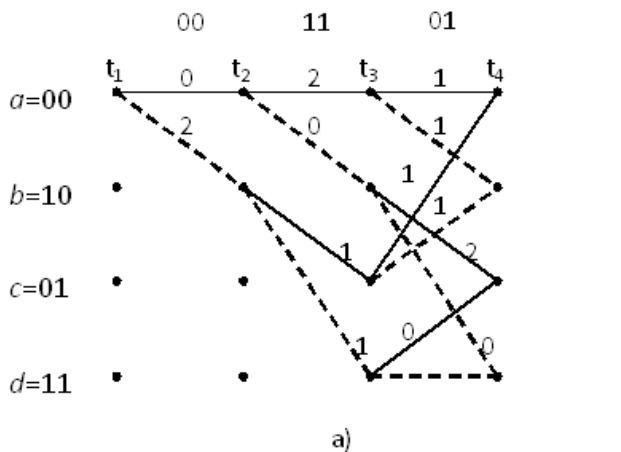
Изменяя положение переключателя S1 (нажатием D), подаем на вход исходную цифровую последовательность. Записываем данные в регистр сдвига двойным нажатием на C. По состоянию индикаторов U7, U8 определяем кодо-

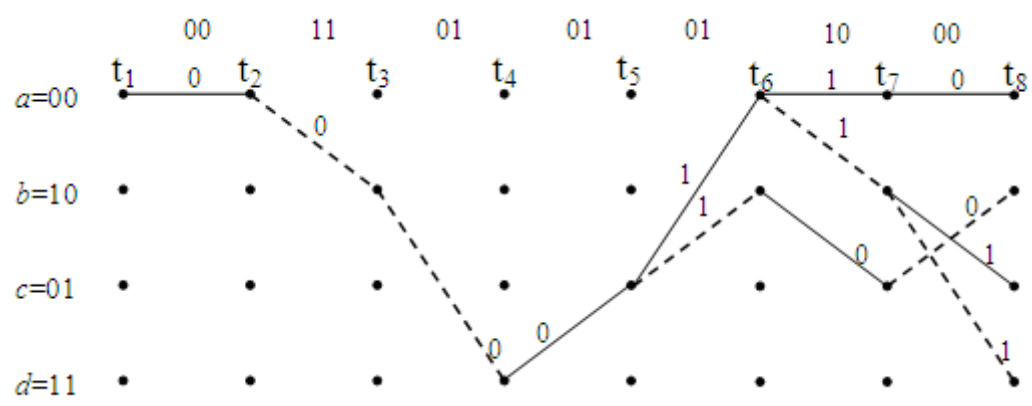
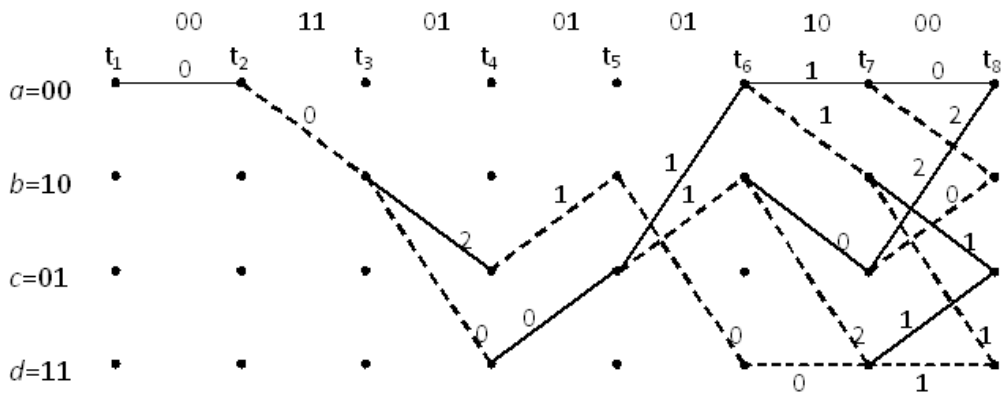
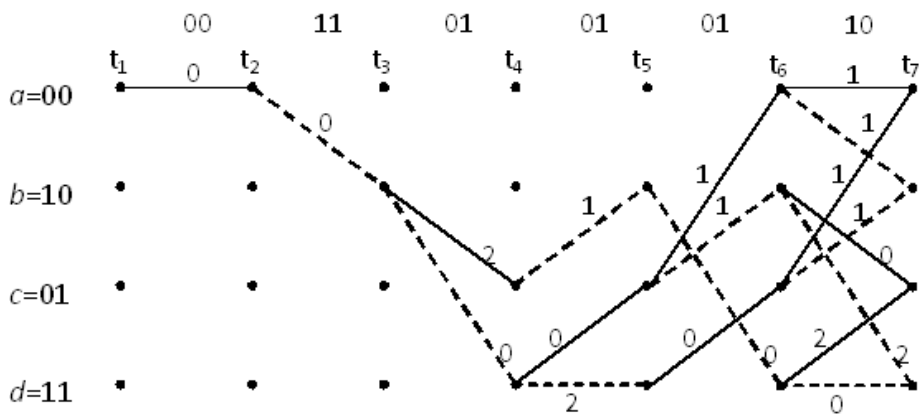
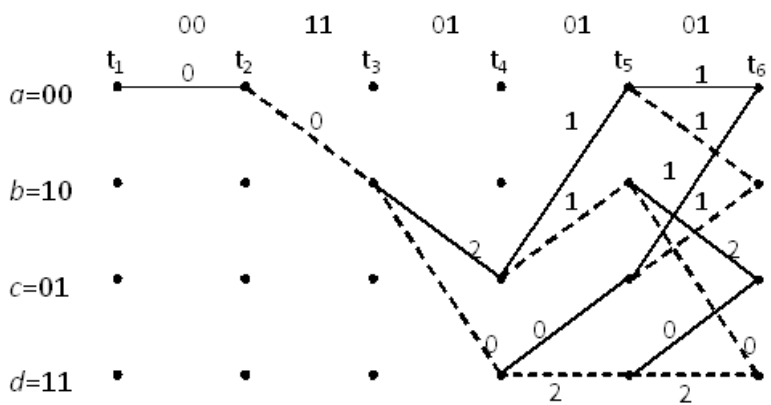
вую комбинацию, соответствующую входному символу, данные заносим в таблицу:

D (u)	0	1	1	0	1	0	1
U7 (v_0)	0	1	0	0	0	1	0
U8 (v_l)	0	1	1	1	0	0	0

3. Сымитируем ошибку в 9 разряде принятой кодовой комбинации:
00 11 01 01 10 10 00.

Произведем декодирование, для этого переобозначим ребра решетки в соответствии с кодовым расстоянием полученной кодовой комбинации. Если в одну и ту же точку можно прийти разными путями, то согласно алгоритма Витерби, мы должны выбрать путь с минимальным суммарным кодовым расстоянием ребер. Таким образом из решетки а получаем решетку б. Далее все действия повторяются.





Таким образом, по последней решетке находим ветвь с наименьшим суммарным кодовым расстоянием и дешифруем ее в кодовую комбинацию: 0110101, которая соответствует исходной.

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

7. ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ РАЗДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ

Содержание работы:

1. Исследование частотного разделения каналов (ЧРК)
2. Исследование временного разделения каналов (ВРК)

7.1 Исследование частотного разделения каналов (ЧРК)

Для исследования систем связи с ЧРК собрать схему, представленную на рис. 5.1.

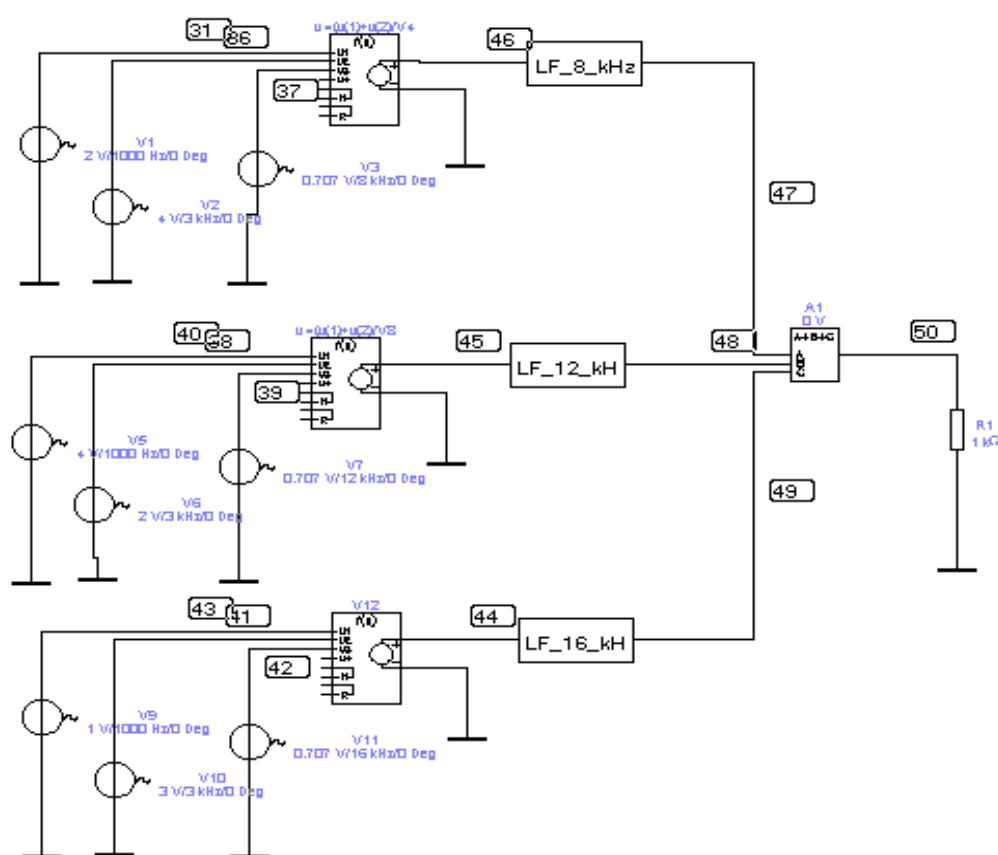


Рис. 7.1.

Описание схемы.

