

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИСКРЕТНОГО КАНАЛА С АМПЛИТУДНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ

1. Цель работы

Углубить знания в области построения дискретных каналов, способов модуляции и демодуляции сигналов. Приобрести практические навыки в построении и исследовании схем преобразования сигналов в среде моделирования Proteus.

2. Основные теоретические положения

Аналоговые (непрерывные) каналы связи не позволяют непосредственно передавать дискретные сигналы в связи с тем, что обычно полоса пропускания канала связи и спектр сигналов данных не совпадают. Для переноса спектра сигнала в полосу пропускания канала используется модуляция, а для восстановления исходного сигнала на приемной стороне применяется демодуляция. Совокупность непрерывного канала и модулятора и демодулятора называется дискретным (цифровым) каналом связи (рисунок 2.1).



Рисунок 2.1 – Система передачи дискретных сигналов

Информационная последовательность от источника дискретных сообщений (ИДС) преобразуется с помощью модулятора (М) в непрерывные сигналы и после ограничения спектра полосовым фильтром (ПФ), передается по непрерывному каналу или линии связи (ЛС). Полосовой фильтр на приемной стороне служит для подавления помех вне полосы сигнала. Затем сигнал восстанавливается в демодуляторе и поступает получателю дискретных сообщений (ПДС).

В настоящее время в системах передачи данных используется амплитудная (АМ), частотная (ЧМ) и фазовая (ФМ) манипуляция либо комбинация этих способов, преимущественно АФМ. Немодулированные сигналы (импульсы по-

стоянного тока) применяются лишь при передаче по физическим линиям электросвязи, так как полоса пропускания таких линий начинается с нуля.

Дискретный канал с амплитудной манипуляцией начал применяться на заре развития систем передачи данных. Основным преимуществом систем с АМ является простота построения, а недостатком – невысокая помехоустойчивость. Однако они применяются и в настоящее время на каналах с низким уровнем помех.

При амплитудной модуляции сигналу логической 1 соответствует отрезок гармонического колебания (несущей), а логическому 0 – отсутствие колебания или колебание с меньшей амплитудой. Аналитически процесс модуляции реализуется перемножением несущего колебания с колебанием, отображающим информационную последовательность. На практике амплитудный модулятор представляет собой электронный ключ, управляемый информационными сигналами. При открытии ключа сигнал несущей поступает на его выход, а при закрытом состоянии ключа сигнал на выходе отсутствует.

Демодуляция АМ сигнала осуществляется путем двухполупериодного выпрямления принятого сигнала и последующей фильтрации фильтром нижних частот.

Энергетический спектр АМ сигнала $G(\omega)$ определяется на основании его корреляционной функции и имеет вид

$$G_{ам}(\omega) = \frac{U_m^2}{2} + \frac{U_m^2 \tau_0}{2} \frac{\sin^2[(\omega - \omega_0)\tau_0 / 2]}{[(\omega - \omega_0)\tau_0 / 2]^2}.$$

Из этой формулы следует, что спектр амплитудно-манипулированного сигнала располагается в области частоты вспомогательного (несущего) колебания и содержит несущую частоту и две боковые полосы: верхнюю и нижнюю. Форма боковых частот спектра манипулированного сигнала аналогична форме спектра модулирующих посылок. Спектр модулированного сигнала получается вдвое шире спектра сигнала данных.

На практике амплитудная модуляция применяется для реализации амплитудно-фазовой модуляции. При этом используются два амплитудных модулятора, на которые поступают несущие колебания одной и той же частоты, но сдвинутые по фазе на 90° т.е., находящихся в квадратуре. Затем оба модулированных колебания суммируются. Такой вид модуляции получил **название квадратурная амплитудная модуляция (КАМ, англ. QAM)**. При изменении амплитуды модулирующих сигналов частота сигнала остается прежней, а фаза колебания меняется. На рисунке 2.2 показана упрощенная структурная схема формирователя QAM-сигнала.

