

Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого  
Институт компьютерных наук и технологий  
Кафедра компьютерных систем и программных технологий

**Отчёт по лабораторной работе**

**Дисциплина:** Телекоммуникационные технологии

**Тема:** Аналоговая модуляция

Выполнил студент группы 33501/4

\_\_\_\_\_  
(подпись) Покатило П.А.

Преподаватель

\_\_\_\_\_  
(подпись) Богач Н.В.

Санкт-Петербург  
2017

# Содержание

<b>1</b>	<b>Цель работы</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Постановка задачи</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Теоретические положения</b>	<b>2</b>
3.1	Амплитудная модуляция . . . . .	2
3.2	Спектр сигналов с амплитудной модуляцией . . . . .	3
3.3	Амплитудная модуляция с подавленной несущей . . . . .	3
3.4	Однополосная модуляция . . . . .	3
3.5	КПД модуляции . . . . .	3
<b>4</b>	<b>Ход работы</b>	<b>4</b>
4.1	Однотональный сигнал низкой частоты . . . . .	4
4.2	Модуляция с подавлением несущей . . . . .	5
4.3	Детектирование . . . . .	6
<b>5</b>	<b>Выводы</b>	<b>6</b>

# 1 Цель работы

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.

## 2 Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
2. Выполнить амплитудную модуляцию (АМ) сигнала по закону  $u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$  для различных значений глубины модуляции  $M$ . Использовать встроенную функцию MatLab `ammod`
3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей

$u(t) = MU_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$ . Получить спектр.

5. Выполнить однополосную модуляцию:  
 $u(t) = U_m \cos(\Omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$ , где  $n = 1$
6. Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
7. Рассчитать КПД модуляции по формуле:

$$\eta_A M = \frac{U_m^2 \frac{M^2}{4}}{P_u} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

## 3 Теоретические положения

Сигналы от любых источников информации передаются по линиям связи к приемникам, например, в измерительно-вычислительные системы регистрации и обработки данных. Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра, тогда как методы передачи сигналов рассчитаны на работу с высокочастотным сигналом. Существуют разные виды модуляций, которые описаны ниже.

### 3.1 Амплитудная модуляция

При амплитудной модуляции (АМ) в соответствии с модулирующим сигналом изменяется амплитуда несущего колебания:

$$s_{AM}(t) = (A_0 + k s_M(t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0).$$

Постоянная составляющая  $A_0$  добавляется к модулирующему сигналу для того, чтобы обеспечить неотрицательность амплитуды. Множитель  $k$  - коэффициент пропорциональности между модулирующим сигналом и вариациями амплитуды. Таким образом, огибающая АМ-сигнала имеет вид:

$$A(t) = A_0 + k s_M(t).$$

Применяется в основном только для радиовещания на сравнительно низких частотах (не выше коротких волн) и для передачи изображения в телевизионном вещании. Это вызвано низким КПД использования энергии модулированных сигналов.

Отношение между амплитудами модулирующего сигнала  $A_M$  и несущего колебания  $A_0$  называется коэффициентом модуляции или глубиной модуляции:

$$m = \frac{A_M}{A_0}$$

При глубине модуляции от 0 до 1 амплитуда несущего колебания совпадает с  $A(t)$ , однако при  $m > 1$  наблюдается перемодуляция.

### 3.2 Спектр сигналов с амплитудной модуляцией

При амплитудной модуляции спектр огибающей  $S_A$  сдвигается в область несущей частоты  $\pm\omega_0$ , "раздвигаясь" и уменьшаясь в два раза по уровню:

$$S_{AM}(\omega) = \frac{1}{2}e^{j\phi_0}S_A(\omega + \omega_0) + \frac{1}{2}e^{-j\phi_0}S_A(\omega - \omega_0)$$

По этой причине ширина спектра АМ-сигнала оказывается в два раза больше, чем у модулирующего сигнала.

