

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

# Телекоммуникационные технологии

Отчет по лабораторной работе №4

Аналоговая модуляция

**Работу**

**выполнил:**

Балсутьев В.А.

Группа: 33501/4

**Преподаватель:**

Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

# Содержание

<b>1. Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2. Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>3. Теоретическая информация</b>	<b>2</b>
3.1. Модуляция . . . . .	2
3.2. Амплитудная модуляция . . . . .	3
3.2.1. Амплитудная модуляция с подавлением несущей . . . . .	3
3.2.2. Однополосная модуляция . . . . .	3
3.2.3. Демодуляция с помощью синхронного детектирования . . . . .	4
3.2.4. КПД модуляции . . . . .	5
<b>4. Ход работы</b>	<b>5</b>
4.1. Модуляция однотонового сигнала . . . . .	5
4.2. КПД АМ для однотонового канала . . . . .	11
4.3. Модуляция с подавлением несущей . . . . .	11
4.4. Однополосная модуляция . . . . .	12
<b>5. Выводы</b>	<b>14</b>

# 1. Цель работы

Изучить амплитудную модуляцию/демодуляцию сигнала.

## 2. Постановка задачи

- Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
- Выполнить амплитудную модуляцию.
- Получить спектр модулированного сигнала.
- Выполнить модуляцию с подавлением несущей.
- Выполнить однополосную модуляцию.
- Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
- Рассчитать КПД.

## 3. Теоретическая информация

### 3.1. Модуляция

Модуляция(wiki) — процесс изменения одного или нескольких параметров высокочастотного несущего колебания по закону низкочастотного информационного сигнала (сообщения). Сущность модуляции заключается в следующем. Формируется некоторое колебание (чаще всего гармоническое), называемое несущим колебанием или просто несущей (carrier), и какой-либо из параметров этого колебания изменяется во времени пропорционально исходному сигналу. Исходный сигнал называют модулирующим (modulating signal), а результирующее колебание с изменяющимися во времени параметрами — модулированным сигналом (modulated signal). Обратный процесс — выделение модулирующего сигнала из модулированного колебания — называется демодуляцией (demodulation). Обычно за несущий сигнал принимается гармоническое колебание вида  $s(t) = A \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ , где  $A$  — амплитуда,  $\omega_0$  — циклическая частота,  $t$  — время,  $\phi_0$  — начальная фаза. Какие параметры можно использовать для процесса модуляции — очевидно те, которые не являются изменяемыми аргументами(параметрами) исходного несущего колебания — амплитуда, частота, фаза. Ну и по названию существуют модуляции:

- амплитудная
- частотная
- фазовая

Частотную и фазовую модуляции часто называют угловым видом модуляции, т.к. они меняют аргумент косинуса. Так же существует так называемая квадратурная модуляция, при которой изменяются, и амплитуда, и фаза сигнала. В данной работе мы рассматриваем только амплитудную модуляцию.

## 3.2. Амплитудная модуляция

Как явствует из названия, при амплитудной модуляции (АМ; английский термин — amplitude modulation, АМ) в соответствии с модулирующим сигналом изменяется амплитуда несущего колебания:  $u_{am}(t) = A(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ . Однако если амплитуду  $A(t)$  просто сделать прямо пропорциональной модулирующему сигналу, возможно возникновение следующей проблемы. Как правило, модулирующий сигнал является двуполярным (знакопеременным). Экспериментально доказано, что амплитудная огибающая, которая будет выделена в процессе демодуляции, в данном случае оказывается неправильной и соответствует модулю исходного сигнала. Поэтому при реализации АМ к модулирующему сигналу предварительно добавляют постоянную составляющую, чтобы сделать его однополярным:  $A(t) = A_0 + k s_m(t)$ . В итоге формула амплитудной модуляции в общем виде выглядит так:

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0) \quad (1)$$

Спектр сигнала с амплитудной модуляцией показан на рис.3.1. На графике  $\omega_0$  — частота несущей,  $\Omega$  — частота модуляции.

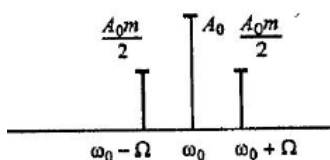


Рисунок 3.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

Амплитудная модуляция имеет низкий КПД.