Источники V1, V2, V5, V6, V9, V10 задают ширину спектра информационного сигнала. Источники V3, V7, V11 являются генераторами несущих. Элементы **Nonlinear Dependent Source** (V4, V8, V12) осуществляют амплитудную модуляцию несущих (V3, V7, V11) информационными сигналами (V1, V2, V5, V6, V9, V10) с подавленной несущей. Для этого в элементах **Nonlinear Dependent Source** (V4, V8, V12) задана функция $v = (v(1) + v(2)) * v(3)$. После преобразования спектр модулированного сигнала будет выглядеть так, как это показано на рис. 5.2.

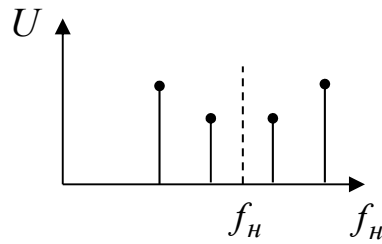


Рис. 7.2.

Для подавления верхней боковой полосы используем фильтр Чебышева. Для того, чтобы не загромождать рабочее поле, фильтры сгруппированы в под-схемы (subcircuit) с помощью подпункта Create Subcircuit меню Circuit.

Фильтр реализован на источнике напряжения управляемом напряжением (ИНУН) по типовой схеме (рис. 5.3). Подбором параметров элементов реализован 4 полюсный фильтр Чебышева с неравномерностью 2 дБ.

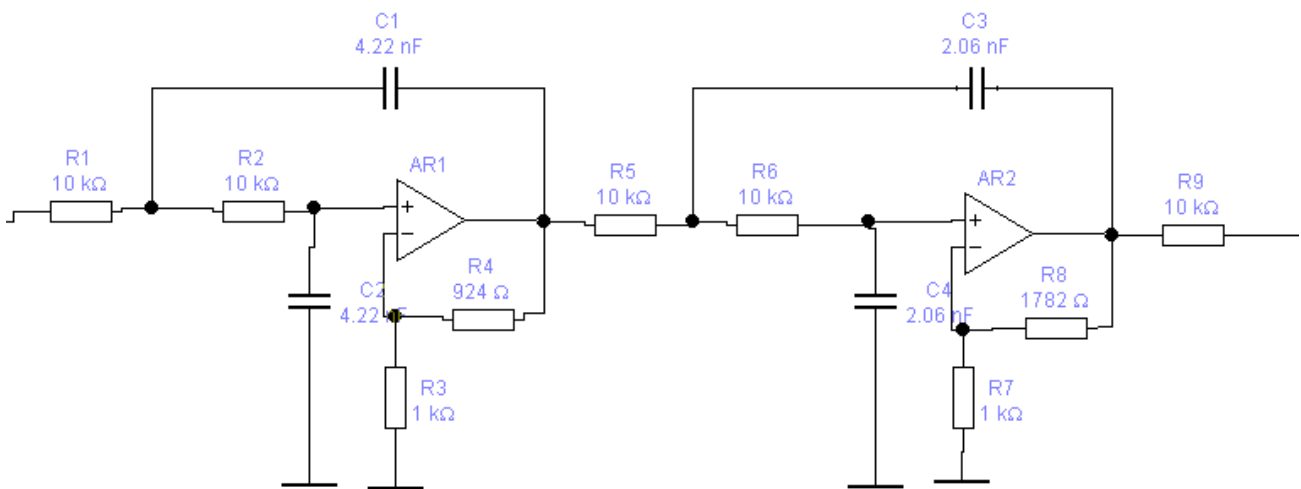


Рис. 7.3.

Расчет фильтра производится следующим образом:

Количество каскадов ИНУН выбирается из соотношения $n/2$, где n количество полюсов фильтра. В нашем случае количество полюсов равно 4, следовательно количество каскадов равно 2.

$R1=R2=R$ и выбирается из диапазона от 10 кОм до 100 кОм (в моделируемом фильтре принято значение $R=10$ кОм).

$C1=C2=C$, рассчитывается из соотношения:

$$RC = \frac{1}{2\pi f_c f_H}, \quad C = \frac{1}{2\pi R f_c f_H}$$

где f_c — частота среза ФНЧ;

f_H — нормирующий коэффициент, для четырехполюсного фильтра коэффициенты равны 0,471 и 0,964 для первого и второго каскадов на ИНУН соответственно.

Значения резисторов находятся в соотношении $R4=(K-1)R3$. Значение коэффициента K устанавливается 1,924 и 2,782 для первого и второго каскадов соответственно.

Ход работы.

Установить значения источников V1,V2, V5,V6, V9,V10 согласно своего варианта по табл. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Таблица 7.1

№ вар	Напряжение, В					
	V1 1 кГц	V2 3 кГц	V5 1 кГц	V6 3 кГц	V9 1 кГц	V10 3 кГц
1, 11	1	3	2	3	3	1
2, 12	2	1	3	4	1	2
3, 13	3	2	1	1	2	3
4, 14	1	3	2	2	3	1
5, 15	2	1	3	3	1	2
6, 16	3	2	1	1	2	3
7, 17	1	3	2	2	3	1
8, 18	2	1	3	3	4	2
9, 19	3	2	1	4	1	3
10, 20	1	3	2	1	2	4

Снять спектр исходных сигналов, сигналов на выходе модуляторов, на выходе фильтров и спектр объединенного сигнала.

Сделать вывод по работе.

Пример.

Для значений V1,V2, V5,V6, V9,V10 установленных в соответствии с рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**, получим спектр модулированных сигналов с подавлением несущей (узел 46). Для этого войти в меню **Analysis** и выбрать пункт **Fourier**. На появившейся панели установить все значения, как это показано на рисунке (рис. 7.4) и нажать кнопку **Simulate**.

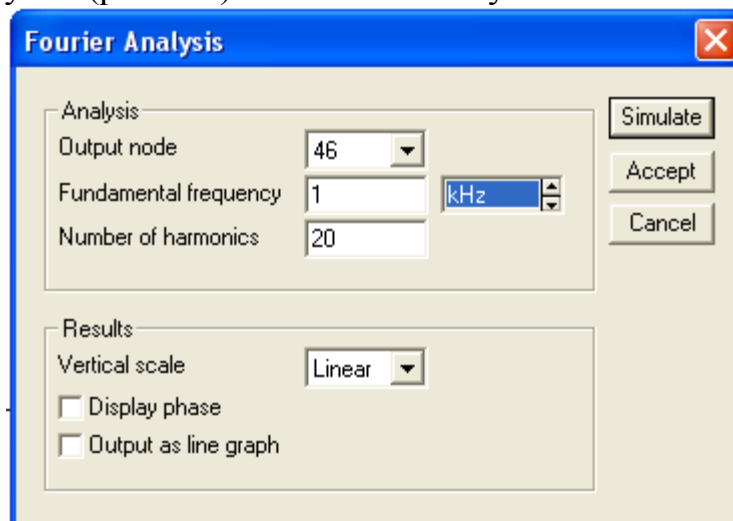


Рис. 7.4.

В результате получим спектр сигнала (рис. 7.5).

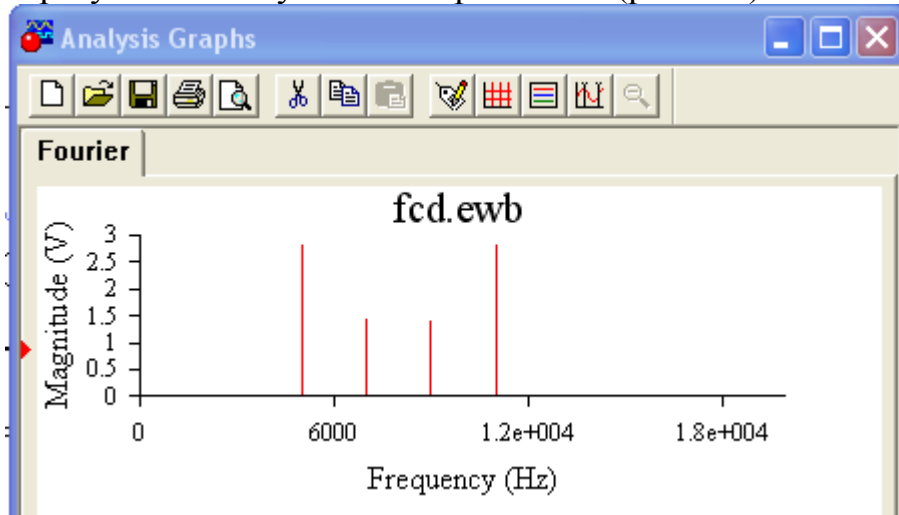


Рис. 7.5.

Для получения спектра сигнала на выходе фильтра (при подавлении верхней боковой полосы, установим значения на панели **Fourier Analysis** как это показано на рис. 7.6.

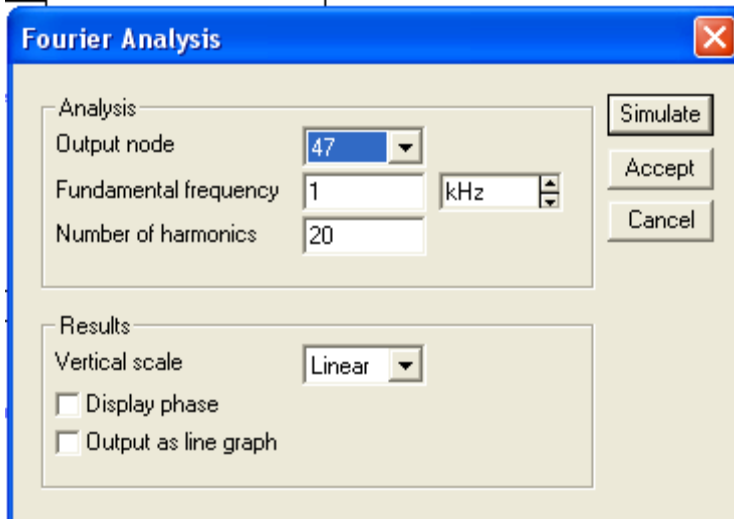


Рис. 7.6.

