

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

**Отчет по Лабораторной работе 4**  
**Дисциплина:** Телекоммуникационные технологии  
**Тема:** Аналоговая модуляция

Выполнил студент гр. 33501/1

\_\_\_\_\_ Поляков К.О  
(подпись)

Преподаватель

\_\_\_\_\_ Богач Н.В.  
(подпись)

“\_\_\_” \_\_\_\_\_ 2017 г.

Санкт-Петербург  
2017 г.

# Оглавление

## Лабораторная работа №4

	Аналоговая модуляция . . . . .	3
1	Цель работы . . . . .	3
2	Постановка задачи . . . . .	3
3	Теоретические положения . . . . .	3
	3.1 Амплитудная модуляция . . . . .	3
	3.2 Демодуляция . . . . .	4
4	Ход работы . . . . .	5
	4.1 Однотональный сигнал низкой частоты . . . . .	5
	4.2 Модуляция с подавлением несущей . . . . .	7
	4.3 Синхронное детектирование и получение исходного однополосного сигнала . . . . .	7
	4.4 Вычисление КПД модуляции . . . . .	8
5	Выводы . . . . .	8

# Лабораторная работа №4

## Аналоговая модуляция

### 1 Цель работы

Изучение амплитудной модуляции/демодуляции сигнала.

### 2 Постановка задачи

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

### 3 Теоретические положения

#### 3.1 Амплитудная модуляция

Модуляцией (**modulation**) может быть назван процесс наложения информации, которая имеет вид **сигнала сообщения**, или **информационного сигнала (message signal)**,  $m(t)$ , на другой сигнал с более высокой частотой, которая называется **несущей (carrier)**. Основным назначением модуляции является преобразование или перенос сигнала из области низких частот в область более высоких для передачи с помощью радиосвязи или многоканальных кабельных линий. Последние могут иметь металлическое или оптоволоконное исполнение, каждый канал в них работает в заданной полосе частот, и для исключения взаимных помех полосы каналов не должны перекрываться. Сигнал несущей частоты – в предположении, что он синусоидальный, – может быть представлен в виде гармонического колебания:

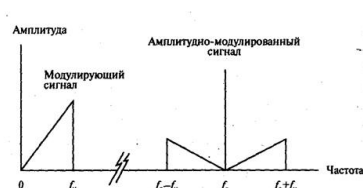
$$y(t) = A \sin(\omega t + \phi_0)$$

где  $\omega$  – угловая частота;  $\phi$  – произвольная начальная фаза. При **амплитудной модуляции (amplitude modulation – АМ)** амплитуда  $A$  модулируется (изменяется) в соответствии с передаваемым низкочастотным (модулирующим) сигналом. При амплитудной модуляции закодированный сигнал имеет вид:

$$S_{AM}(t) = (A_0 + kS_M(t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0)$$

где  $\omega(t)$  представляет собой угол и является функцией времени. Смещение  $A_0$  нужно, чтобы модулированный сигнал стал однополярным, иначе его амплитудная огибающая будет соответствовать не исходному сигналу, а его модулю.

На практике модулирующий сигнал, как правило, представляет собой достаточно сложную функцию и, следовательно, содержит диапазон частот, которые называют общим термином “**полоса частот (band)**”. В этой частоте и содержится исходная информация. Принято показывать, что амплитудно-модулированный сигнал включает в себя **модулирующий сигнал (baseband signal)**, как сделано ниже на рисунке. Наивысшая частота  $f_B$  называется частотой среза информационного сигнала.



Можно видеть, что полоса частот амплитудно-модулированного сигнала в два раза шире, чем полоса частот самого модулирующего сигнала. Для того чтобы избежать наложения спектров, необходимо, чтобы информационный сигнал, который накладывается на несущую, лежал в области значительно более низких частот, чем частота несущей. Из рисунка можно заключить, что для полного исключения возможного наложения положительных и отрицательных частот необходимо выполнить условие  $\omega_n \gg 2\omega_m$

При амплитудной модуляции гармонического сигнала вводится понятие глубины модуляции:

$$M = \frac{A_m}{A_0}$$

Глубина модуляции влияет на КПД передачи информации и на возможные методы демодуляции сигнала. Рост  $M$  увеличивает эффективность передачи сигнала с точки зрения энергии, но демодуляция сигнала с  $M > 1$  (явление перемодуляции) некоторыми методами становится невозможной из-за искажения комплексной огибающей сигнала.

### 3.2 Демодуляция

Демодуляция сигнала возможна несколькими способами. Первый способ - вычисление амплитуды сигнала в каждой точке "в лоб" с последующей фильтрацией фильтром нижних частот. Данный метод применим при неискаженной форме комплексной огибающей и не будет работать при перемодуляции.