### 3.2.1. Амплитудная модуляция с подавлением несущей

Основная мощность АМ сигнала приходится на несущую частоту. При АМ с подавлением несущей производится перемножение двух сигналов — модулирующего и несущего. В результате несущая частота подавляется и КПД модуляции становится 100%. Формула такой модуляции:

$$u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) \quad (2)$$

Спектр сигнала с амплитудной модуляцией с подавлением несущей отличается от спектра модуляции без подавления несущей только наличием основной (несущей гармоники), которая и определяет потери в энергии.

### 3.2.2. Однополосная модуляция

Рассмотренная в предыдущем разделе двухполосная АМ с подавленной несущей имеет преимущества перед обычной АМ только в энергетическом смысле — за счет устранения несущего колебания. Ширина же спектра при этом остается равной удвоенной частоте модулирующего сигнала. Однако можно легко заметить, что спектры двух боковых полос АМ-сигнала являются зеркальным отражением друг друга, то есть они несут одну и ту же информацию. Поэтому одну из боковых полос можно удалить. Получающаяся модуляция называется однополосной (английский термин — single side band, SSB). В зависимости от того, какая боковая полоса сохраняется, говорят об однополосной модуляции с использованием верхней или нижней боковой полосы. Формирование однополосного сигнала проще всего пояснить, приведя несколько спектральных графиков:

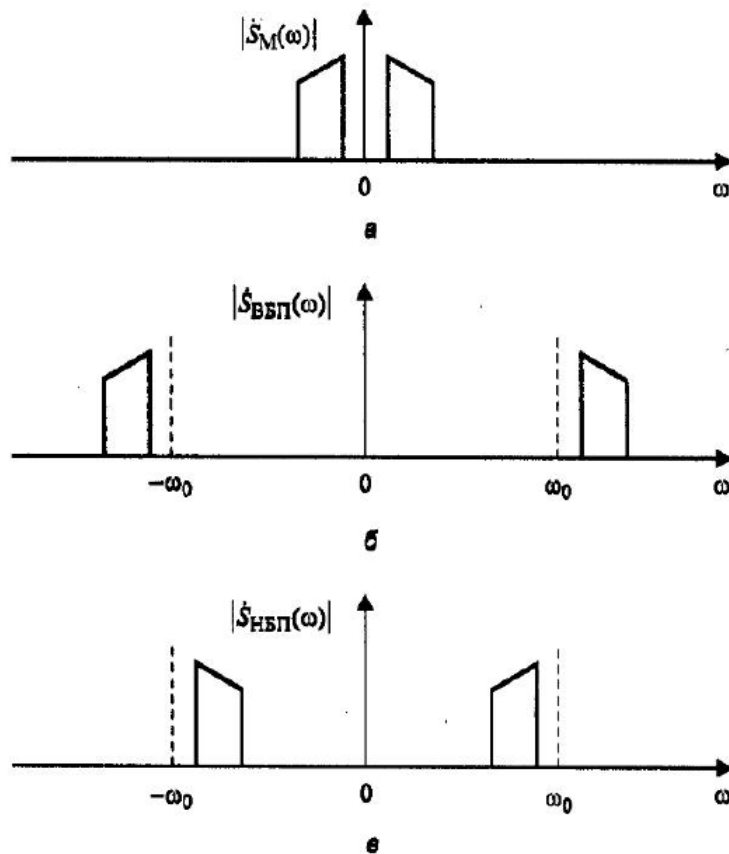


Рисунок 3.2. Однополосная модуляция: а - спектр модулирующего сигнала, б - спектр однополосного сигнала с верхней боковой полосой, в - то же с нижней боковой полосой

По сути дела, при однополосной модуляции происходит просто сдвиг спектра сигнала в окрестности частоты несущего колебания. В отличие от АМ каждая «половинка» спектра смещается в своем направлении: область положительных частот — к  $\omega_0$ , а область отрицательных частот — к  $-\omega_0$ . Очевидно, что ширина спектра однополосного сигнала равна ширине спектра модулирующего сигнала. Таким образом, спектр однополосного сигнала оказывается в два раза уже, чем при обычной АМ.

### 3.2.3. Демодуляция с помощью синхронного детектирования

При синхронном детектировании модулированный сигнал умножается на опорное колебание с частотой несущего колебания:

$$y(t) = U(t)\cos(\omega_0 t)\cos(\omega_0 t) = \frac{U(t)}{2}(1 + \cos(2\omega_0 t)) \quad (3)$$

Сигнал разделяется на два слагаемых, первое из которых повторяет исходный модулирующий сигнал, а второе повторяет модулированный сигнал на удвоенной несущей частоте  $2\omega_0$ .