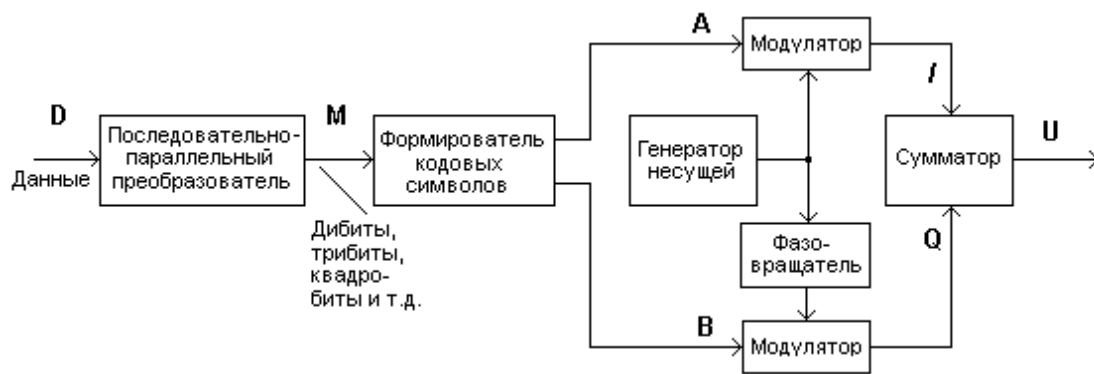


Рисунок 2.2 – Схема реализации квадратурной амплитудной манипуляции

Аналитически QAM-сигнал представляется в виде:

$$u_{\text{QAM}}(t) = U_m [A(t) \cos \omega_0 t + B(t) \sin \omega_0 t],$$

где $A(t)$ и $B(t)$ – модулирующие сигналы в квадратурном и синфазном каналах соответственно.

В передатчике, производящем модуляцию, одна из этих составляющих синфазна колебанию генератора несущей частоты, а вторая находится в квадратуре по отношению к этому колебанию (отсюда — квадратурная модуляция). Синфазная составляющая обозначается зачастую как I (*In Phase*), а квадратурная — как Q (*Quadrature*).

Для цифровой фазовой манипуляции характерно, что при модулировании синфазной и квадратурной составляющей несущего колебания используется одно и то же значение величины *изменения амплитуды*. Поэтому окончания векторов модулированного колебания образуют прямоугольную сетку на фазовой плоскости действительной $\text{Re}\{U_{\text{QAM}}\}$ и мнимой составляющей вектора модулированного сигнала $\text{Im}\{U_{\text{QAM}}\}$. Число узлов этой сетки определяется количеством позиций результирующего сигнала, т.е. типом используемого алгоритма QAM. Схема расположения узлов на фазовой плоскости модулированного QAM-колебания представляет другую форму изображения созвездия сигналов.

На первом этапе преобразования поток входных данных $D\{d_0, d_1, \dots, d_k\}$, поступающих от источника сигнала, преобразуется в последовательность групп битов $M\{m_0, m_1, \dots, m_j\}$. Число битов в этой группе равно $\log m_c$, где m_c – количество позиций сигналов. Формирователь кодовых символов преобразует группу битов в пару кодовых символов a_j и b_j . Так, например, для алгоритма QAM-16 стандартом установлены значения a_j и b_j , принадлежащие множеству $\{1, 3, -1, -3\}$, а для QAM-64 a_j и b_j могут принимать значения $\{1, 3, 5, 7, -1, -3, -5, -7\}$.

Величины a_j и b_j и определяют соответственно значения реальной и мнимой координаты вектора модулированного колебания. Сформированные значения $A\{a_j\}$ и $B\{b_j\}$ используются для амплитудной модуляции синфазной I и квадратурной Q составляющих несущего колебания. На последнем этапе пре-

образования выполняется суммирование этих колебаний и формирование результирующего сигнала U . Сигнальные созвездия для QAM-16 и QAM-64 изображены на рисунке 2.3.