### 3.3 Амплитудная модуляция с подавленной несущей

Основная доля мощности АМ-сигнала приходится на несущую частоту. При балансной модуляции (или АМ с подавлением несущей частоты (АМ- ПН)) производится перемножение двух сигналов – модулирующего и несущего, при котором происходит подавление несущего колебания, соответственно, КПД модуляции становится равным 100%. Для повышения КПД амплитудной модуляции можно удалить (не добавлять) бесполезное несущее колебание.

$$s(t) = s_M(t)\cos(\omega_0 t + \phi_0)$$

Энергетический выигрыш очень большой. Ширина спектра такая же, как и в случае обычной АМ, т. к. подавлена средняя частота, а боковые частоты остались на месте. Физическая сущность подавления несущей частоты заключается в следующем. При переходе огибающей биений  $U(t)$  через нуль фаза несущей частоты скачком изменяется на 180 градусов, поскольку функция косинуса огибающей имеет разные знаки слева и справа от нуля. При этом в достаточно высокочастотной системе (с малыми потерями энергии), настроенной на частоту  $\omega_0$ , колебания, возбужденные одним периодом биений, будут гаситься последующим периодом.

### 3.4 Однополосная модуляция

Сигнал с однополосной модуляцией получают из спектра сигнала с АМ, подавляя сигнал несущей частоты и одну из боковых полос. Для передачи несущей частоты обычного радиосигнала с АМ используется большая часть мощности передающей аппаратуры (более 90 %), поэтому отсутствие в сигнале АМсОБП сигнала несущей частоты, а также одной из боковых полос дает возможность использовать всю мощность передающей аппаратуры для передачи только полезного сигнала.

При идентичности информации в группах верхних и нижних боковых частот нет необходимости в их одновременной передаче. Одна из них перед подачей сигнала в канал связи может быть удалена, чем достигается двукратное сокращение полосы занимаемых сигналом частот. Уравнение сигнала с одной боковой полосой (ОБП – сигнал, single side band – SSB) может быть получено непосредственно из формулы обобщенного уравнения амплитудно-модулированного сигнала и его физического спектра. Для верхней или нижней боковой полосы имеем:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n)$$

### 3.5 КПД модуляции

Коэффициент полезного действия (КПД) амплитудной модуляции определяется как отношение мощности боковых частот к общей средней мощности:

$$\eta_A M = \frac{U_m^2 \frac{M^2}{4}}{P_u} = \frac{M^2}{M^2 + 2}$$

Как видно из этой формулы, даже при максимальном коэффициенте модуляции КПД составляет лишь 33 %, т. е., две трети мощности тратится на передачу бесполезной в информационном отношении несущей.

## 4 Ход работы

### 4.1 Однотональный сигнал низкой частоты

Сгенерируем однотональный сигнал низкой частоты и выполним модуляцию различной глубины:

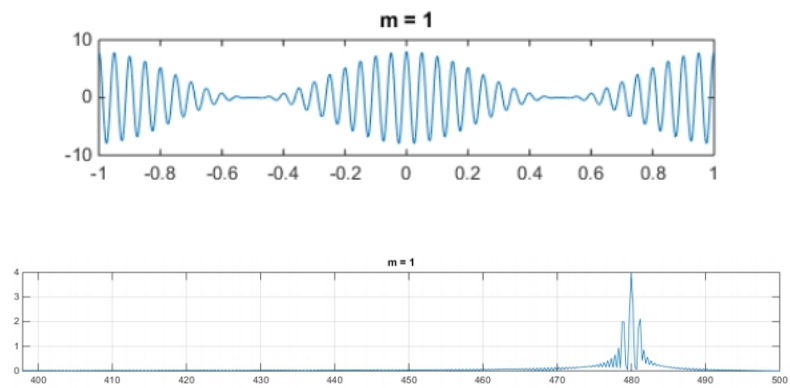


Рис. 1: Амплитудная модуляция и спектр АМ сигнала при  $m=1$

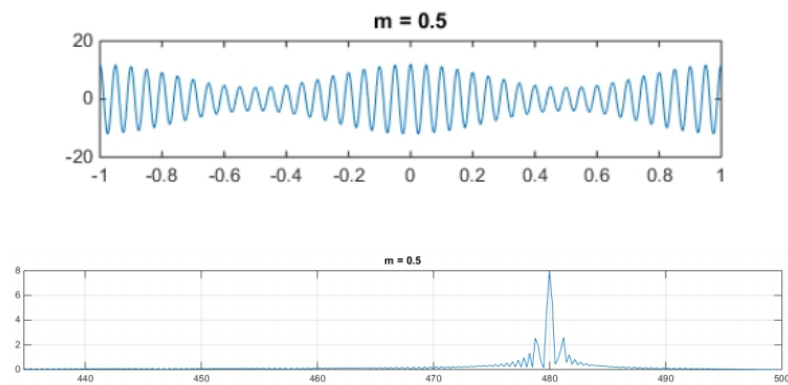


Рис. 2: Амплитудная модуляция и спектр АМ сигнала при  $m=0.5$

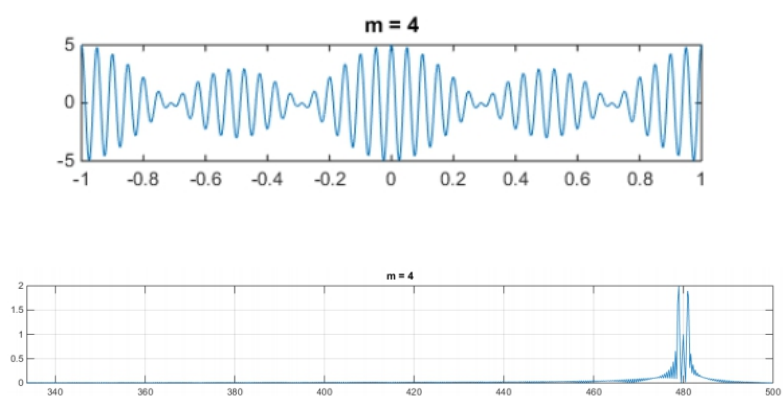


Рис. 3: Амплитудная модуляция и спектр АМ сигнала при  $m=4$

## 4.2 Модуляция с подавлением несущей

```
y4 = ammod(x, Fc, Fs);  
figure;  
plot(t,y4)  
title('Modulaton');  
Spectr2(t,y4);
```