Амплитудный спектр сигналов после демодуляции однозначно соотносится со спектром входного модулированного сигнала: амплитуды гармоник модулированного сигнала на частоте  $2\omega_0$  в два раза меньше амплитуд входного сигнала, постоянная составляющая равна амплитуде несущей частоты  $\omega_0$  и не зависит от глубины модуляции, амплитуда информационного демодулированного сигнала в два раза меньше амплитуды исходного модулирующего сигнала.

Особенностью синхронного детектирования является независимость от глубины модуляции, т.е. коэффициент модуляции сигнала может быть больше единицы. При синхронном детектировании требуется точное совпадение фаз и частот опорного колебания демодулятора и несущей гармоники АМ сигнала.

### 3.2.4. КПД модуляции

КПД амплитудной модуляции зависит от коэффициента модуляции и может быть рассчитано по следующей формуле:

$$\eta(t) = \frac{U_m^2(t)M^2}{4P_U} = \frac{M^2}{2 + M^2} \quad (4)$$

## 4. Ход работы

### 4.1. Модуляция однотонового сигнала

Зададим параметры несущего колебания и модулируемого однотонового сигнала. С помощью функций встроенного пакета Communications, проведем амплитудную модуляцию и построим спектры. Данную последовательность операций повторим для разных значений параметра  $m$  - коэффициента модуляции.

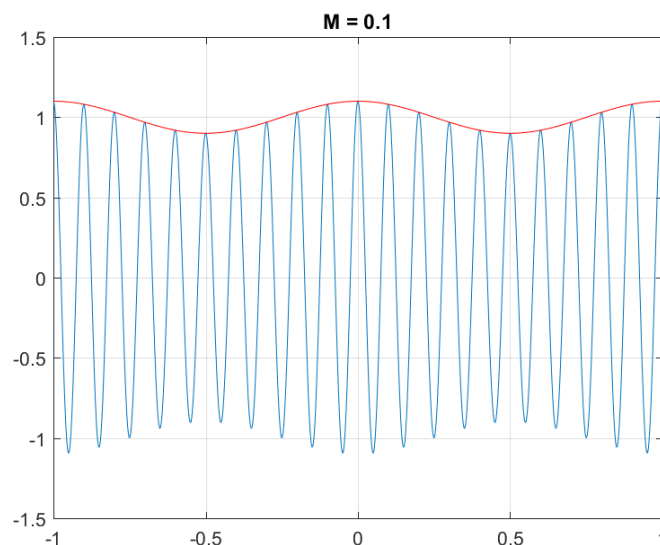


Рисунок 4.1. Результат АМ для  $m = 0.1$

При данном коэффициенте модуляции, очевидно, что амплитудная модуляция не соответствует однотоновому сигналу.

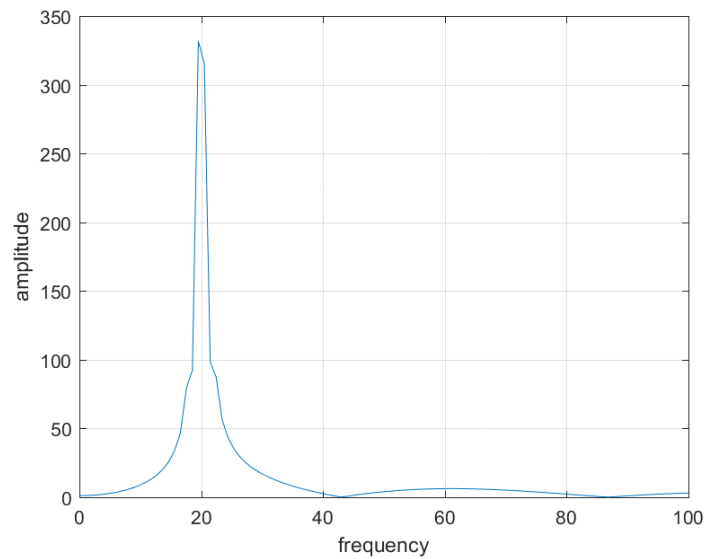


Рисунок 4.2. Амплитудный спектр для  $m = 0.1$

Положив  $m = 0.6$ , получаем достаточно неплохую модуляцию.