В результате получим спектр сигнала (рис. 7.7)

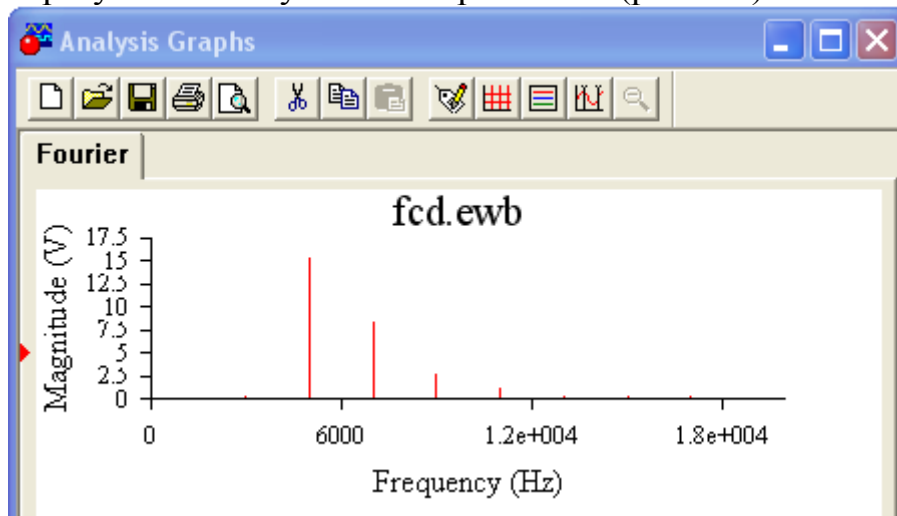


Рис. 7.7.

Для получения спектра объединенного сигнала установим значения на панели **Fourier Analysis** как это показано на рис. 7.8.

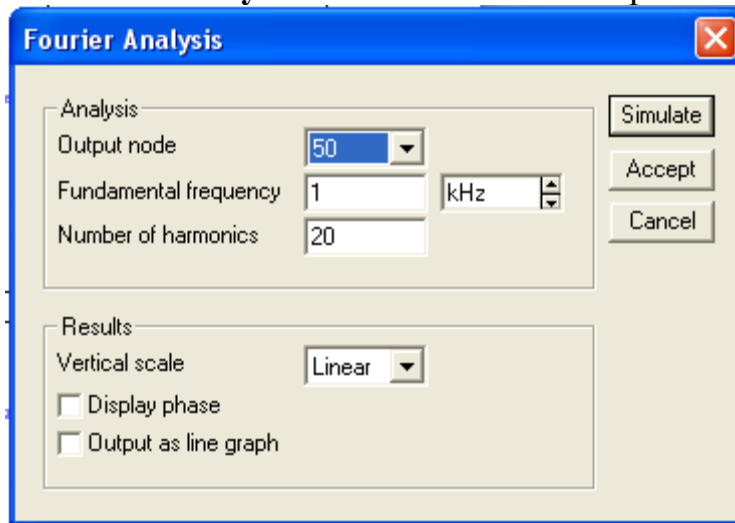


Рис. 7.8.

В результате получим спектр сигнала (рис. 7.9).

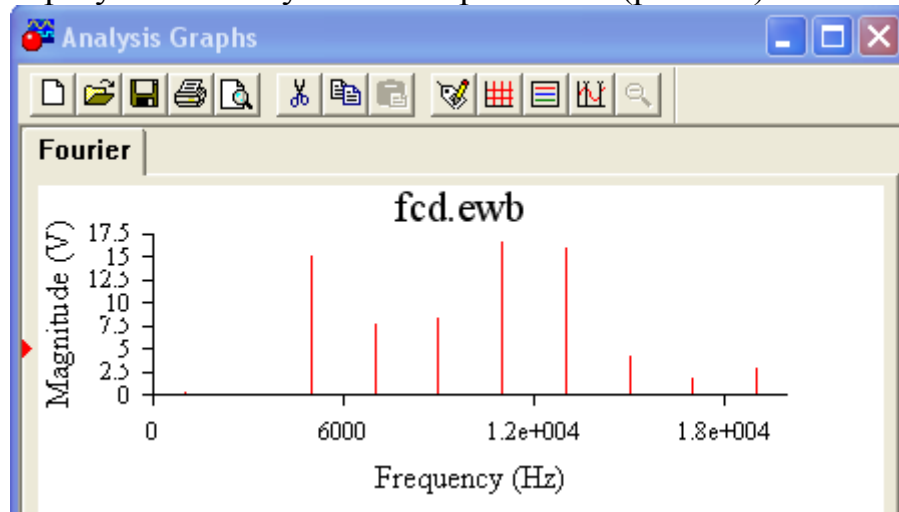


Рис. 7.9.

7.2 Исследование временного разделения каналов (ВРК)

Собрать схему для исследования принципов временного разделения каналов (рис. 7.10)

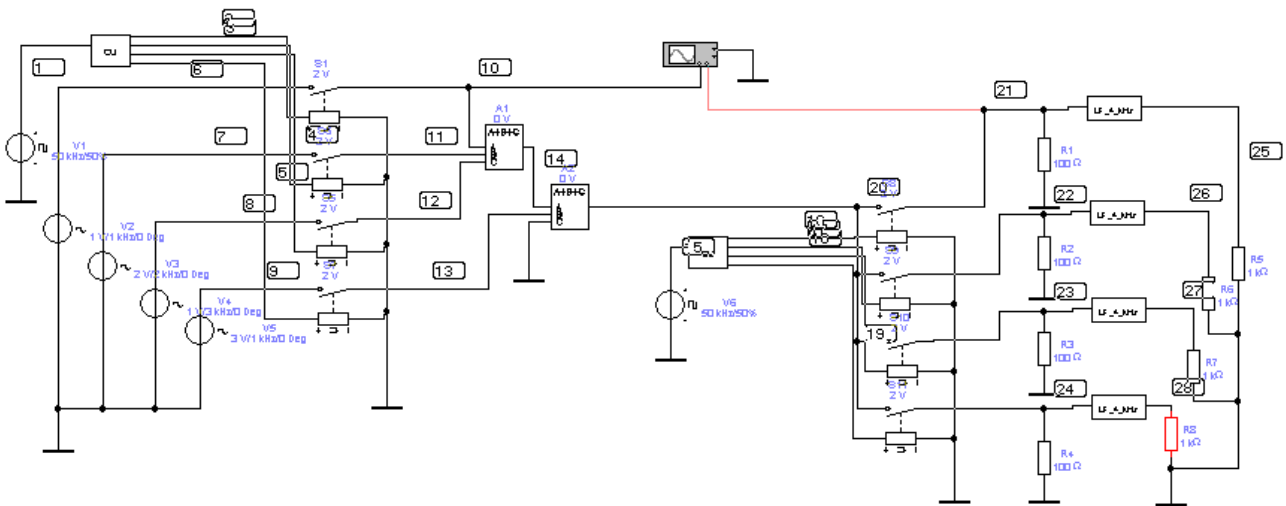


Рис. 7.10.

Описание схемы.

Генераторы V2-V5 — источники информационных сигналов.

Коммутаторы S1-S4, блок управления CU, и сумматоры A1, A2 представляют собой мультиплексор, объединяющий информационные сигналы от генераторов V2-V5 для передачи по одной линии. Генератор V1 задает частоту дискретизации для устройства управления.

Коммутаторы S5-S8, блок управления CU, представляют собой демультиплексор, разделяющий информационные сигналы, принятые по одной линии.

Фильтры LF_4_kHz представляют собой четырехполосный фильтр Чебышева, принцип построения которого описан в предыдущем учебном вопросе.

Блок управления CU выполнен в виде подсхемы (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) и состоит из счетчика U2 и дешифратора U3 и предназначен для распределения импульсов от задающего генератора.

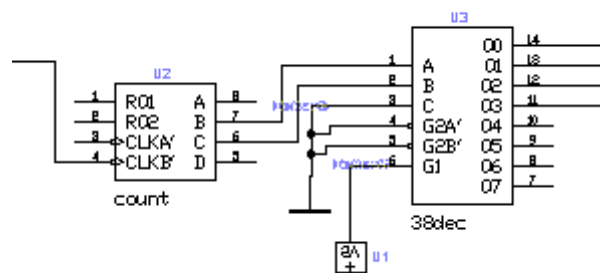


Рис. 7.11.

Ход работы.

Задать значения генераторов V2-V5 согласно задания (табл. 7.2).

Таблица 7.2

№ варианта	V2	V3	V4	V5
1, 8, 15	1 В, 2 кГц	2 В, 1 кГц	3 В, 3 кГц	4 В, 1 кГц
2, 9, 16	2 В, 3 кГц	3 В, 2 кГц	4 В, 1 кГц	1 В, 2 кГц
3, 10, 17	3 В, 1 кГц	4 В, 3 кГц	1 В, 2 кГц	2 В, 3 кГц
4, 11, 18	4 В, 2 кГц	1 В, 1 кГц	2 В, 3 кГц	3 В, 1 кГц
5, 12, 19	1 В, 3 кГц	2 В, 2 кГц	3 В, 1 кГц	4 В, 2 кГц
6, 13, 20	2 В, 1 кГц	3 В, 3 кГц	4 В, 2 кГц	1 В, 3 кГц
7, 14, 21	3 В, 2 кГц	4 В, 1 кГц	1 В, 3 кГц	2 В, 1 кГц

Запустить схему на выполнение, снять осциллограмму сигнала в линии связи. Сравнить сигналы на выходах коммутаторов S1-S4 и S5-S8, источниках информационных сигналов и выходах фильтров.

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

8. ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ МОДУЛЯЦИИ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ЦИФРОВЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Содержание работы:

1. Исследование квадратурной фазовой манипуляции (КФМ)
2. Исследование квадратурной амплитудной манипуляции (КАМ)

8.1 Исследование квадратурной фазовой манипуляции (КФМ)

Собрать схему, моделирующую квадратурно-фазовую манипуляцию, снять временные диаграммы работы, при модуляции цифровой последовательности, согласно своего варианта. Сделать вывод.

