

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Севастопольский государственный университет»**

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ И СПЕКТРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СИГНАЛОВ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине
«Инфокоммуникационные системы и сети»
для студентов дневного и заочного отделения по направлению
09.03.02 «Информационные системы и технологии»,
09.03.03 «Прикладная информатика»

**Севастополь
2020**

УДК 682.176

Методические указания к выполнению лабораторной работы №2 по дисциплине «Инфокоммуникационные системы и сети»/ Сост. Доц. Чернега В.С., ст. преп. Дрозин А.Ю. – Севастополь: Изд-во СевГУ, 2020. – 13 с.

Цель указаний: углубить теоретические сведения о временных и спектральных характеристиках сигналов передачи данных и провести экспериментальное исследование этих характеристик. Приобретение практических навыков измерения временных и спектральных параметров немодулированных и модулированных сигналов.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторной работы №2 по дисциплине «Инфокоммуникационные системы и сети» для студентов дневной и заочной форм обучения.

Методические указания рассмотрены и утверждены на методическом семинаре и заседании кафедры «Информационные системы»

Рецензент доцент кафедры «Информационные системы»

к.т.н., доцент

Кротов К.В.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Основные теоретические положения.....	4
1.1	Общая характеристика немодулированных и модулированных сигналов данных	4
1.2	Спектры немодулированных сигналов передачи данных	7
1.3	Спектры дискретных модулированных сигналов	7
1.4	Связь между скоростью передачи и шириной канала	10
2	Описание лабораторной установки.....	10
3	Программа и методика исследования	11
4	Методические указания	12
5	Содержание отчета	12
6	Контрольные вопросы	12

1 ОСНОВНЫЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Общая характеристика немодулированных и модулированных сигналов данных

Сигналом называется некоторая физическая величина (электрический ток, напряжение, электромагнитное поле, звуковые волны и т. п.), однозначно отображающая сообщение. Зная закон, связывающий сообщение и сигнал, получатель может выявить содержащиеся в сообщении сведения. Для получателя сообщения сигнал заранее не известен и поэтому он является случайным процессом.

В системах передачи данных для отображения цифровых сообщений (1 и 0) используются однополярные или двухполярные импульсы постоянного тока (видеоимпульсы) и импульсы переменного тока (радиоимпульсы). Вид таких сигналов показан на рисунке 1.1.

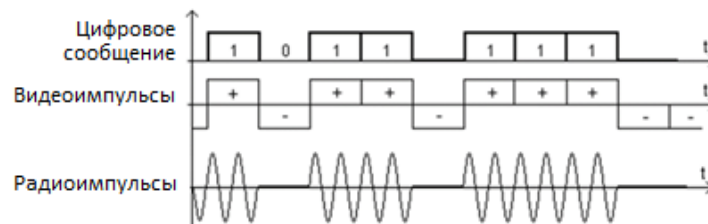


Рисунок 1.1 – Осциллограммы видео- и радиоимпульсов

Импульсы постоянного тока применяются при передаче сигналов по физическим линиям связи, а импульсы переменного тока – для передачи по каналам связи. Частота сигналов переменного тока обычно совпадает со средней частотой полосы пропускания канала.

К временным параметрам сигнала относится длительность единичного элемента τ_0 , для периодической последовательности единичных элементов – период T и *скважность* $\alpha = T/\tau_0$ (рисунок 1.2). Количество единичных элементов B , передаваемых в единицу времени, называется *скоростью манипуляции*. Эта величина получила размерность Бод.

$$B = 1/\tau_0.$$

Частота периодической последовательности со скважностью α связана со скоростью манипуляции следующим соотношением: $F = 1/T = 1/(\alpha\tau_0) = B/\alpha$.

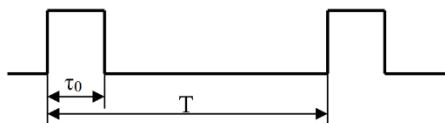


Рисунок 1.2 – Периодическая последовательность прямоугольных импульсов

Для преобразования импульсов постоянного тока в радиоимпульсы используется генератор вспомогательных (несущих) колебаний, имеющих гармониче-

скую (синусоидальную) форму. Процедура преобразования импульсов постоянного тока в последовательность гармонических посылок называется модуляцией. Роль модулирующего колебания в процессе модуляции выполняет информационный сигнал, спектр которого необходимо перенести в полосу пропускания канала. В системах передачи данных модулирующим колебанием является последовательность дискретных импульсов. Модулируемым колебанием (несущей) обычно является синусоидальное колебание.