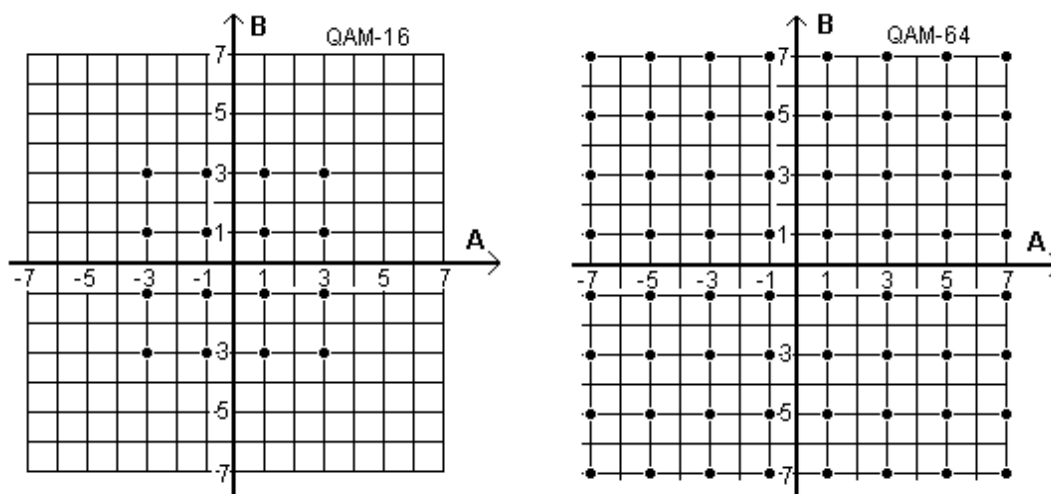


Рисунок 2.3 – Сигнальные созвездия QAM-16 и QAM-64

Другой разновидностью амплитудно-фазовой модуляции является АФМ с подавлением несущей и передачей одной боковой полосы. Такой способ в зарубежной литературе известен под названием **САР-модуляция** (*Carrier less Amplitude modulation / Phase modulation*). Известно, что несущая частота используется при модуляции только для переноса спектра сигнала и не является информативной. Передача двух боковых полос модулированного сигнала является в информационном смысле избыточной. Поэтому передача на одной боковой позволяет более эффективно использовать мощность сигнала и полосу канала связи.

3. Описание лабораторной установки

В качестве лабораторной установки используется персональный компьютер с установленной программой моделирования электронных схем Proteus, работа с которым описана в первой лабораторной работе. Изображение исследуемой схемы дискретного канала с АМ, выполненной в основном окне системы Proteus показана на рисунке 3.1.

На передающей стороне функцию модулятора выполняет перемножитель сигналов (категория Laplace Primitives элемент OP:MULTIPLY), на входы которого подаются колебания несущей частоты и информационные сигналы. Фильтры передачи и приема в схеме отсутствуют. В качестве линии связи используется эквивалентная схема замещения симметричной проводной линии. Соединение модулятора с линией связи выполнено через согласующий трансформатор (TRAN 2P2S), осуществляющий гальваническую развязку линии связи с модулятором.

Демодулятор выполнен на основе двухполупериодной схемы выпрямителя и RC-фильтра нижних частот. Демодулятор также подключен через симметрирующий разделительный трансформатор.