Диаграмма 1

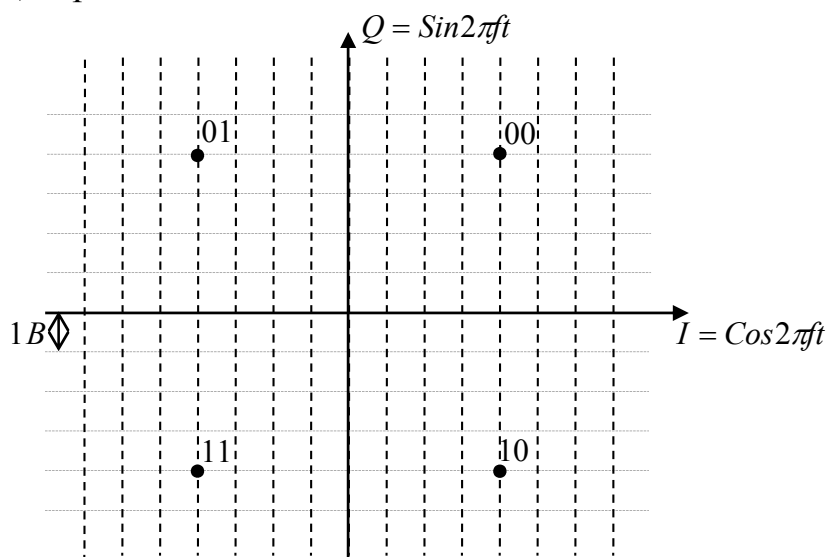


Диаграмма 2

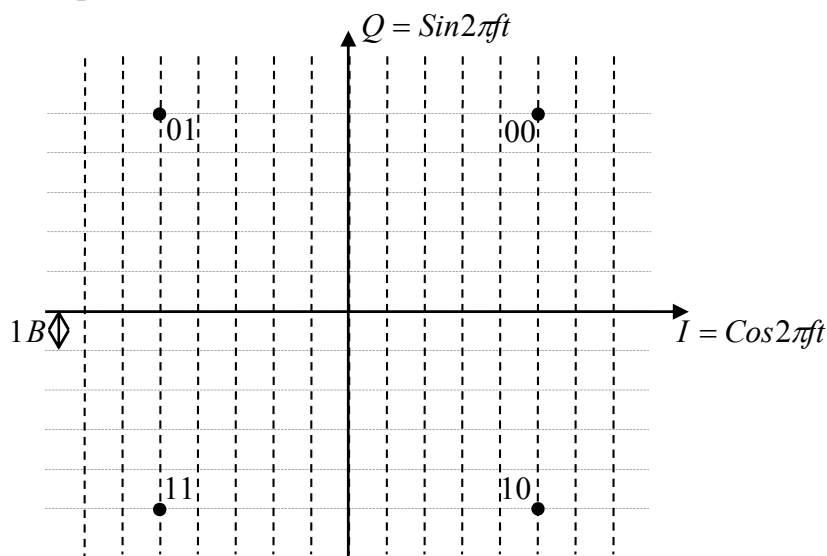


Диаграмма 3

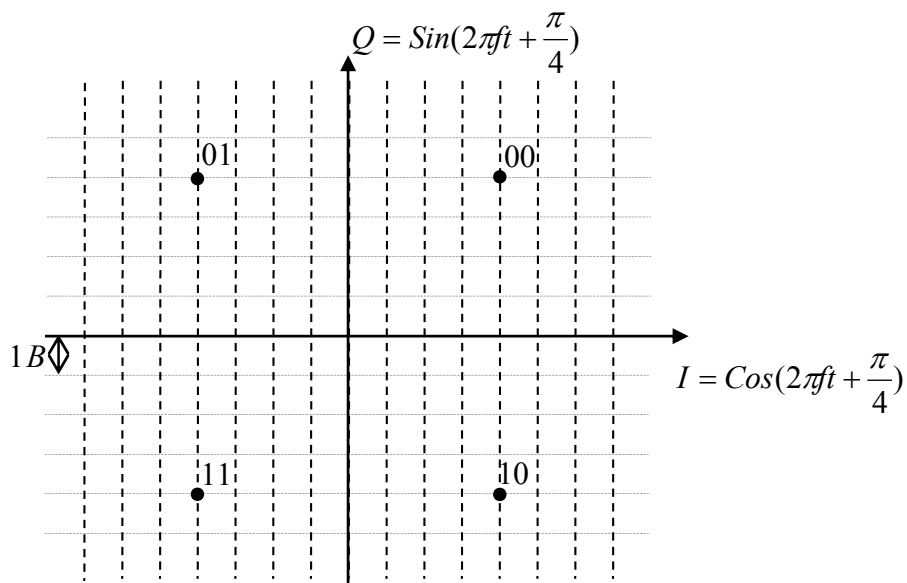


Диаграмма 4

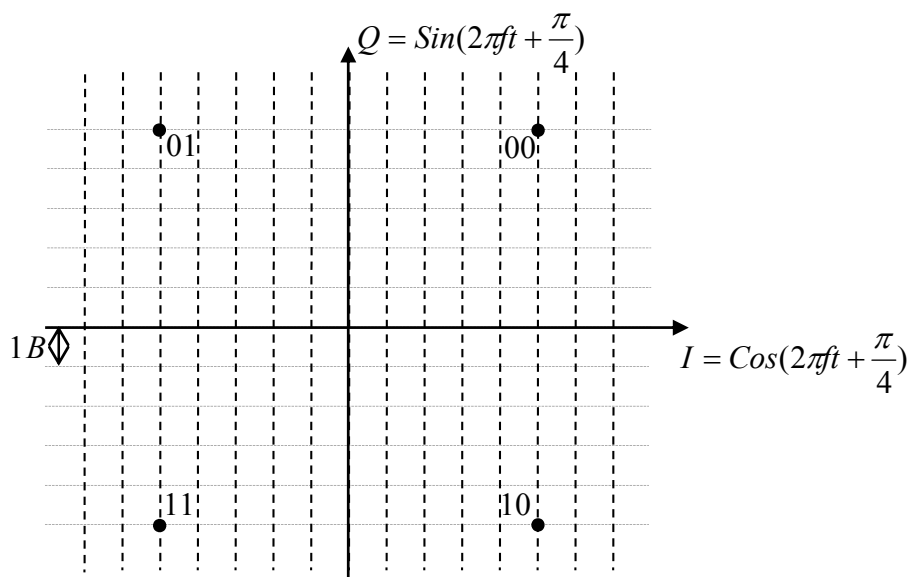


Таблица вариантов

Кодовая последовательность	Номер диаграммы			
	1	2	3	4
01001011	1	6	11	16
00011110	2	7	12	17
01111000	3	8	13	18
11000110	4	9	14	19
11100001	5	10	15	20

Пример: для диаграммы 1 начертить временную диаграмму при модуляции цифровой последовательностью 10110100.

Собрать схему, представленную на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

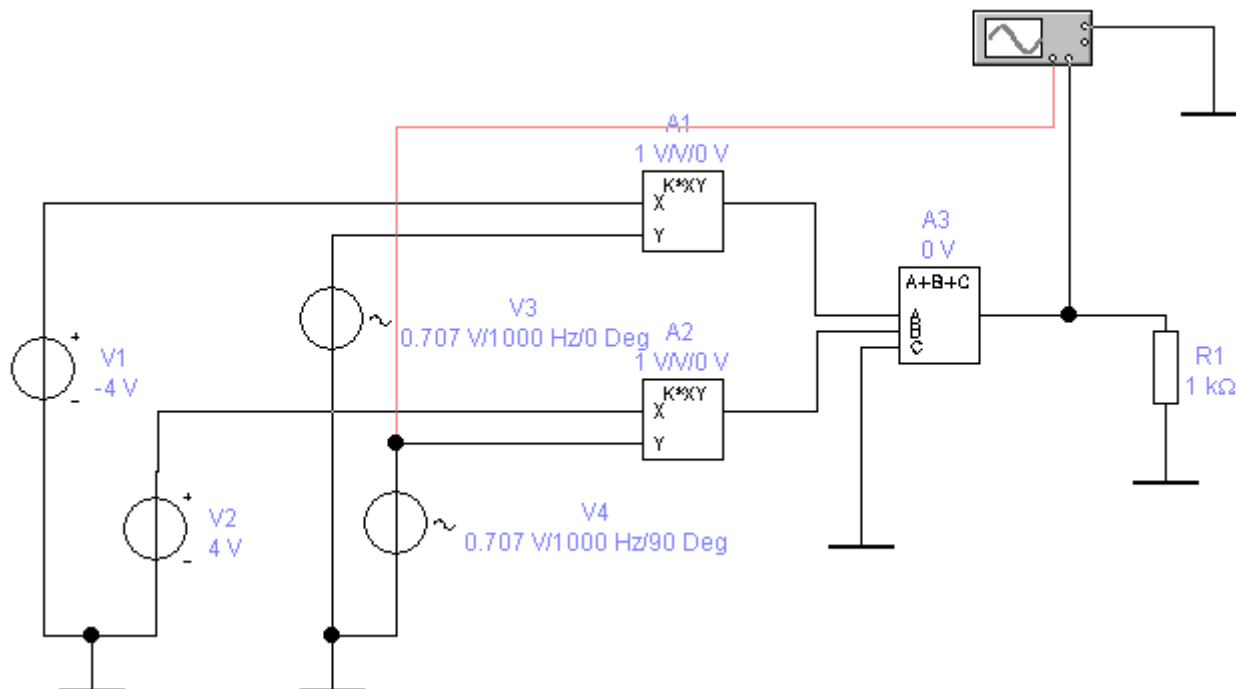


Рис. 8.1

Последовательно по задавать значения источников постоянного напряжения V1 и V2 в соответствии с цифровой последовательностью 10 11 01 00.

Для значения 10 согласно диаграммы 1 амплитуда синфазной составляющей I будет равна 4 В, амплитуда квадратурной составляющей Q будет равна -4 В.

Запустим схему на выполнение и снимем временные диаграммы (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

Установив измерители 1 и 2 в положение, показанное на рисунке, определим фазу выходного сигнала. В данном случае $\varphi = \pi / 4$.

Устанавливая значения V1 и V2 в соответствии с кодовой комбинацией (11 01 00) по диаграмме 1 построим временную диаграмму (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**).