В процессе модуляции может изменяться (модулироваться) один из параметров несущего колебания: амплитуда, частота или начальная фаза. В результате формируются радиосигналы с амплитудной (АМ), частотной (ЧМ) или фазовой модуляцией. На практике применяются модулированные сигналы, при которых одновременно изменяются два или все три параметра несущего колебания (АФМ, ЧФМ и др.). Скачкообразное изменение параметров несущего колебания называют также манипуляцией или телеграфией. Для различения сокращенных обозначений модуляции от манипуляции зачастую амплитудная, частотная и фазовая манипуляция обозначается соответственно АТ (амплитудная телеграфия), ЧТ и ФТ. В системах передачи цифровых сигналов только манипуляция сигналов. На рисунке 1.3 показаны различные виды манипуляции. На верхнем графике рисунка 1.3 изображены однополярные информационные сигналы данных, а на втором – соответствующие им биполярные сигналы. На третьем графике показана гармоническая несущая, параметры которой (амплитуда, частота и начальная фаза) не изменяются со временем. На последующих графиках изображены временные диаграммы АМ-, ЧМ- и ФМ-сигналов соответственно. Как видно из диаграмм, изменению значения информационного сигнала соответствует изменение одного из параметров несущего колебания.

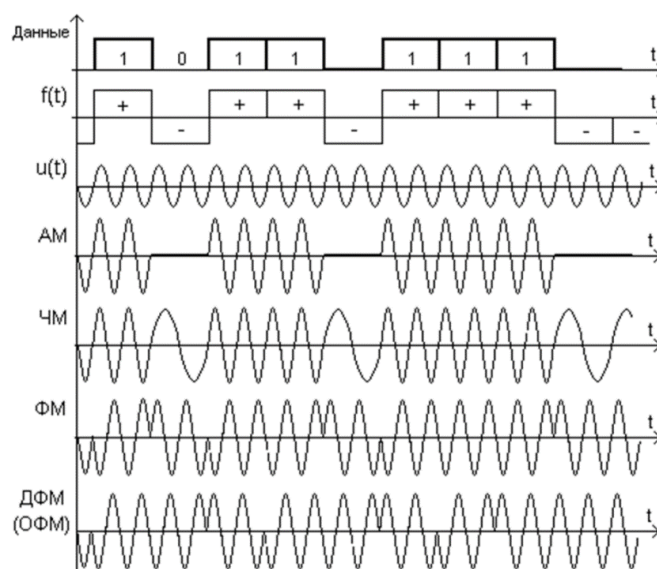


Рисунок 1.3 – Временные диаграммы различных видов манипуляции

Различают абсолютную (ФМ) и относительную (ОФМ) фазовую модуляцию. ОФМ носит также название дифференциальная фазовая модуляция (ДФМ). При абсолютной двухпозиционной фазовой манипуляции (англ. обозначение BPSK - *Binary Phase Shift Keying*) фаза модулированного колебания при значении входного

сигнала равного уровню логического "0" совпадает со значением фазы опорного (несущего) напряжения ($\Delta\varphi=0^0$), а при поступлении "1" – меняется на противоположную ($\Delta\varphi=180^0$). То есть, фаза модулированного колебания меняется всякий раз при изменении значения входного сигнала. В случае дифференциальной (относительной) фазовой манипуляции ДФМ (DPSK - *DifferentialPhaseShiftKeying*), фаза текущего колебания изменяется не по отношению к опорному колебанию, а по отношению к фазе предыдущей посылки.

Из временной диаграммы видно, что скачкообразное изменение фазы модулированного колебания на 180^0 происходит в случае абсолютной фазовой модуляции при каждом изменении знака модулирующего сигнала, а при относительной (дифференциальной) – каждом единичном значении сигнала данных.