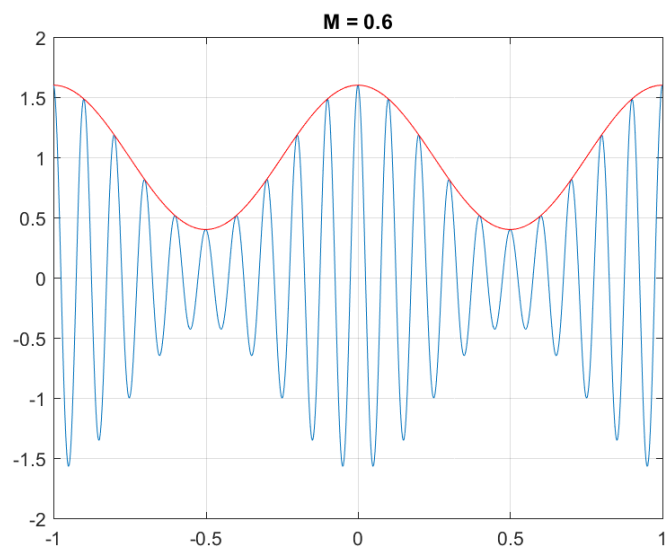


Рисунок 4.3. Результат АМ для  $m = 0.6$

Также на спектре явно видна несущая гармоника и 2 информационных гармоника.

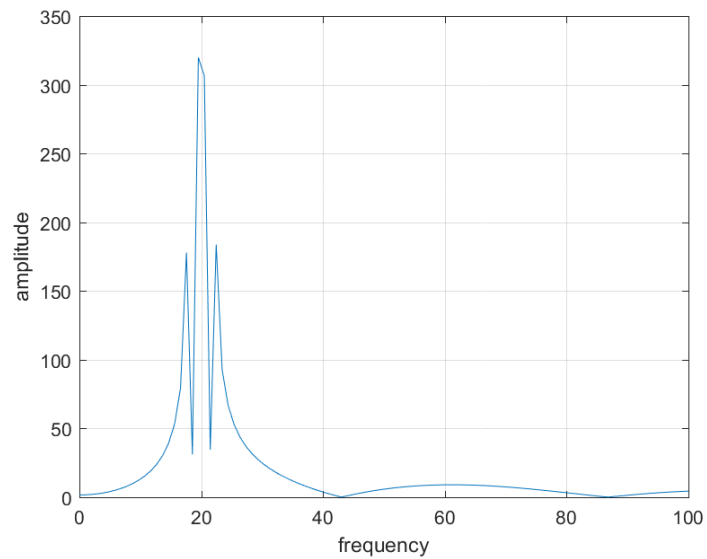


Рисунок 4.4. Амплитудный спектр для  $m = 0.6$

Положив  $m = 1.1$ , получаем модуляцию, соответствующей однотоновому сигналу, но вместе с этим небольшая перемодуляция которую можно обнаружить в минимуме нашей амплитудной огибающей.