Второй способ - домножение модулированного сигнала на гармоническое колебание с частотой несущей. Используя тригонометрические преобразования, можно привести результат этого действия к следующему виду:

$$y(t) = S_{AM}(t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) = A(t) \cos^2(\omega_0 t + \phi_0) = \frac{1}{2} A(t) + \frac{1}{2} A(t) \cos(2\omega_0 t + 2\phi_0)$$

Если убрать с помощью фильтра нижних частот ненужный сигнал на частоте, равной удвоенной частоте несущей, получим демодулированный сигнал. Для данного метода фазно совпадение домножаемого сигнала с несущим по частоте и фазе. На практике для этого используют ФАПЧ. Важно то, что для данного способа не обязательно знакопостоянство модулированной функции, поэтому данный способ можно использовать при перемодуляции.

Амплитудная модуляция в базовом виде используется редко по двум причинам: во-первых, ширина спектра модулированного сигнала равна удвоенной ширине спектра исходного сигнала; во-вторых, КПД передачи не превышает 33%.

Поэтому существует несколько разновидностей амплитудной модуляции. Первая из них - АМ с подавлением несущей.

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

В данном методе нет постоянной составляющей амплитуды, благодаря этому КПД возрастает до 100%. Однако данный метод мало применим из-за сложности демодуляции. Т.к.  $M > 1$ , возможно применение только синхронного метода демодуляции с домножением на несущую частоту, но из-за ее отсутствия в спектре совпадение по фазе и частоте затруднительно и результаты демодулирования могут быть плохими. Поэтому часто используют модуляцию с неполным удалением несущей, используемой для синхронизации. При этом КПД уменьшается незначительно. Но стоит сказать, что на ширину спектра данный способ никак не влияет.

Вторая модификация основана на том, что боковые полосы в спектре модулированного сигнала симметричны. Это позволяет полностью убрать одну из них при модуляции и тем самым сузить спектр сигнала в 2 раза.

$$s_{SBB}(t) = x(t) \cos(\omega_0 t) + x_{\perp}(t) \sin(\omega_0 t)$$

Для дополнительного сужения спектра возможен полный отказ от несущей. Но как и в первом случае, могут возникать частотные и фазовые искажения. Опасность помех, а значит, и допустимость применения данного способа, определяется спецификой задачи.

## 4 Ход работы

### 4.1 Однотональный сигнал низкой частоты

Сгенерируем однотональный гармонический сигнал

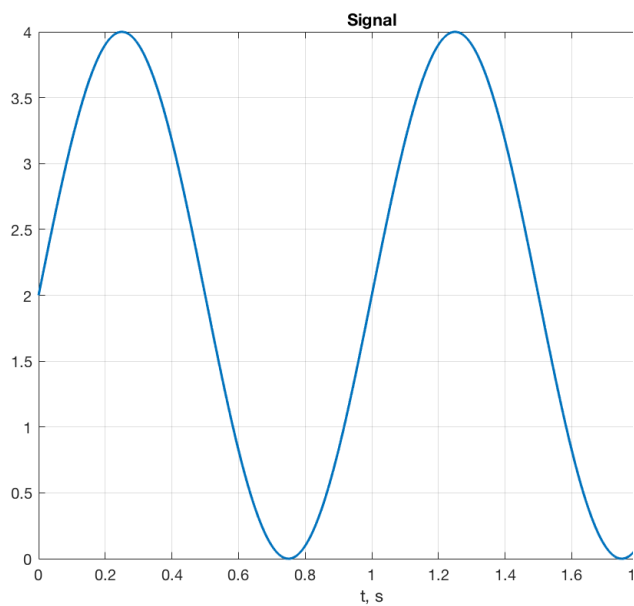


Рис. 1: Сигнал

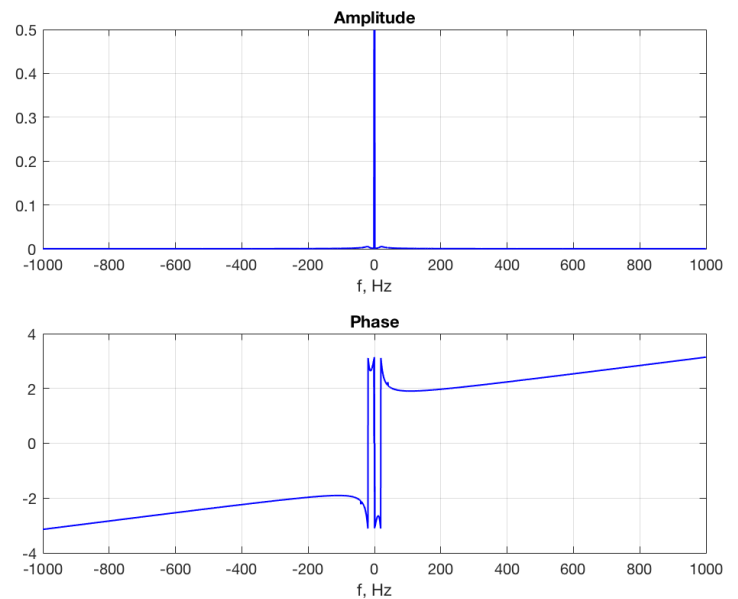
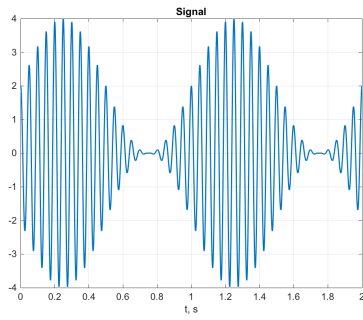