Форма модулирующего сигнала выбирается близкой к прямоугольной. При этом исходят из соображений наибольшего удобства реализации приёмных устройств, обеспечивающих высокую помехоустойчивость. Однако с целью сокращения ширины спектра сигнала в ряде случаев используют сигнал с плавным изменением огибающей.

При передаче дискретной информации по непрерывным каналам связи используются как простые методы модуляции: АМ, ЧМ, ФМ, ДФМ (рисунок 1.1), так и комбинированные – одновременное изменение нескольких параметров сигнала (чаще всего амплитуды и фазы).

Повышение скорости передачи информации при неизменной скорости модуляции может быть обеспечено за счет увеличения количества значащих позиций модулированного сигнала. Это свойство используется в большинстве современных систем передачи данных. Простейшим вариантом многопозиционной модуляции является двукратная (4-позиционная) дифференциальная фазо-разностная (относительно-фазовая) манипуляция (ДФМ), при которой модулированный сигнал принимает 4 значения фазы. При 4-позиционной модуляции один элемент сигнала содержит два бита данных. На рисунке 1.4 изображены векторное и временное представление 4-позиционных ДФМ-сигналов с двумя вариантами значений начальных фаз 0^0 ; 90^0 ; 180^0 и 270^0 , либо 45^0 ; 135^0 ; 225^0 и 315^0 . Векторное представление сигналов называют также «сигнальным созвездием». При больших значениях позиций сигналов на сигнальном созвездии изображаются только геометрическое место точек концов векторов.

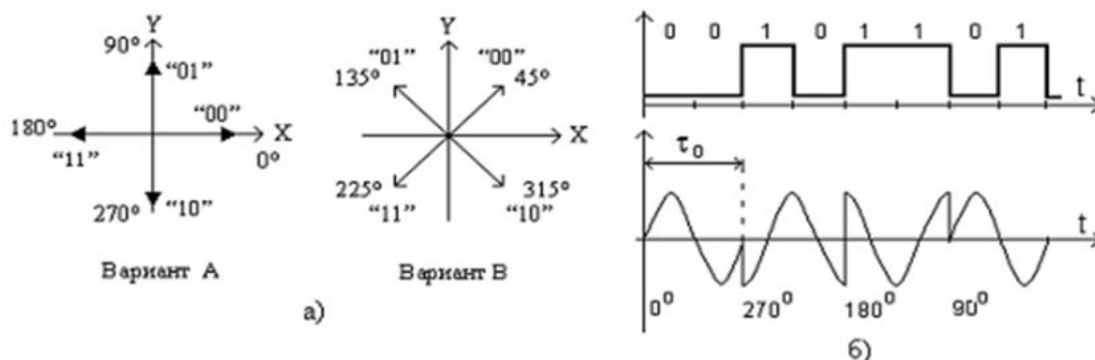


Рисунок 1.4 – Векторные (а) и временные (б) диаграммы 4-позиционной ФРМ

Формирование ФМ-сигналов со сдвигом фазы на 180° легко осуществляется путем инвертирования колебаний генератора несущей частоты. Для получения модулированных колебаний с числом позиций фаз больше двух используют два колебания, имеющих одинаковую частоту, но сдвинутых по фазе на 90° , т.е. находящихся в квадратуре. В этом случае говорят о так называемой квадратурной фазовой модуляции (*Quadrature Phase Shift Keying*, QPSK).

Модуляция QPSK является частным случаем квадратурной амплитудной модуляции QAM-4, при котором информационный сигнал отображается изменением фазы несущего колебания с шагом 90° .

1.2 Спектры немодулированных сигналов передачи данных

Сигналы постоянного тока широко используются при передаче данных по симметричным и кабельным линиям связи. При этом используются однополярные двоичные (1,0) или биполярные двоичные (+1,-1) и квазитроичные (+1, 0, -1) импульсы. Любой сложный периодический сигнал можно разложить в ряд Фурье по гармоническим составляющим, т.е. представить его в виде суммы гармонических колебаний с частотами, кратными частоте повторения этого сигнала:

$$u(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos(k\Omega t - \varphi_k),$$

где $u(t)$ – разлагаемый периодический сигнал; k – номер гармоники ($k = 1, 2, \dots$); C_0 – постоянная составляющая; C_k – амплитуды гармоник; φ_k – начальные фазы гармоник; Ω – круговая частота повторения равная $2\pi/T$, здесь T – период повторения функции $u(t)$.