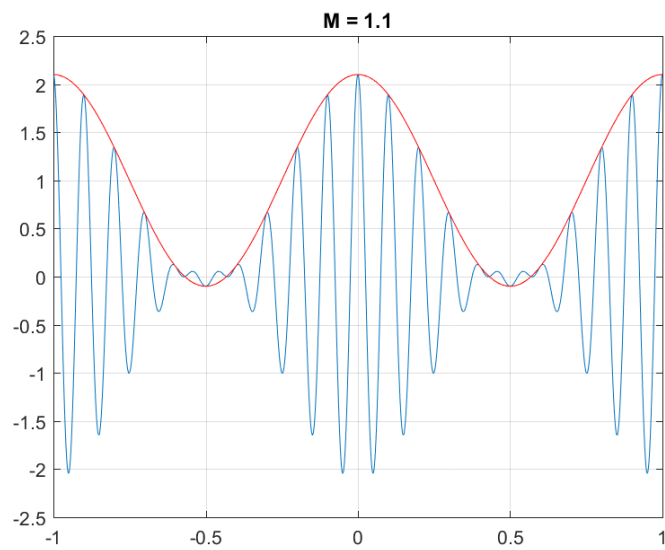


Рисунок 4.5. Результат АМ для  $m = 1.1$



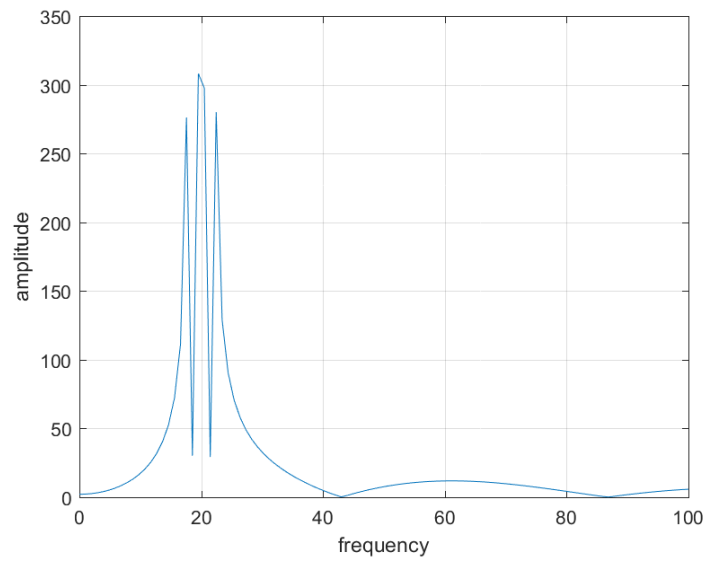


Рисунок 4.6. Амплитудный спектр для  $m = 1.1$

Далее при увеличении коэффициента модуляции, прекрасно видно явление перемодуляции, причем как по огибающей, так и по спектрам.