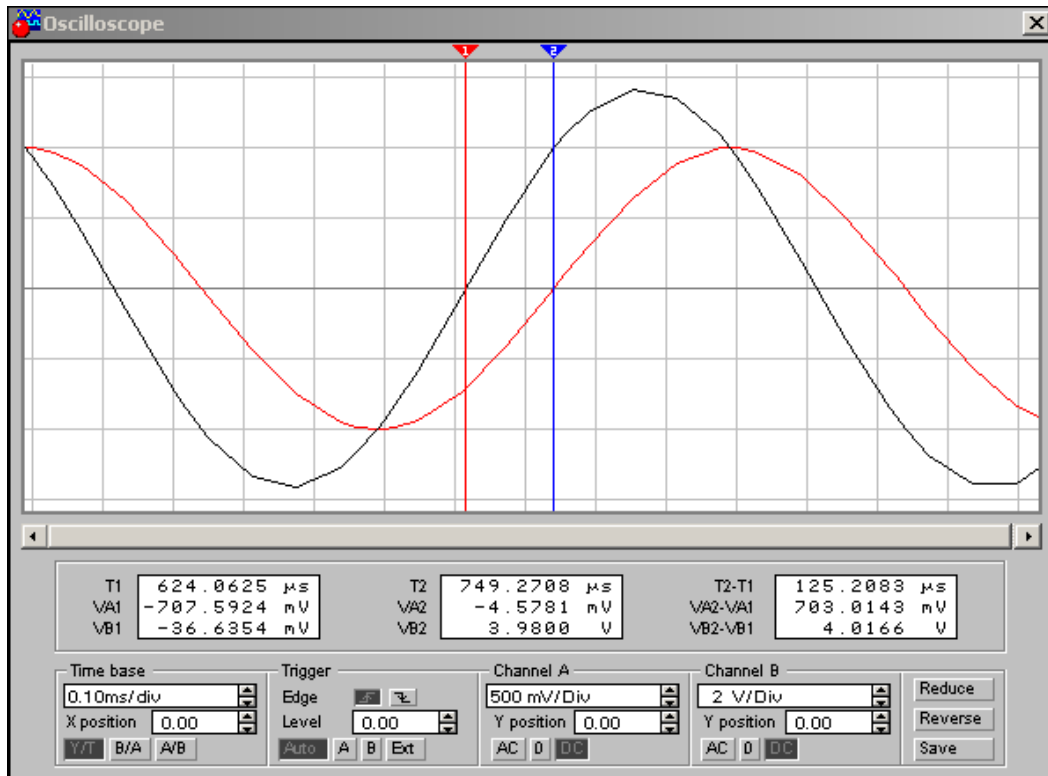


Рис. 8.2.

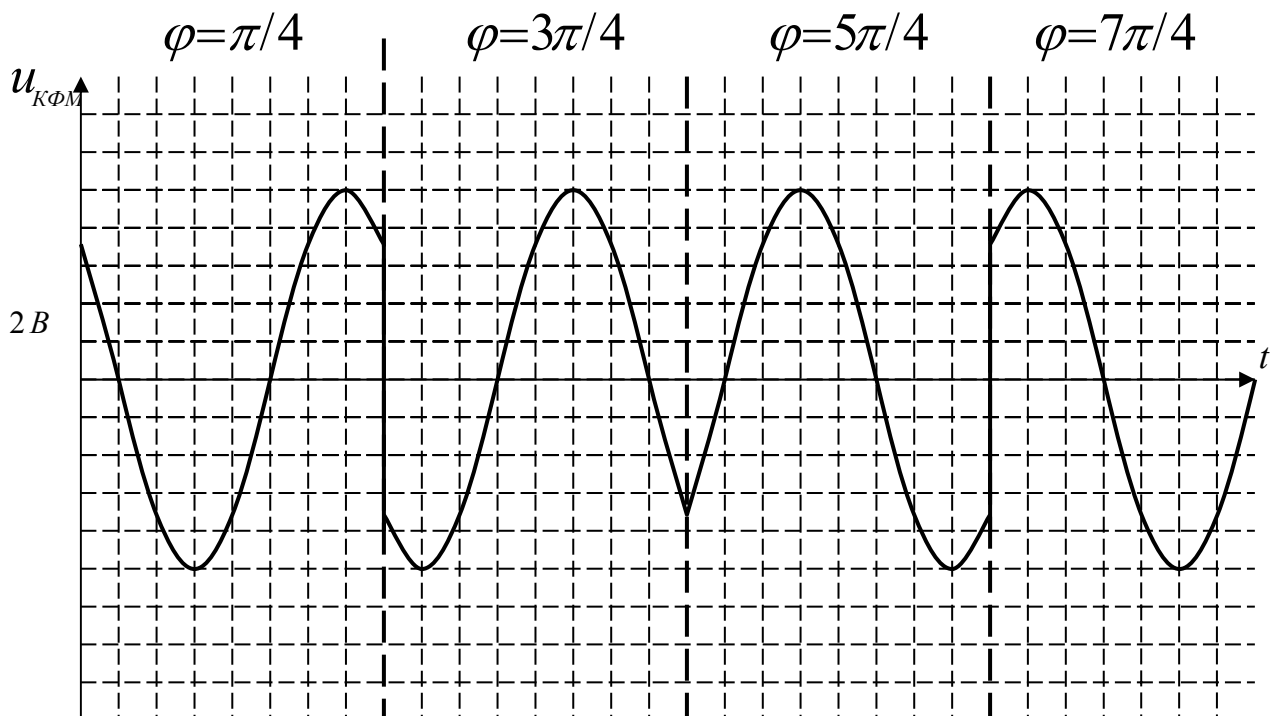


Рис. 8.3

8.2 Исследование квадратурной амплитудной манипуляции (КАМ)

Собрать схему, моделирующую квадратурно-амплитудную манипуляцию, снять временные диаграммы работы, при модуляции цифровой последовательности, согласно своего варианта. Сделать вывод.

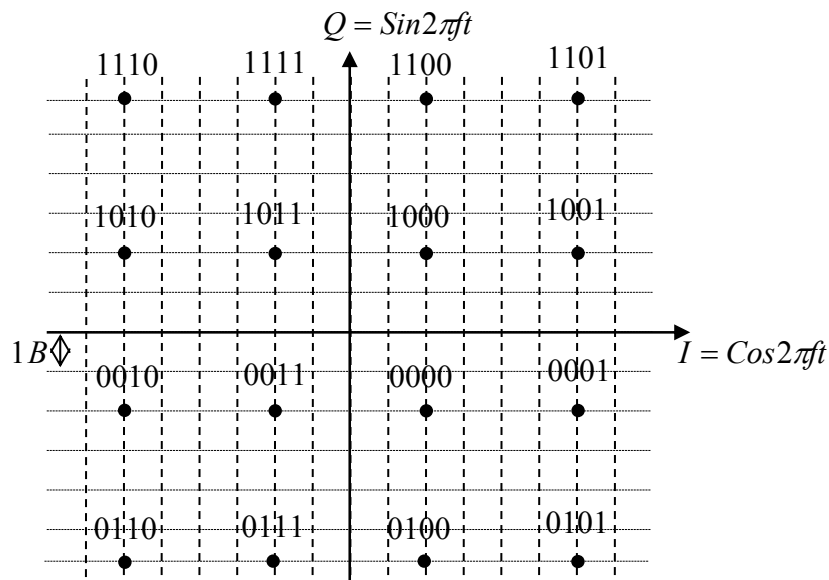


Рис. 8.4

Кодовая последовательность	№ вар	Кодовая последовательность	№ вар
01001010101010111100	1	00100101110000111111	11
00101010111010111101	2	01110100001001000110	12
10100110100010111100	3	11000001111100111111	13
11111110010010011000	4	11011101100110001101	14
01110011010010010100	5	11101110111001111100	15
01000100010101110001	6	00011100001100101101	16
00000101000010001010	7	11101011110011100101	17
00011111001000010101	8	01110111001111100011	18
00100001111110000100	9	11100011111000111111	19
10000111010110000110	10	10001011000011111101	20

Схема, моделирующая квадратурную амплитудную модуляцию, будет совпадать со схемой, представленной на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.** Для исследованная КАМ необходимо кодовую последовательность разбить на блоки по 4 бита и производить модуляцию этих блоков, задавая необходимые значения источников V1 и V2 согласно диаграммы на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

9. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ РАБОТЫ ТЕЛЕФОННОЙ СЕТИ СВЯЗИ

Содержание работы:

1. Принципы построения и работы оборудования телефонных сетей связи
 - 1.1. Система акустических сигналов
 - 1.2. Телефонные сети
 - 1.3. Принципы построения телефонных аппаратов
2. Моделирование принципов работы телефонного аппарата

9.1 Принципы построения и работы оборудования телефонных сетей связи

9.1.1 Система акустических сигналов

Акустические сигналы, звучащие в ТА, формируются для информирования абонента о ходе процесса установления соединения. Акустические сигналы характеризуются структурой, высотой тона, тембром, силой звука. На телефонной сети общего пользования различают три основных акустических сигнала: сигнал «Ответ станции» (непрерывный, частотой 425 Гц) означает, что АТС готова получить от абонента информацию – номер вызываемого абонента; сигнал «Занято» (прерывистый, 425 Гц, пауза 0,4 с, посылка 0,4 с) информирует абонента о том, что вызываемый абонент занят другим разговором или что система связи не может установить соединение из-за отсутствия свободных каналов; сигнал «контроль посылки вызова» (прерывистый, 425 Гц, посылка 3,2 с, пауза 0,8 с) передается вызывающему абоненту для информации о том, что соединение установлено и сигнал вызова проходит к ТА вызываемого абонента. На национальных сетях рекомендуются дополнительные сигналы, например, сигнал предупреждения о записи разговора (когда осуществляется запись разговора на абонентском ТА, подается импульс 350-500 мс, пауза 15 с, частота 1400 Гц); специальные информационные сигналы (например, абонент городского таксофона предупреждается о необходимости вложить в накопитель следующую монету или жетон для продолжения разговора). На АТС используются автоответы, например, «Неправильно набран код города», «Вызывайте телефонистку», «Ждите».

9.1.2 Телефонные сети

Основными блоками ТА являются телефон и микрофон, которые называют электроакустическими преобразователями.

По принципу действия эти преобразователи делятся на: электромагнитные, электродинамические, электростатические (конденсаторные), электретные, пьезоэлектрические, угольные, транзисторные.

Электромагнитные, электродинамические, электростатические, пьезоэлектрические – обратимые преобразователи (речь-сигнал, сигнал-речь). Кон-

денсаторные, электретные, угольные, транзисторные – требуют источник питания и называются активными.