1.3 Спектры дискретных модулированных сигналов

При амплитудной модуляции модулирующий сигнал изменяется по произвольному закону $f(t)$, причем предполагается, что максимальное и минимальное значение амплитуды равны соответственно: $\Delta U_{\text{МАКС}} = +1$ и $\Delta U_{\text{МИН}} = -1$. Если амплитуду модулирующего напряжения обозначить ΔU , то амплитуда модулированного напряжения будет изменяться по закону

$$U_1 = U_M + \Delta U f(t) = U_M \left[1 + \frac{\Delta U}{U_M} f(t) \right] = U_M [1 + m f(t)]$$

где m – коэффициент модуляции ($m = \Delta U / U_M$).

Модулированный сигнал можно представить как сумму двух сигналов, имеющих одинаковую частоту ω_0 , но отличающихся значением начальной фазы. Тогда модулированный сигнал запишется так:

$$U_{AM} = U_1 \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_M [1 + m f(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0). \quad (1.1)$$

Для наиболее часто применяемой стопроцентной модуляции ($m=1$):

$$U_{AM} = U_M [1 + f(t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0).$$

Здесь и в дальнейшем мы будем рассматривать спектры модулированных колебаний в двух случаях: когда $f(t)$ представляет периодическую последовательность прямоугольных посылок и когда $f(t)$ является гармоническим колебанием. Первый случай амплитудной модуляции получил название *двоичной амплитудной модуляции*. В общем случае манипуляции $f(t)$ может принимать конечное число значений. Первый случай соответствует процессам, имеющим место в системах передачи дискретной информации, а второй позволяет путем сравнения с первым сделать ряд полезных выводов.

Для определения спектра U_{AM} достаточно спектральное разложение в ряд Фурье $f(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{\infty} C_k \cos(k\Omega t)$ подставить в формулу (1.1). В случае последовательности прямоугольных посылок при $U_0 = 1$:

$$f(t) = \frac{1}{\alpha} + \frac{2}{\alpha} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(\frac{\pi k}{\alpha})}{\frac{\pi k}{\alpha}} \cos(k\Omega t), \quad (1.2)$$

где $\Omega = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота повторения посылок, T – период следования посылок. Подставляя (1.2) в (1.1), получим:

$$U_{AM} = \frac{U_M}{\alpha} \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_M}{\alpha} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{\sin(\frac{\pi k}{\alpha})}{\frac{\pi k}{\alpha}} \{ \sin[(\omega_0 + k\Omega)t + \varphi_0] + \sin[(\omega_0 - k\Omega)t + \varphi_0] \}. \quad (1.3)$$

Отсюда видно, что спектр амплитудно-манипулированного сигнала содержит несущую частоту и две боковые полосы – верхнюю и нижнюю. Форма боковых частот спектра манипулированного сигнала аналогична форме спектра модулирующих посылок, но спектр модулированного сигнала вдвое шире спектра модулирующих посылок.

В случае модулирующей функции $f(t) = \sin(\Omega t)$ спектр амплитудно-модулированного сигнала также состоит из несущей частоты и двух боковых частот:

$$U_{AM} = U_M [1 + \sin(\Omega t)] \cos(\omega_0 t + \varphi_0) = U_M \cos(\omega_0 t + \varphi_0) + \frac{U_M}{2} \sin[(\omega_0 + \Omega)t + \varphi_0] - \frac{U_M}{2} \sin[(\omega_0 - \Omega)t + \varphi_0].$$

Полученные выводы могут быть распространены на модулирующие сигналы произвольной формы.

При *фазовой модуляции*, при изменении модулирующего сигнала по закону $f(t)$ и максимальном изменении начальной фазы на величину $\Delta\varphi$ фаза сигнала изменяется по закону:

$$\theta = \omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi f(t).$$

Мгновенное значение фазомодулированного напряжения имеет вид:

$$U_{\phi M} = U_M \cos \theta = U_M \cos[\omega_0 t + \varphi_0 + \Delta\varphi f(t)], \quad (1.4)$$

где $\Delta\varphi$ – **девиация фазы** или, как еще ее называют, *индекс фазовой модуляции*. Чем больше изменение модулируемого параметра, тем, очевидно, легче отличать друг от друга значения передаваемых сигналов на приеме. Поэтому значения девиации фазы следует выбирать возможно большим, т. е. $\Delta\varphi = 90^\circ$. При модуляции серией прямоугольных импульсных посылок (фазовая манипуляция), показанных на рисунке 1.4 а, фазоманипулированный сигнал при $\Delta\varphi = 90^\circ$ имеет вид, показанный на рисунке 1.4 б.