Листинг 1: Код MATLAB для модуляции с подавлением несущей

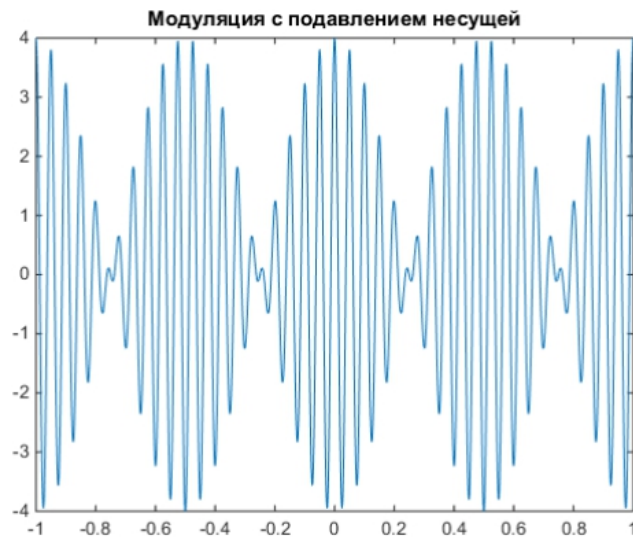


Рис. 4: Сигнал с подавлением несущей

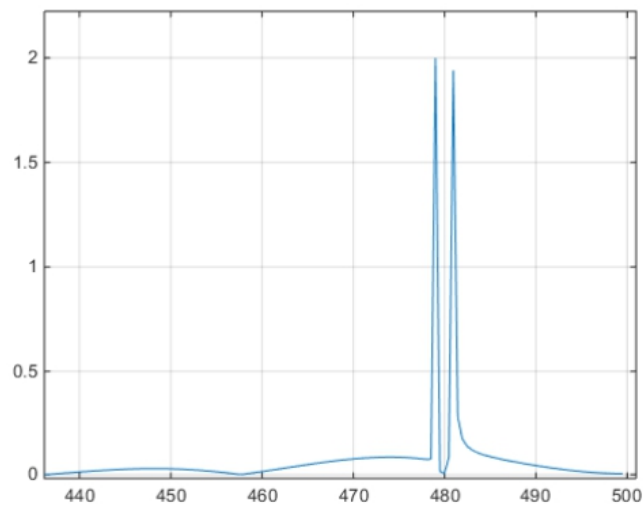


Рис. 5: Спектр АМ сигнала с подавленной несущей

### 4.3 Детектирование

```
sig = y5 .* cos(2*pi*Fc*t);  
figure;  
plot(t, sig);  
[b, a] = butter (6, Fc/Fs*2);  
sig_filt= filtfilt(b,a,q);  
figure;  
plot(t, sig_filt);
```

Листинг 2: Код MATLAB для модуляции с подавлением несущей

Результат представлен на рисунке 7.

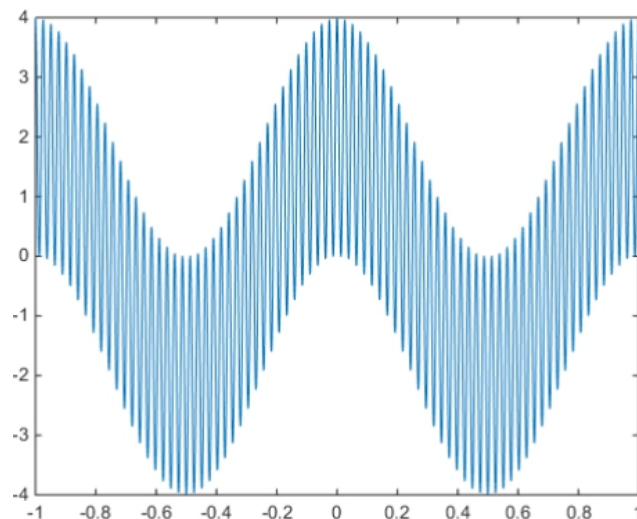


Рис. 6: АМ-сигнал

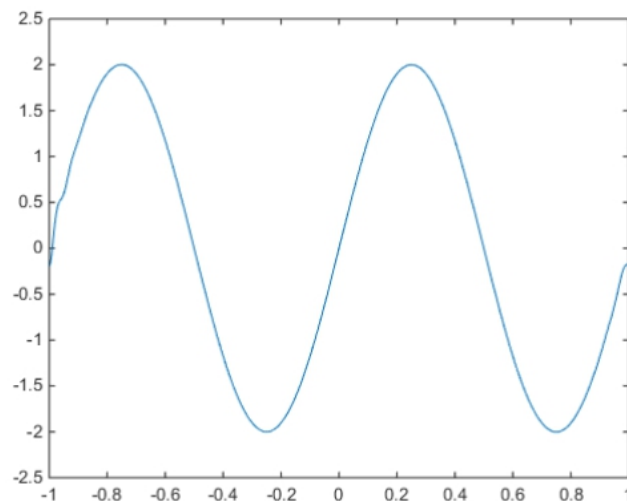


Рис. 7: Отфильтрованный сигнал

## 5 Выводы

Амплитудная модуляция была первым видом модуляции, освоенным на практике, она позволяет достаточно точно передать информационный сигнал. В настоящее время практически не применяется в силу низкой помехоустойчивости. Уровень КПД низок, потому что амплитуда подвержена искажениям больше чем другие параметры гармонического сигнала. Существует такое понятие как "перемодуляция означающая избыток модуляции. А таких случаях имеет смысл менять значения амплитуды несущей частоты.