

## 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 колебание 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  $90^\circ$  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.

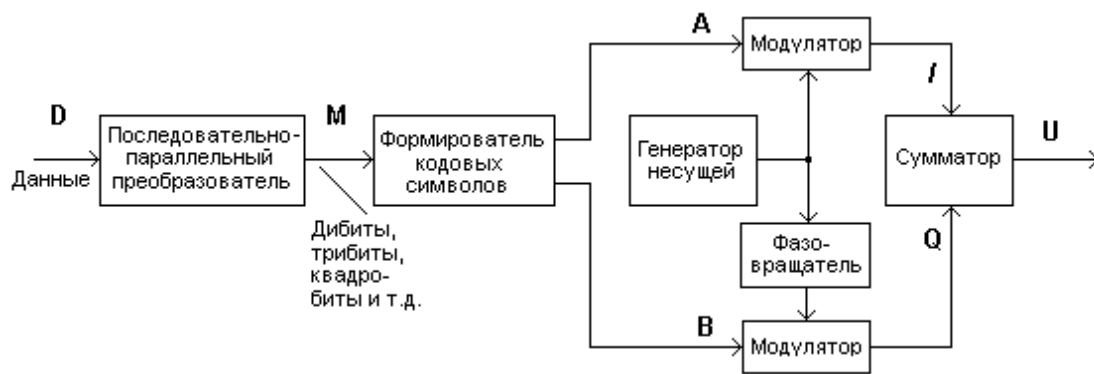


Рисунок 2.2 – Схема реализации квадратурной амплитудной манипуляции

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.

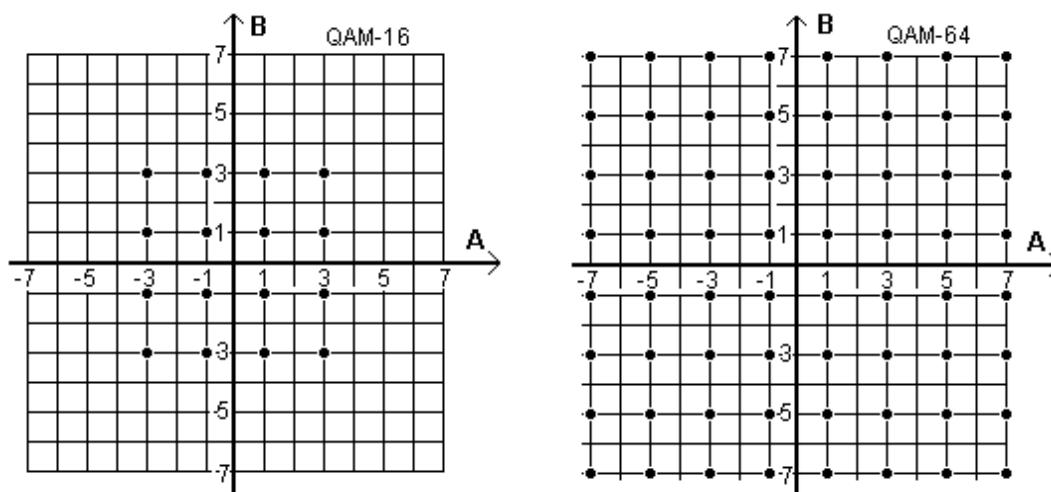


Рисунок 2.3 – Сигнальные созвездия QAM-16 и QAM-64

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.

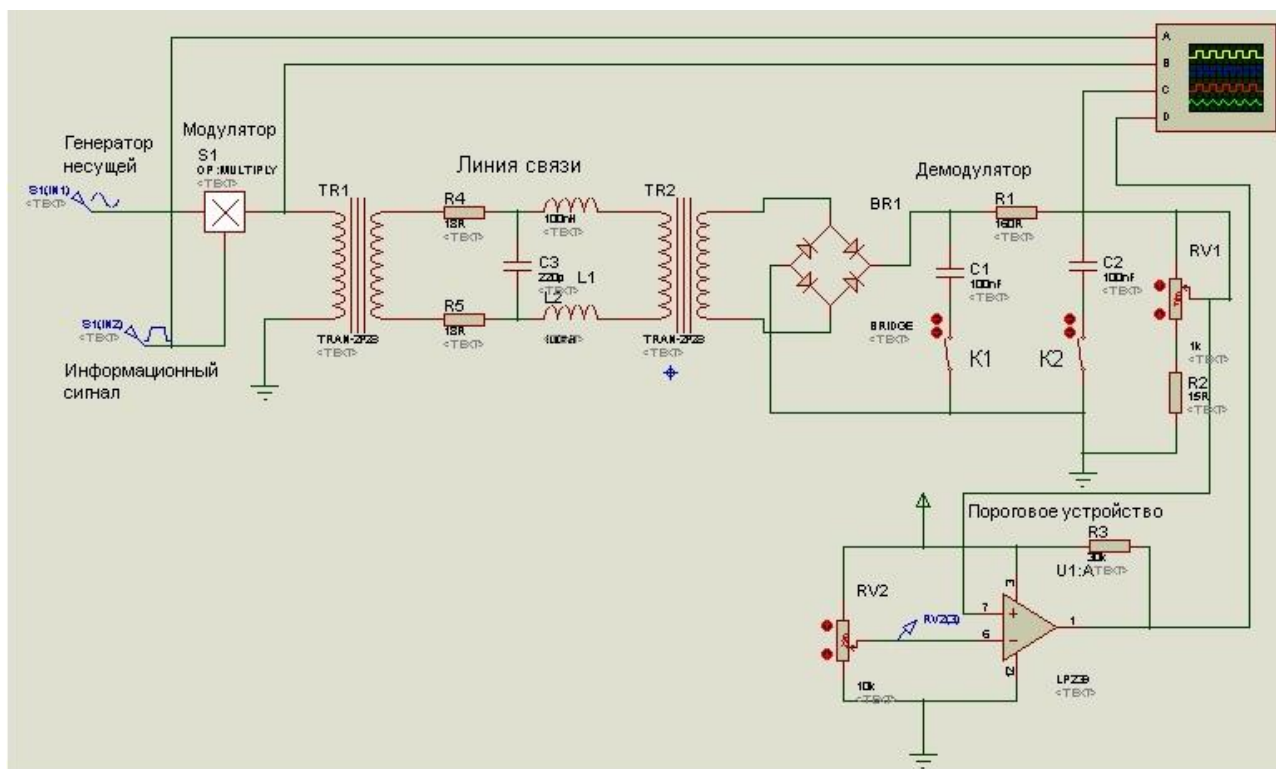


Рисунок 3.1 – Схема дискретного канала с АМ

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?