Модулированный сигнал можно представить как сумму двух сигналов, имеющих одинаковую частоту ω_0 , но отличающихся значением начальной фазы. В частности, для случая $\Delta\varphi = 90^\circ$, изображенного на рисунке 1.4б, эти сигналы показаны на рисунках 1.4,в и 1.4,г. Их несущие частоты отличаются по фазе на $2\Delta\varphi = 180^\circ$. Перепишем выражение (1.4) следующим образом:

$$U_{\phi M} = U_M \left\{ \cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cos[\Delta\varphi f(t)] - \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \sin[\Delta\varphi f(t)] \right\}. \quad (1.5)$$

В случае фазовой манипуляции прямоугольными посылками

$$f(t) = \begin{cases} -1 & \text{при } n\tau_0 \leq t \leq (n+1)\tau_0 \\ +1 & \text{при } (n-1)\tau_0 \leq t \leq n\tau_0 \end{cases}$$

Получим:

$$U_{\phi M} = U_M \left[\cos(\omega_0 t + \varphi_0) \cos \Delta\varphi - f(t) \sin(\omega_0 t + \varphi_0) \sin \Delta\varphi \right]. \quad (1.6)$$

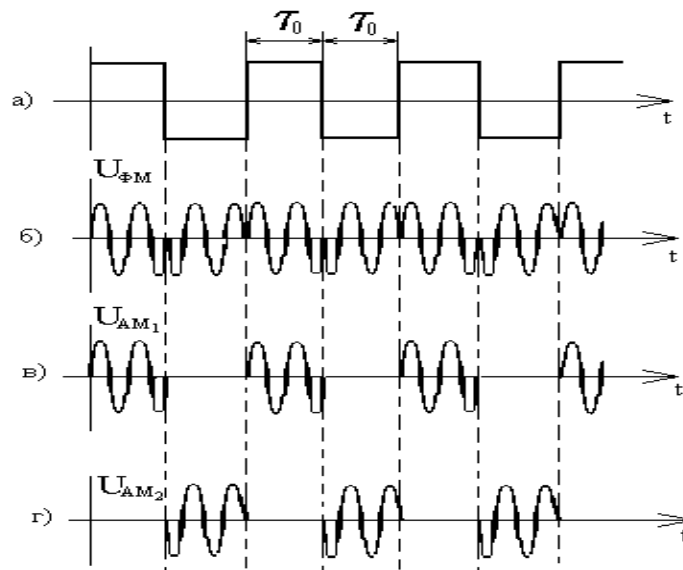


Рисунок 1.4 – Временные диаграммы сигналов при фазовой манипуляции:

- а) – модулирующий сигнал; б) – фазоманипулированный сигнал;
в), г) – составляющие фазоманипулированного сигнала;

Таким образом, в общем случае спектр ФМ колебания содержит несущую, симметрично от которой располагаются боковые составляющие, отстоящие на частотные интервалы, кратные частоте манипуляции. В рассматриваемом случае $\Delta\varphi = 90^\circ$ спектр ФМ становится равным спектру АМ при подавлении несущего колебания.

1.4 Связь между скоростью передачи и шириной канала

Знание спектров сигналов, используемых для передачи данных, динамики их изменения при различных видах сигналов, способов и параметров модуляции, а также переходных процессов в каналах при передаче этих сигналов, позволяет установить соотношения между скоростью передачи и требуемой шириной полосы пропускания используемого канала связи.

На практике нет необходимости (да и возможности) передавать весь спектр сигнала. Достаточно передать лишь те составляющие, в которых сосредоточена основная часть энергии (>50%). Так например, при передаче “точек” импульсами постоянного тока, основная часть энергии содержится в двух первых компонентах спектра: постоянной составляющей и первой гармонике с частотой $f=1/2\tau_0$, где τ_0 - длительность единичного элемента. Следовательно, минимально необходимая полоса частот канала связи в этом случае равна

$$\Delta F_{\min} = 1/(2\tau_0) = B/2,$$

где B - скорость модуляции, Бод.