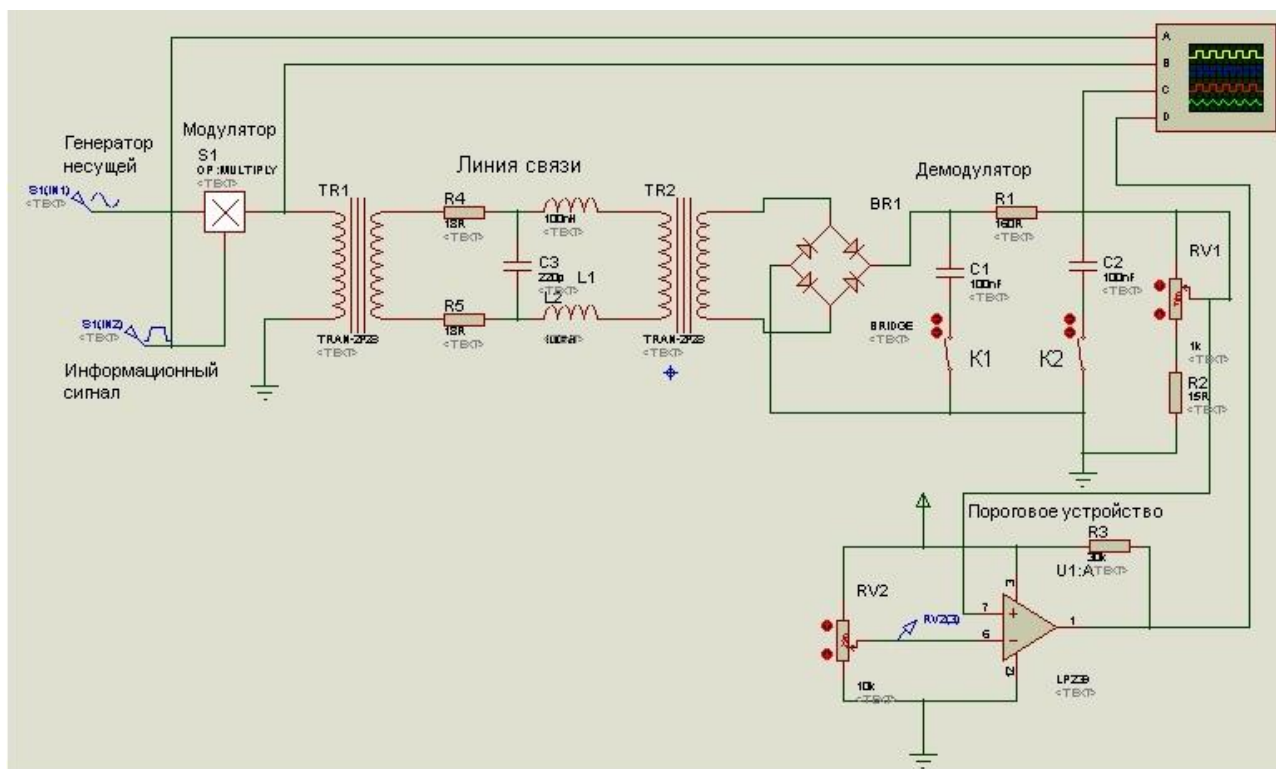


Рисунок 3.1 – Схема дискретного канала с АМ

Демодулированный сигнал подается на вход порогового устройства (микросхема LP 239), на выходе которого формируются прямоугольные импульсы данных с краевыми искажениями. Ко входу осциллографа подключены характерные точки устройства.

4. Программа работы

4.1. Повторить теоретический материал, относящийся к вопросам модуляции и демодуляции сигналов и построении дискретных каналов (выполняется в процессе домашней подготовки).

4.2. Составить в рабочем окне симулятора схему дискретного канала, изображенную на рисунке 3.1.

4.3. Установить параметры генератора несущих сигналов: частота $(10+i)$ кГц, где i – последняя цифра номера зачетной книжки, амплитуда 5 В.

4.4. Установить частоту информационных сигналов $(1000 + 100i)$ Гц. Вид сигналов 1:1.

4.5. Запустить процесс моделирования, зарисовать осциллограммы в точках измерения и пояснить их характер.

4.6. Отключать по очереди конденсаторы фильтра нижних частот. Зарисовать вид сигнала на выходе приемного устройства и пояснить причину изменения их формы. Затем снова подключить оба конденсатора.

4.7. Меняя с помощью потенциометра RV2 пороговое напряжение от 0,75 до 2-х В. Измерить абсолютную и относительную величину краевых искажений.

4.8. Установить вид информационного сигнала 1:4 и измерить абсолютную и относительную величину краевых искажений. Зарисовать форму сигналов в контрольных точках.

4.9. Сделать выводы по работе и оформить отчет.

5. Содержание отчета

5.1. Титульный лист.

5.2. Цель и программа работы.

5.3. Схемы дискретного канала с АМ.

5.4. Осциллограммы сигналов в характерных точках.

5.5. Результаты измерений краевых искажений.

5.6. Выводы

6. Контрольные вопросы

6.1. Что называют дискретным каналом? Начертите его структурную схему.

6.2. Для чего при передаче дискретных сигналов по каналу связи нужны модулятор и демодулятор?

6.3. Нарисуйте временные диаграммы сигналов в канале связи при АМ, ЧМ и ФМ.

6.4. Почему при перемножении сигналов сдвигается спектр результирующего колебания?

6.5. Какие частотные компоненты будут на выходе перемножителя при несущем гармоническом колебании 10000 Гц и прямоугольной последовательности вида 1:1 со скоростью модуляции 1000 бод?

6.6. Что такое «квадратурная амплитудная модуляция» и для чего она используется?

6.7. Нарисуйте временное представление сигналов на выходе 4-позиционного квадратурного модулятора при поступлении на его вход последовательности вида 11011000.

6.8. Что называют краевыми искажениями сигналов и как измерить их абсолютную и относительную величину на практике?

6.9. Покажите на схеме демодулятора процесс двухполупериодного выпрямления сигнала.

6.10. Почему при изменении положения регулятора RV2 изменяется величина краевых искажений?