Микрофон преобразует звуковые колебания в переменный ток. Этот ток передается по проводам к телефону, преобразующему его в звуковые колебания. Для обеспечения работы микрофона необходим источник питания, который и включается в цепь микрофона. Такое включение источника питания получило название "местной батареи". Для развязки цепей микрофона и телефона по постоянному току необходим трансформатор. Простейшая схема телефонного аппарата (ТА) с местной батареей питания приведена на рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**

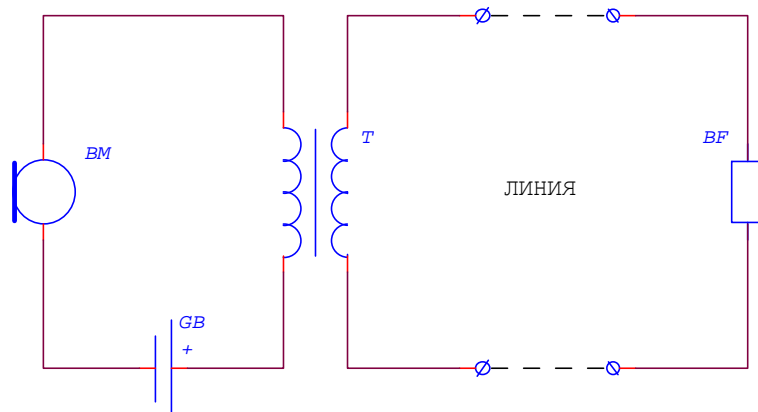


Рис. 9.1.

В настоящее время телефонные сети применяются только с центральной батареей питания микрофонных цепей ТА.

Ток питания каждого микрофона проходит через дроссели, общие для цепей питания обоих микрофонов. Но дроссели необходимы для того, чтобы не происходило замыкание переменного (разговорного) тока через центральную батарею (ЦБ), внутреннее сопротивление которой очень мало и составляет тысячные доли Ома.

Дроссели имеют относительно небольшое сопротивление постоянному току (не более 750 Ом). Большая их индуктивность создает настолько значительное сопротивление переменному (разговорному) току, что он не ответвляется в ЦБ и практически полностью замыкается через аппарат второго абонента.

На АТС в качестве дросселей часто используются двухобмоточные реле, служащие одновременно для получения сигнала о вызове станции абонентом и сигнала окончания разговора (отбоя) (на рис. 7.4).

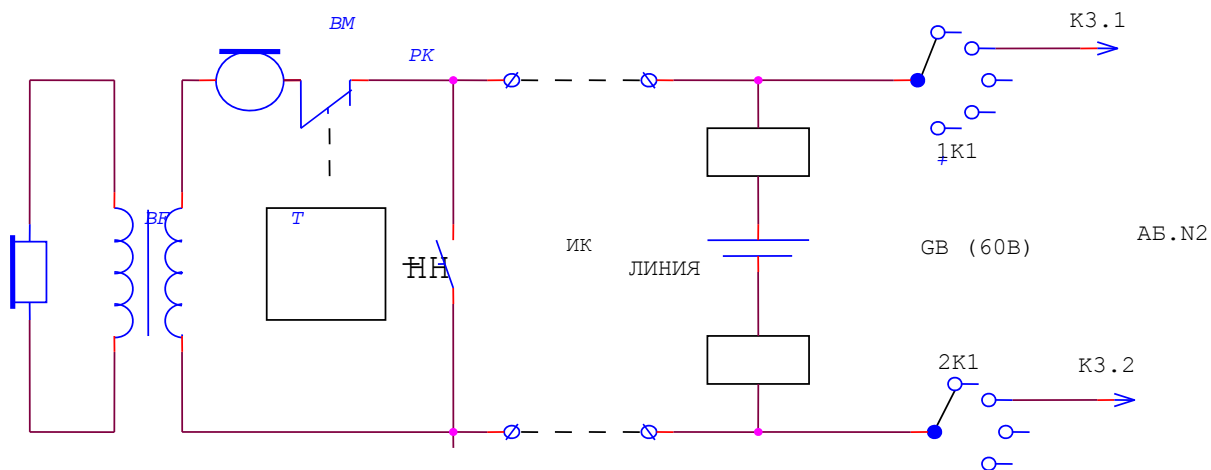


Рис. 9.2.

Коммутация абонентов первоначально выполнялась на телефонных станциях вручную, затем автоматически с использованием шаговых искателей, а позднее - квазиэлектронными и электронными схемами коммутации АТС.

Элементами автоматизации являются шаговые искатели (ШИ), реле и электронные многоканальные коммутаторы с программным управлением, которые осуществляют соединение между линиями абонентов АТС. Схемы коммутации АТС управляются импульсами постоянного тока, которые создаются номеронабирателем ТА при наборе абонентом цифр номера вызываемого абонента.

АТС осуществляет питание линии абонента постоянным напряжением 60 вольт. При снятии телефонной трубки к линии АТС в качестве нагрузки подключается микротелефонная пара трубки, в результате чего напряжение на линейных зажимах ТА падает до величины 5-15 вольт в зависимости от класса ТА. Это происходит вследствие образования делителя напряжения, который состоит из сопротивления ТА - $R_{та}$ и сопротивления АТС - $R_{атс}$, которое включает в себя сопротивление обмоток реле R_{L1} и R_{L2} и внутреннее сопротивление источника питания GB (рис. 7.5).

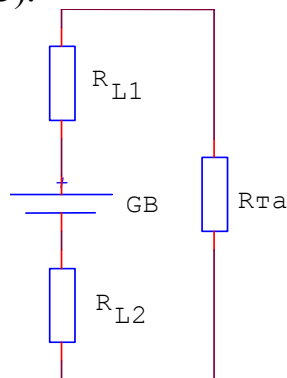


Рис. 9.3.

$R_{атс}$ в зависимости от типа станции составляет для: АТС-54 - до 1500 Ом, АТСК- до 1200 Ом, АТСКЭ- до 700 Ом.

Электрическое сопротивление ТА постоянному току при рабочем токе - 35 мА должно быть в пределах 150 - 600 Ом.

Электрическое сопротивление постоянному току со стороны линейных зажимов при снятой микрофонной трубке:

- при замыкании линии контактами номеронабирателя $< 50 \text{ Ом}$;
- при размыкании линии контактами номеронабирателя $> 300 \text{ кОм}$.

Для ТА с дисковым номеронабирателем (рис. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**), набор номера абонента осуществляется следующим образом: при вращении диска по часовой стрелке до пальцевого упора прерыватель НН замыкает линию накоротко, а при обратном вращении он же размыкает линию такое количество раз, которое соответствует набранной цифре. Разговорная часть, состоящая из микрофона и телефонного капсюля микрофонной трубки во время во время вращения диска, в прямом и в обратном направлении, отключается от линии одним из контактов прерывателя - РК. После остановки диска НН к линии вновь подключается микрофонная пара.

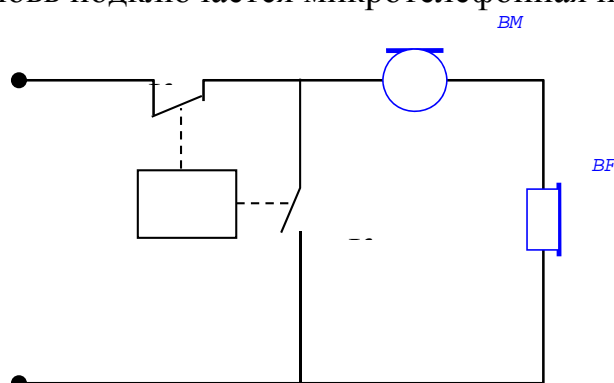


Рис. 9.4.

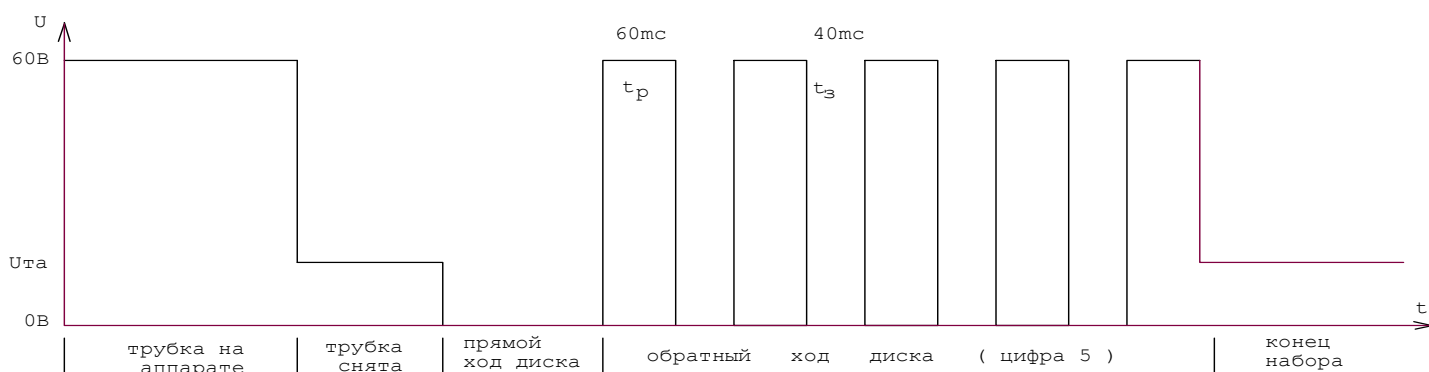


Рис. 9.5.

Таким образом, если посмотреть на временную диаграмму работы НН (рис. 7.2), наглядно виден принцип формирования импульсной последовательности (ИП), управляющей работой АТС.

В качестве вызывного сигнала по-прежнему используется переменный ток, с тем лишь отличием, что индуктор аппарата заменен автоматическими устройствами АТС, формирующими вызывной сигнал частотой 16-25 Гц и напряжением 80-120 В.

9.1.3 Принципы построения телефонных аппаратов

Телефонные аппараты делятся:

1. По назначению: общего (обычные бытовые телефоны, таксофоны) и специального (корабельные, шахтные, военно-полевые) назначения.
2. По способу питания микрофона: аппараты с местной батареей и аппараты системы центральной батареи (батарея на АТС).
3. По способу обслуживания вызовов: аппараты ручных и автоматических телефонных станций.
4. По способу включения разговорных приборов: постоянная схема включения микрофона и телефона и переменная схема включения, когда микрофон включен только при передаче, а телефон только при приеме.

В ТА кроме рассмотренных телефона и микрофона (расположенных в телефонной трубке), включены звонок (преобразует сигнал вызова частотой 25 Гц в звуковые колебания) и номеронабиратель дисковый или кнопочный. Номеронабиратель формирует сигналы адресной информации о вызываемой абонентской линии и различных службах телефонной сети, которые передаются на телефонную станцию при установлении соединений. Исторически первыми телефонными станциями были станции с ручной коммутацией. В процесс установления соединений при ручной коммутации часть функций, выполняемых телефонисткой, были чисто механическими (вставка и вынимание штепселей и др.), а часть функций требовало мышления (прием информации о номере абонента, отыскание требуемого гнезда в поле коммутатора и др.). В настоящее время используются автоматические телефонные станции – АТС. Идея автоматической коммутации заключается в том, что функции телефонистки, требующие мышления выполняются абонентом, а механические функции телефонистки – коммутационными приборами АТС.