2 ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

В качестве лабораторной установки используется демонстрационная версия системы Proteus. Для генерации немодулированных однополярных сигналов служит генератор прямоугольных импульсов с регулируемой частотой и скважностью импульсов. На рисунке 2.1 показана настройка генератора прямоугольных импульсов в качестве источника периодической последовательности вида 1:4 амплитудой 1 В, следующей с частотой 10 кГц.

Для изменения вида последовательности необходимо изменять ширину импульса при неизменном периоде (частоте).

В качестве амплитудного модулятора служит перемножитель сигналов Laplace Multiplication Operator, а в качестве частотного модулятора – аналоговый ключ DG419, осуществляющий коммутацию колебаний одного из генераторов гармонических колебаний под управлением информационных сигналов, формируемых генератором прямоугольных импульсов с регулируемой скважностью.

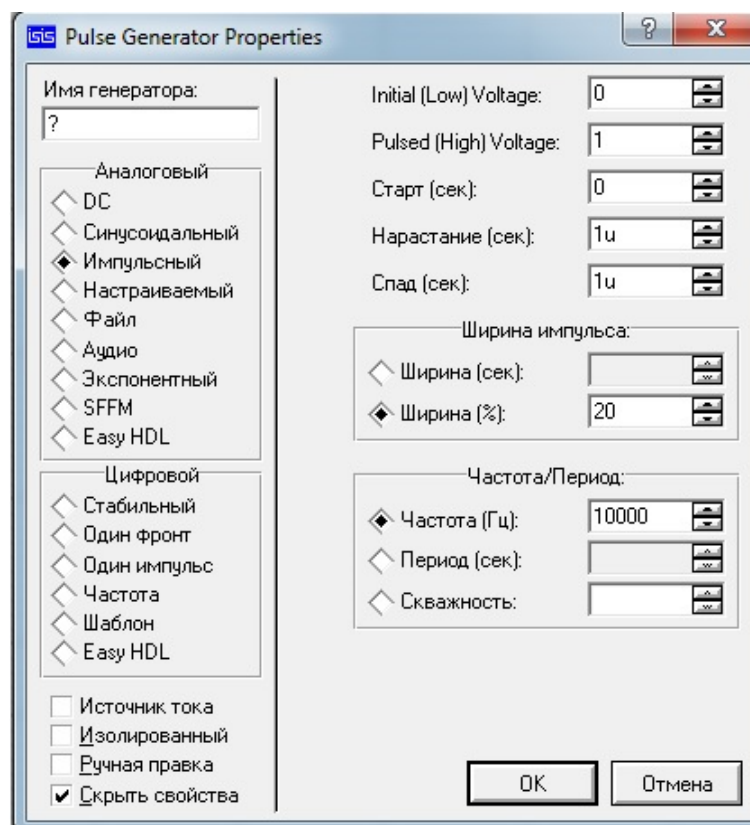
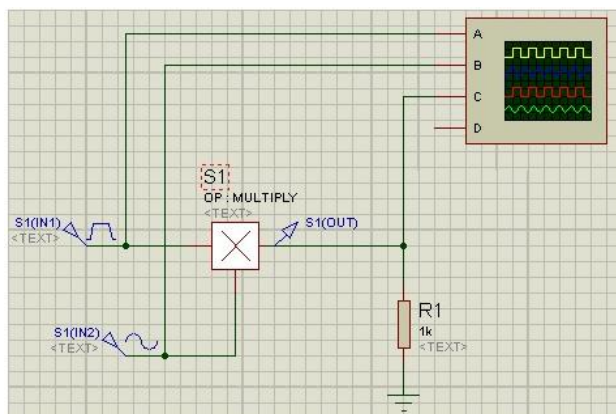
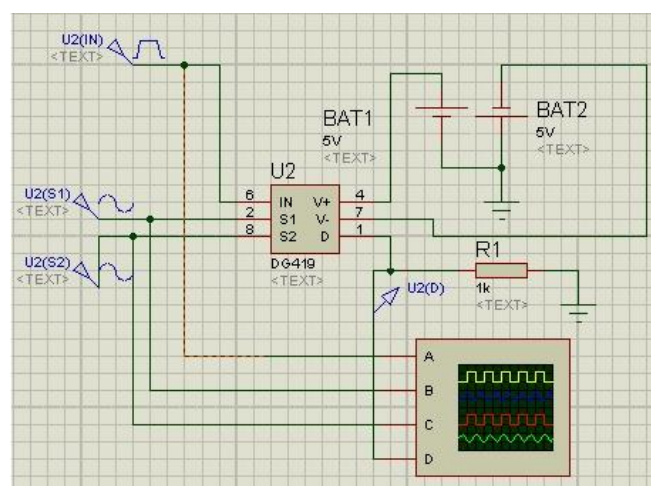