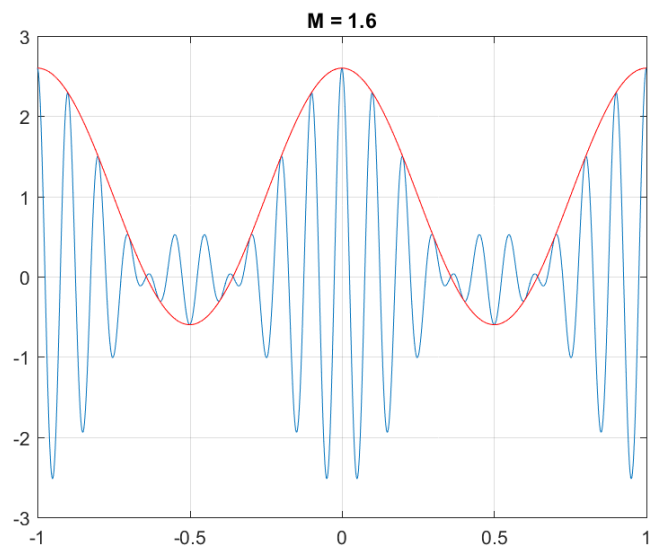


Рисунок 4.7. Результат АМ для  $m = 1.6$

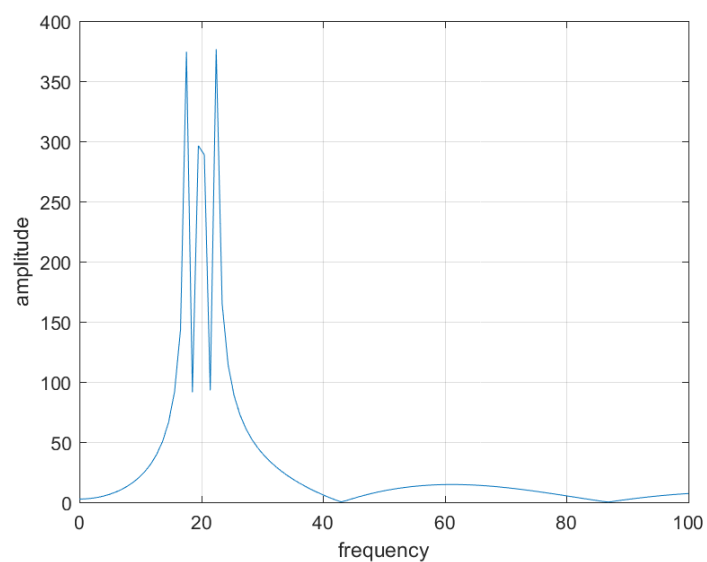


Рисунок 4.8. Амплитудный спектр для  $m = 1.6$

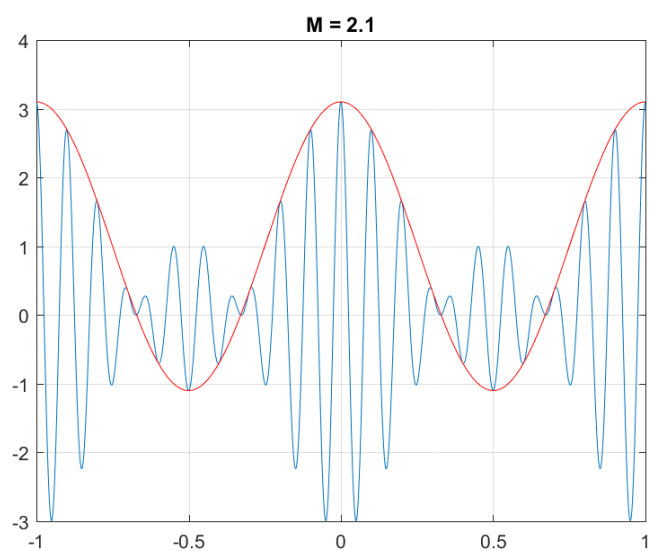


Рисунок 4.9. Результат АМ для  $m = 2.1$

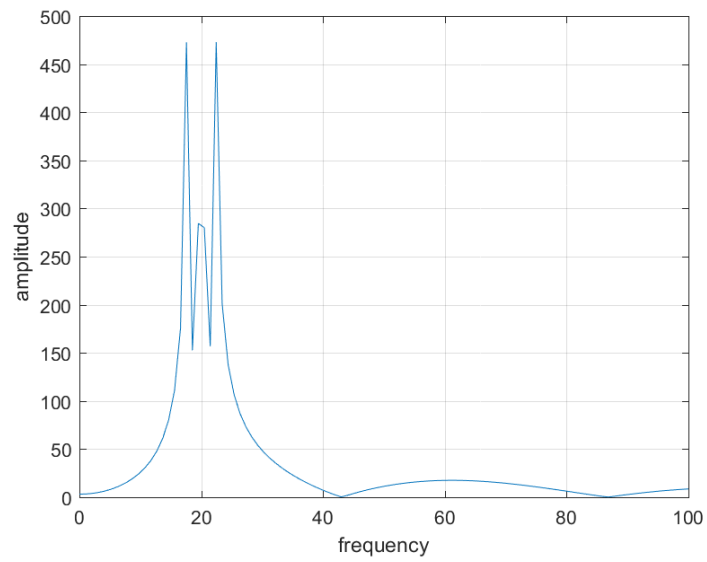


Рисунок 4.10. Амплитудный спектр для  $m = 2.1$

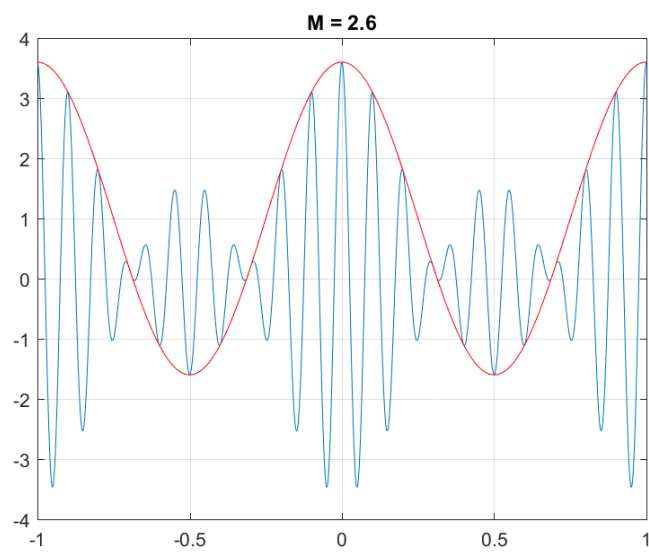


Рисунок 4.11. Результат АМ для  $m = 2.6$

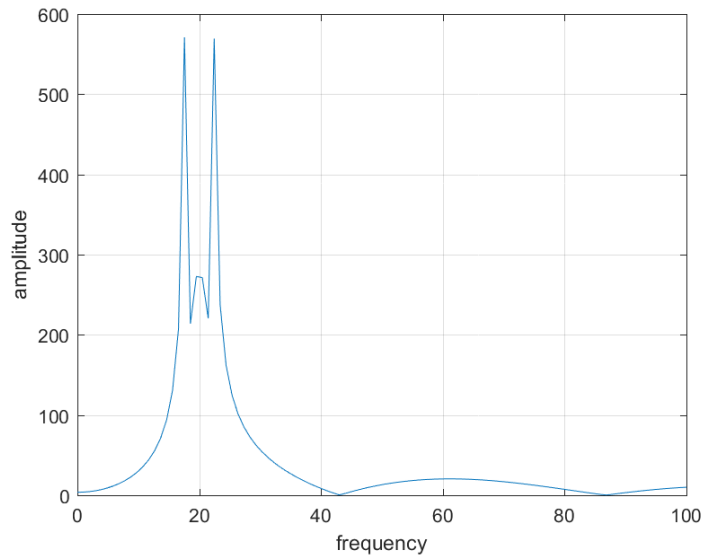


Рисунок 4.12. Амплитудный спектр для  $m = 2.6$

В ходе проведения данной части работы, мы экспериментально подтвердили, что коэффициент модуляции является важным параметром модуляции сигнала. Также путем эксперимента выяснили, что наилучшее качество модуляции получается при  $0.5 < m < 1$ .

## 4.2. КПД АМ для однотонового канала

Также мы рассчитаем КПД амплитудной модуляции

```
m = 0.1 kpd = 0.00497512
m = 0.6 kpd = 0.152542
m = 1.1 kpd = 0.376947