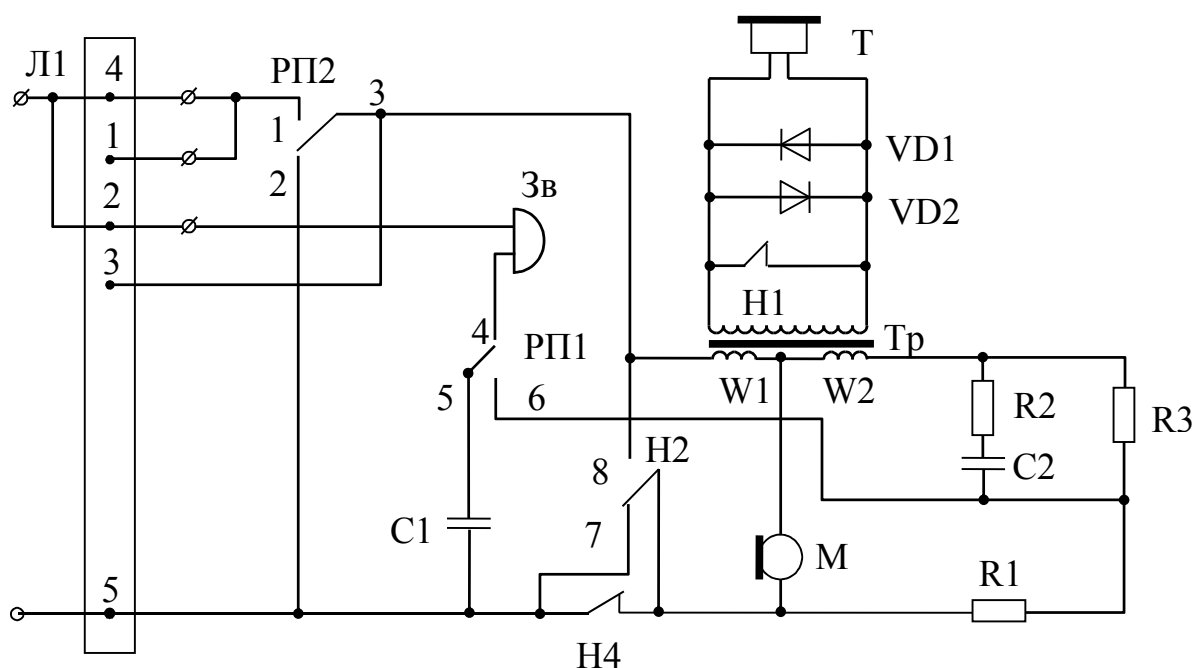


Схема телефонного аппарата представлена на рис. 9.6.

Рис. 9.6. Схема телефонного аппарата ТАН-70

На рисунке приведены следующие обозначения: $Zв$ — звонок, M — микрофон, T — телефон, $PП1$, $PП2$ — рычажные переключатели (на рисунке показано состояние переключателей при положенной трубке), $H1$, $H2$, $H3$, $H4$ — переключаемые контакты номеронабирателя.

В исходном состоянии M рычажным переключателем $PП1$ отключен от $L1$ и зашунтирован контактами $H2$ и $H4$; телефон T зашунтирован контактами $H1$. Напряжение с линии $L1-L2$ подводится к звонку, но оно недостаточно для работы звонка. При звонке от абонента напряжение в сети увеличивается, что приводит к срабатыванию звонка. После получения звонка снимается трубка, срабатывают рычажные переключатели $PП1$ и $PП2$ (замыкаются контакты 1-3 $PП2$ и 5-6 $PП1$), размыкаются контакты $H1$, переключатель $H2$ сохраняет свое положение.

Если собеседник передает сообщение, то переменный сигнал проходит через обмотки $W1$, $W2$ и сопротивления $R3$, $R1$, частично или полностью зашунтированные конденсаторами $C2$ и $C1$. Обмотки $W1$, $W2$ для сообщения включены последовательно, поэтому во вторичной обмотке $W3$ будет суммарный сигнал, который прослушивается в телефонных наушниках. Микрофон только частично шунтирует обмотку $W2$.

При передаче сообщения собеседнику сигнал с микрофона через обмотку $W1$ и ключи $PП2$, $H2$, $H4$ поступает в линию; в своей трубке сигнал не прослушивается, т.к. токи от микрофона в обмотках $W1$ и $W2$ текут во встречных направлениях.

При наборе номера положения $PП1$ и $PП2$ сохраняются; контакты $H1$ замыкаются, шунтируя телефон; переключатель $H2$ устанавливается в положение 8, шунтируя микрофон, контакты ключа $H4$ периодически размыкаются в зависимости от набранной цифры. Промежуток времени, когда линия $L1-L2$ замкнута, определяется набираемой цифрой. Сочетание таких импульсов является кодом для вызова абонента.

Для различных устройств, промышленным способом изготовлены различные сборки с функциональными различными возможностями по защите информации от ее утечки (от возможного несанкционированного съема с помощью специальных устройств).

При положенной телефонной трубке электромеханический звонок $Zв$, состоящий из обмотки $W4$, ярма, якоря с молоточком и чашечки, подключается через реле $PП2$ и конденсатор $C1$ к телефонной линии $L1-L2$. При разговоре в помещении звук воздействует на якорь и молоточек и приводит к их перемещению около оси. В обмотке $W4$ возникает небольшой переменный сигнал (примерно 0,5...10 мВ), который передается в линию $L1-L2$ и может быть прослушан. Так как сигнал весьма мал, то практический съем информации возможен на расстоянии до десятков метров.

Описанный выше принцип формирования ИП используется и в кнопочных ТА отечественного производства. Рассмотрим принцип формирования импульсной последовательности по упрощенной структурной схеме (рис. 7.6).

С момента нажатия кнопки на наборном поле (НП) ТА и до окончания набора РК отключает разговорную часть. Одновременно ИК замыкает линию

накоротко и размыкает ее количество раз, соответствующее цифре набора. Таким образом, диаграмма работы кнопочного НН (рис. 7.6) получается аналогичной диаграмме работы дискового с той лишь разницей, что паузы между импульсами набора и межсерийные паузы при использовании кнопочного НН нормированы и близки к оптимальным. Это повышает стабильность работы АТС и уменьшает время соединения.

В импортных ТА ИК включается параллельно с нагрузкой, в качестве которой может быть использована разговорная часть ТА (рис. 7.7, а), или в ТА более высокого класса - резистор сопротивлением 130 - 150 Ом (рис. 7.7, б). В первом случае ИК коммутирует разговорную часть, во втором случае - разговорная часть на время набора отключается, а нагрузкой НК является резистор R.

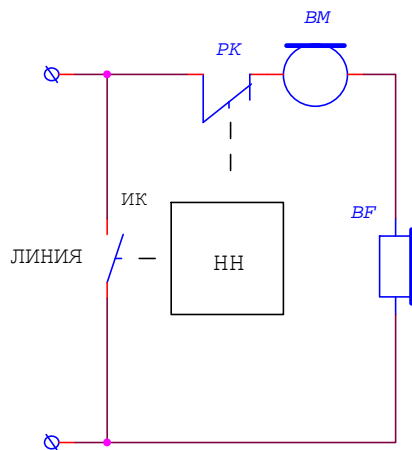


Рис. 9.7.

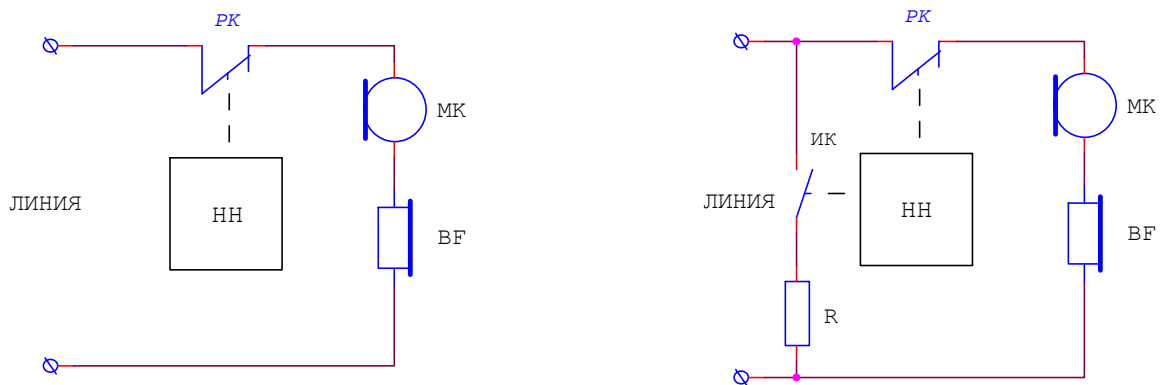


Рис. 9.8.

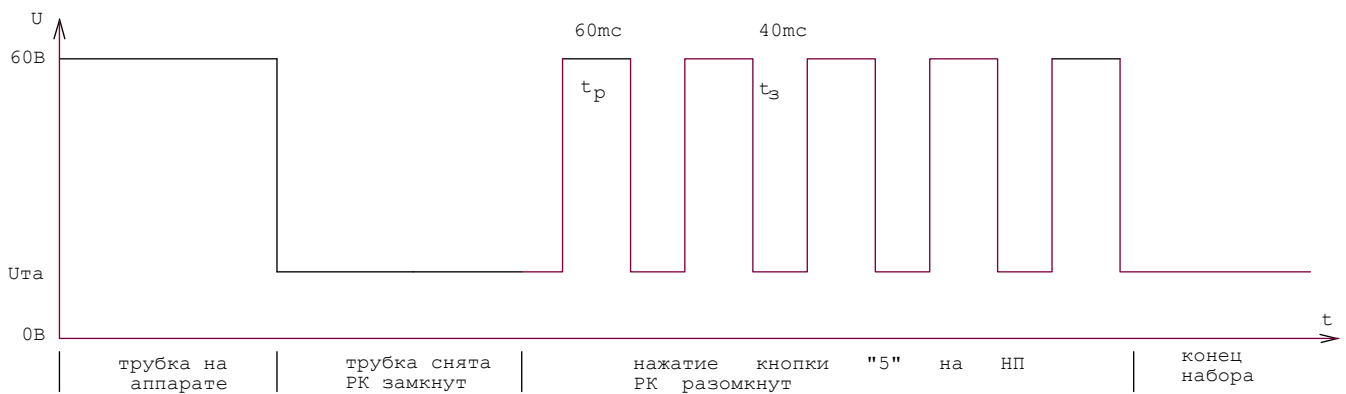


Рис. 9.9.