Рисунок 2.1 – Задания источника прямоугольной последовательности с частотой 10 кГц вида 1:4



а)



б)

Рисунок 2.2 – Схема амплитудного (а) и частотного (б) модуляторов

3 ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

1. Составить схему для исследования временных и спектральных характеристик немодулированных сигналов вида 1:1, 1:3, 1:4 и 1:9 сигналов. Передаваемых со скоростью 10 кБод.
2. Составить схемы формирования АМ- и ЧМ-сигналов.

3. Снять осциллограммы информационного и модулированного АМ- и ЧМ-сигналов и измерить временные параметры сигналов вида 1:2; 1:4; 1:9, передаваемых со скоростью $(i+1)1000$ Бод, где i – последняя цифра номера зачетной книжки. Частота несущей для АМ $(i+1)10000$ Гц, Нижняя частота при ЧМ равна $(i+1)1000$ Гц, а верхняя частота в 2 раза выше нижней. Скорость манипуляции при ЧМ $(i+1)100$ Бод.

4. Измерить частоты и амплитуды спектральных компонентов модулированных и информационного сигналов с параметрами, указанными в п.3.

5. Исследовать изменение вида и параметров модулированных сигналов и их спектральных компонентов в зависимости от параметров модуляции, в частности, при $\alpha = 4, 6, 8$ и при увеличении скорости манипуляции в 2 раза, а также при увеличении несущей при АМ и средней при ЧМ вдвое.

6. Сделать выводы по результатам исследований.

4 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

1. В качестве генератора несущих колебаний следует использовать генератор синусоидальных сигналов, а в качестве модулирующий сигналов – генератор прямоугольных импульсов.

2. Вид сигнала устанавливается путем задания ширины импульсов.

3. При использовании анализатора спектра разрешение по частоте следует устанавливать в зависимости от разности частот между гармониками, так, чтобы их можно различить на спектрограмме.

4. Запуск работы анализатора спектра и частотных характеристик осуществляется путем нажатия клавиши пробел.

5 СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель и программа работы.
2. Структурная схема экспериментальной установки.
3. Расчет и графики спектральных характеристик сигналов, выполненные в процессе домашней подготовки, варианты представлены в приложении А.
4. Осциллограммы и спектрограммы исследуемых сигналов.
5. Выводы по результатам исследований.

6 КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Изобразите форму немодулированных и модулированных сигналов передачи данных и назовите временные параметры сигналов.

2. В каких единицах измеряется скорость передачи сигналов и скорость передачи информации? Как они соотносятся друг с другом?

3. Изобразите спектр периодической последовательности видеоимпульсов различной скважности?
4. На каких частотах будут спектральные компоненты периодической последовательности прямоугольных импульсов вида 1:5, передаваемой со скоростью 64 кБод?
5. Охарактеризуйте закономерности спектров одиночных импульсов различной формы.
6. Охарактеризуйте закономерности спектров периодических немодулированных и модулированных сигналов.
7. Рассчитайте спектры модулированных АМ- и ФМ-сигналов при заданной скорости манипуляции, несущей частоте и виде импульсной последовательности.
8. Объясните особенности спектров при частотной модуляции сигналов.
9. В чем состоит особенность спектров модулированных сигналов при низкой несущей частоте по отношению к модулирующей?
10. Почему нельзя передавать немодулированные сигналы данных по телефонным каналам тональной частоты?