m = 1.6 kpd = 0.561404
m = 2.1 kpd = 0.687988
m = 2.6 kpd = 0.771689
```

Рисунок 4.13. Расчет КПД

Проанализировав полученные значения, можно сделать вывод, что КПД при самых эффективных значениях коэффициента  $m$  находится в промежутке  $0.15 < \nu < 0.37$ . Теория подтверждает, что обычная амплитудная модуляция имеет очень низкий коэффициент полезного действия.

## 4.3. Модуляция с подавлением несущей

Далее проведем модуляцию с подавлением несущей. Проделаем это также с помощью функций встроенного пакета Communications в Matlab.

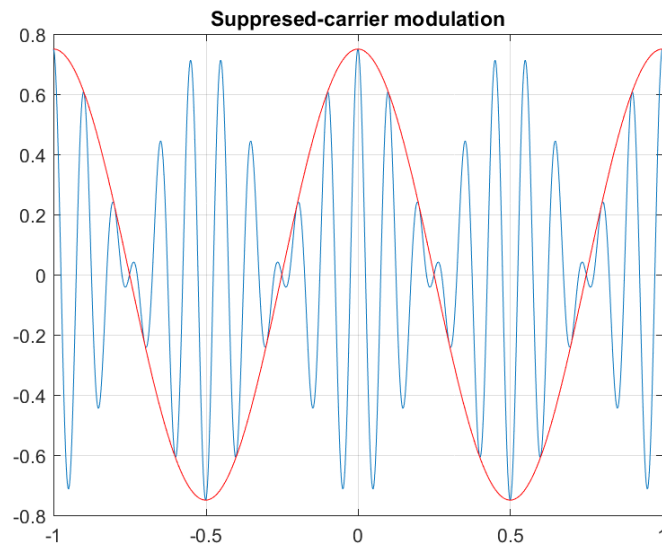


Рисунок 4.14. Модулированный сигнал с подавлением несущей

Также построим спектр модулированного сигнала.

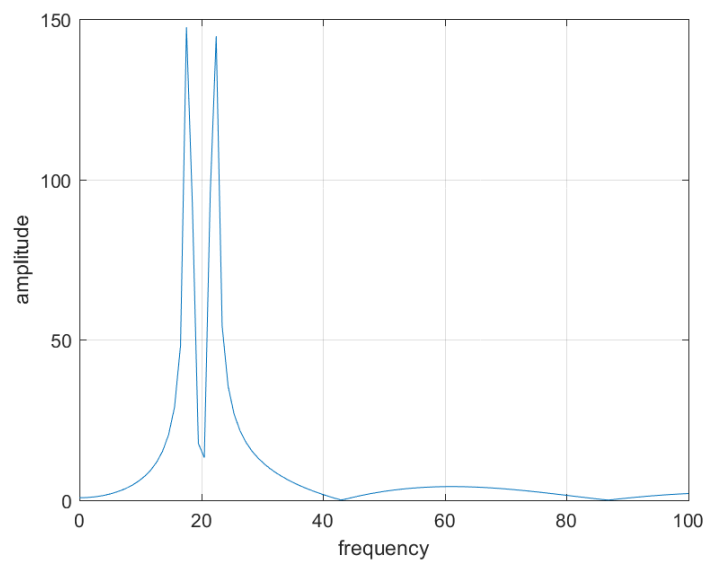


Рисунок 4.15. Амплитудный спектр

Из графика спектра становится понятно, почему модуляция с подавлением несущей. Также следует отметить, что за счет подавления несущей мы повышаем КПД.