Диаграмма работы этих схем ТА аналогична и представлена на рис. 10.

Отсутствие "чистого" нуля в этом случае может иногда приводить к сбоям в работе и неправильному соединению, при использовании ТА на линиях связи отечественных АТС.

Таким образом, отличие всех вариантов заключается лишь в различии сигналов НН, управляющих работой ИК, и в особенностях коммутации линий, определяемых схемотехникой АТС.

В настоящее время в часто используются кнопчные ТА с частотным набором номера, которые работают с электронными и квазиэлектронными АТС. Передача каждой цифры в частотном номеронабирателе осуществляется за 0.04 сек. многочастотным кодом 2 из 8 (табл. **Ошибка! Источник ссылки не найден.**). Этот код обеспечивает 16 комбинаций сигнальных частот, 10 из которых используются для набора номера. Кнопки # и * используются при наборе кодов дополнительных видов обслуживания.

Таблица 9.1

Частота	1209 Гц	1336 Гц	1477 Гц	1633 Гц
697 Гц	1	2	3	А
770 Гц	4	5	6	В
852 Гц	7	8	9	С
941 Гц	*	0	#	В

9.2 Моделирование принципов работы телефонного аппарата

Исследовать схемы, моделирующие состояние телефонной линии при поднятой трубке и наборе номера при разном построении устройств набора номера.

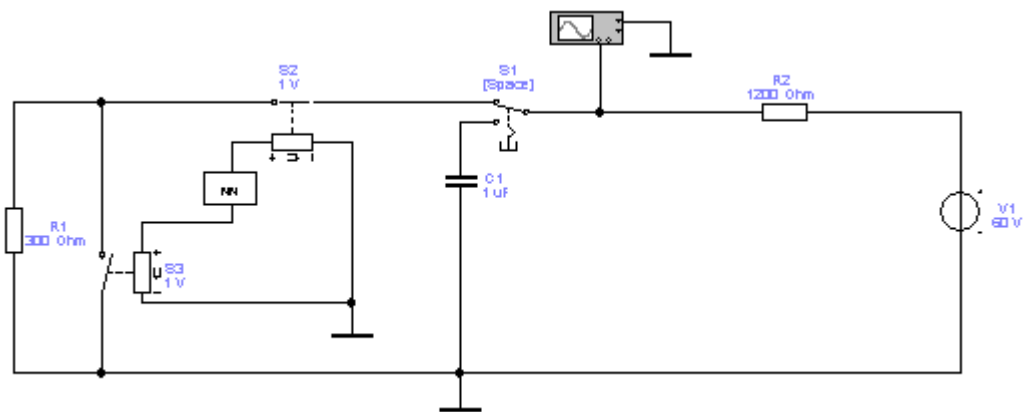


Рис. 9.10.

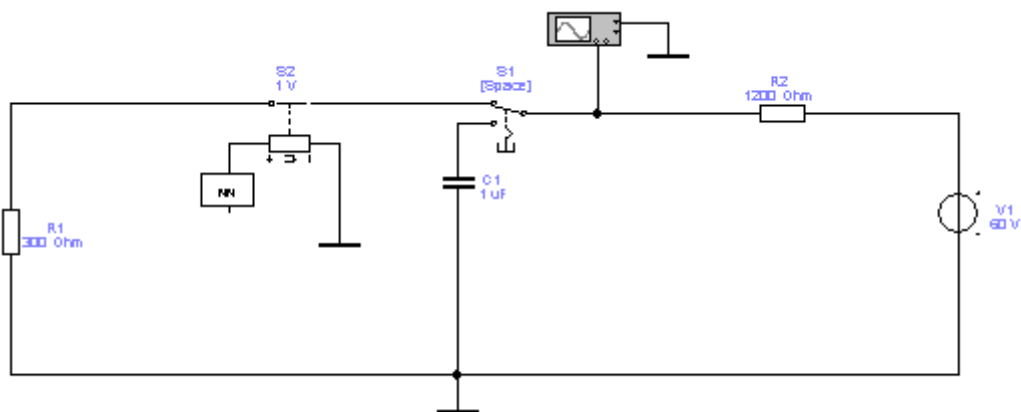


Рис. 9.11.

Элемент NN (номерабираватель) выполнен в виде подсхемы (**Subcircuit**) (рис. 9.12)

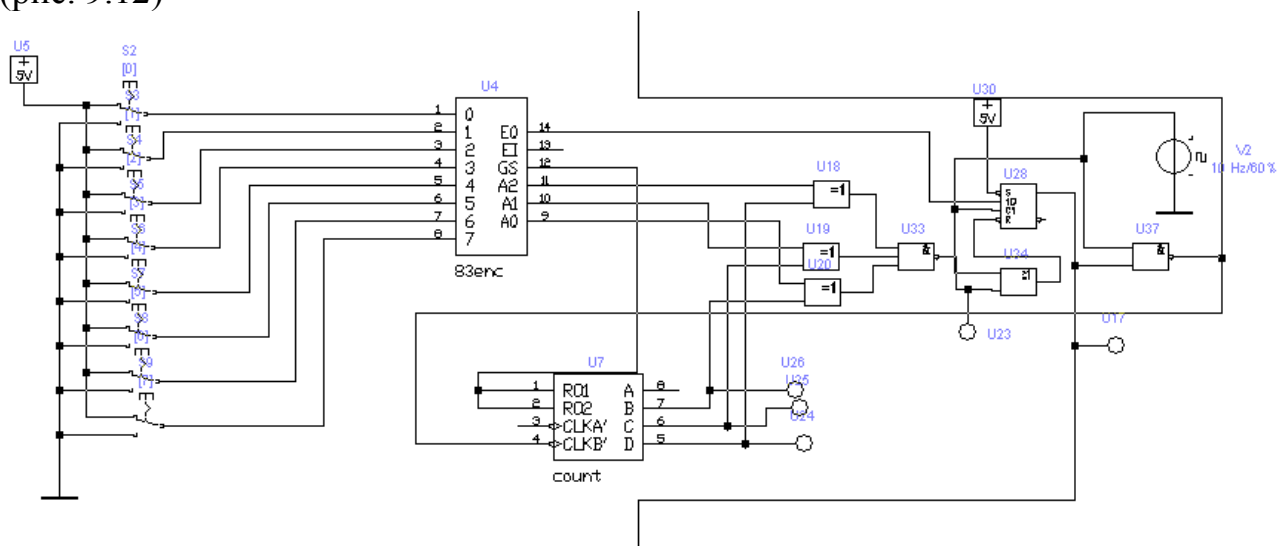


Рис. 9.12

Исследовать параметры сигналов в телефонной линии связи, снять осциллограммы напряжений в следующих режимах:

- а) трубка уложена;

б) трубка поднята:

- при ответе готовности станции;
- при наборе номера;
- при ответе станции «Занято»;

Содержание отчета:

1. Тема, цели, содержание работы.
2. Исследуемые схемы.
3. Выводы по каждому вопросу.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Расчет основных параметров сигналов связи	3
1.1 Расчет количества информации и энтропии.....	3
1.2 Расчет параметров сигналов.....	4
1.3 Оценка ширины спектра сигналов.....	5
2. Исследование основных видов модуляции	9
2.1 Исследование амплитудной модуляции.....	9
2.2 Исследование частотной модуляции.....	12
2.3 Исследование дискретных видов модуляции.....	14
2.3.1 Исследование амплитудной манипуляции.....	14
2.3.2 Исследование частотной манипуляции.....	15
3. Цифровое представление аналоговых сигналов	16
3.1 Расчет параметров дискретизатора и АЦП.....	16
3.2 Моделирование АЦП.....	17
3.3 Моделирование ЦАП.....	18
4. Определение спектрального состава сигнала с помощью дискретного преобразования Фурье	20
4.1 Вычисление коэффициентов ДПФ.....	20
4.2 Восстановление исходного сигнала по ДПФ.....	22
5. Исследование схемной реализации линейных блочных кодов	27
5.1 Исследование схемной реализации кода хэмминга.....	27
5.2 Исследование схемной реализации циклического кода.....	29
6. Исследование схемной реализации способов перемежения и сверточных кодов	31
6.1 Исследование способов перемежения в системах связи.....	31
6.2 Исследование схемной реализации сверточного кода.....	34
7. Исследование способов разделения каналов	39
7.1 Исследование частотного разделения каналов (ЧРК).....	39
7.2 Исследование временного разделения каналов (ВРК).....	43
8. Исследование видов модуляции, используемых в цифровых системах связи	46
8.1 Исследование квадратурной фазовой манипуляции (КФМ).....	46
8.2 Исследование квадратурной амплитудной манипуляции (КАМ).....	49
9. Исследование принципов работы телефонной сети связи	51
9.1 Принципы построения и работы оборудования телефонных сетей связи ...	51
9.1.1 Система акустических сигналов.....	51
9.1.2 Телефонные сети.....	51
9.1.3 Принципы построения телефонных аппаратов.....	55
9.2 Моделирование принципов работы телефонного аппарата.....	58

Учебное издание

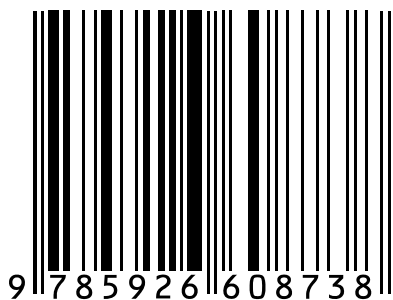
Сизоненко Александр Борисович

СИСТЕМЫ СВЯЗИ

Учебно-практическое пособие

В авторской редакции
Компьютерная верстка *Г. А. Артемовой*

ISBN 978-5-9266-0873-8



Подписано в печать 13.03.2015. Формат 60x84 1/16.
Усл. печ. л. 3,6. Тираж 50 экз. Заказ 221.

Краснодарский университет МВД России.
350005, г. Краснодар, ул. Ярославская, 128.