#### 4.4. Однополосная модуляция

Далее проведем однополосную модуляцию в соответствии с теорией. Получим модулируемый сигнал.

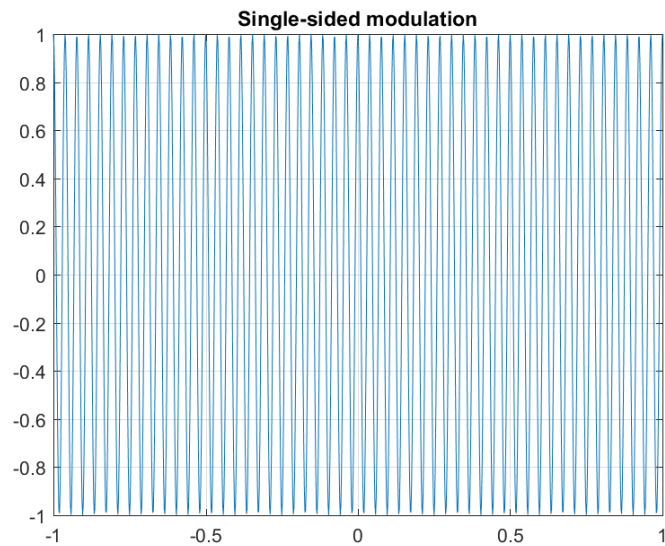


Рисунок 4.16. Однополосная модуляция

Далее вручную реализуем алгоритм демодуляции:

- домножаем на опорное колебание
- проводим фильтрацию с помощью низкочастотного фильтра, в нашем случае Баттерворта
- получаем искомый информационный сигнал.

В результате получаем, почти полное совпадение демодулированного сигнала(синий) с моделирующим(красный).

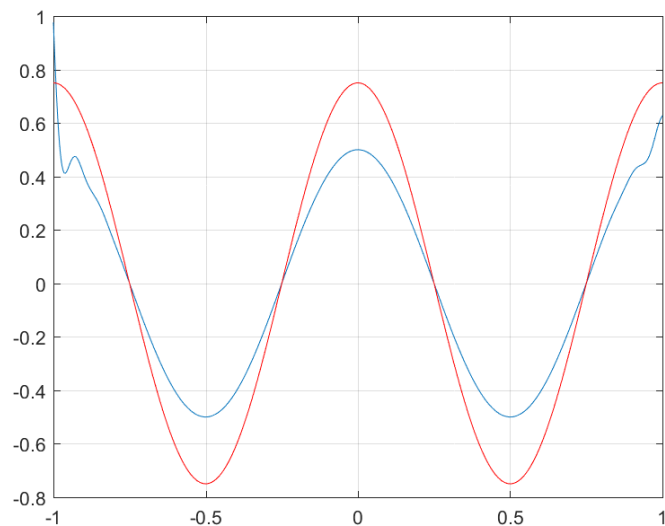


Рисунок 4.17. Амплитудный спектр

## 5. Выводы

В ходе проделанной работы мы познакомились с одним из типов аналоговой модуляцией - амплитудной. Нам удалось разобраться в алгоритмах модуляции и демодуляции, и даже самим реализовать их в Matlab с помощью пакета Communications. Также мы узнали о различных типах аналоговой модуляции:

- обычная амплитудная модуляция(amplitude modulation)
- амплитудная модуляция с подавлением несущей (suppressed-carrier modulation)
- однополосная модуляция(single side band modulation).

Нам удалось на качественном уровне разобраться с процессом работы каждого из типов. Также мы смогли вычислить КПД обычной модуляции на примере модуляции однотонового сигнала. В результате чего, мы экспериментально подтвердили, что значения КПД при данном виде модуляции достаточно низки.