Рис. 2: Спектры сигнала

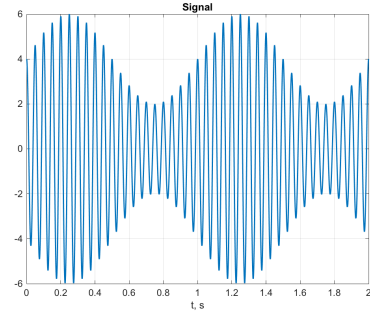
Произведём модуляцию для разных значений глубины модуляции:

Листинг 1: Амплитудная модуляция

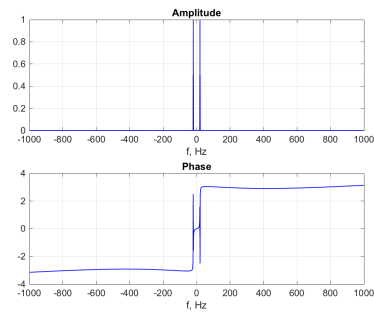
```
1  Fs = 2000; % discretisation freq
2  t = 0 : 1/Fs: 2; %time line
3  Fc = 20; % carrier freq
4  s = k + A * sin(2*F*pi*t); % sinusoidal signal
5  m = [0.25 0.5 1 4]; % modulation depth
6  A = 4; %% Amplitude
7  n1 = (m^2/(m^2+2))*100; F = 1; k = 1;
8  x=ammod(s,Fc,Fs);
```



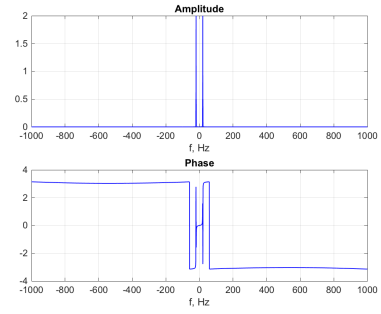
(a) Сигнал с  $m = 1$



(b) Сигнал с  $m = 1/2$

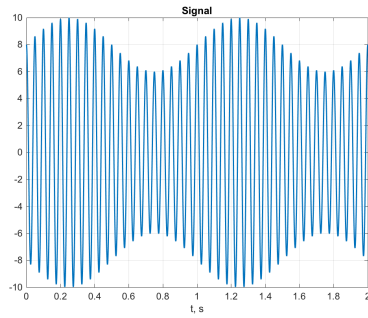


(c) Спектры сигнала

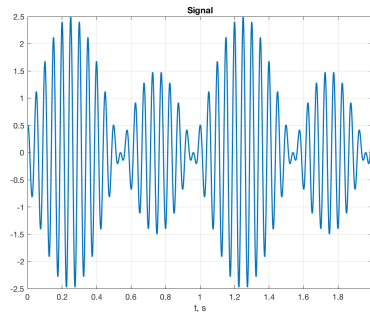


(d) Спектры сигнала

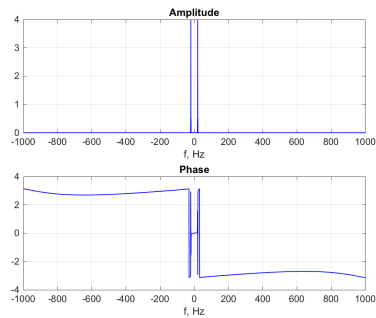
Рис. 3: Модуляция сигнала с разной глубиной



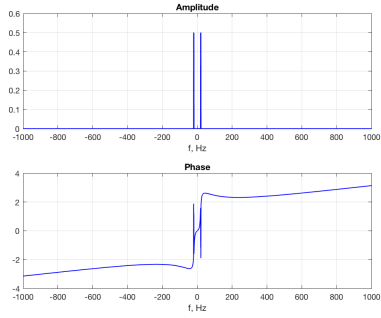
(a) Сигнал с  $m = 1/4$



(b) Сигнал с  $m = 4/1$



(c) Спектры сигнала



(d) Спектры сигнала

Рис. 4: Модуляция сигнала с разной глубиной

## 4.2 Модуляция с подавлением несущей

Листинг 2: Модуляция с подавлением несущей

```
1 y=ammod(s,Fc,Fs);
```

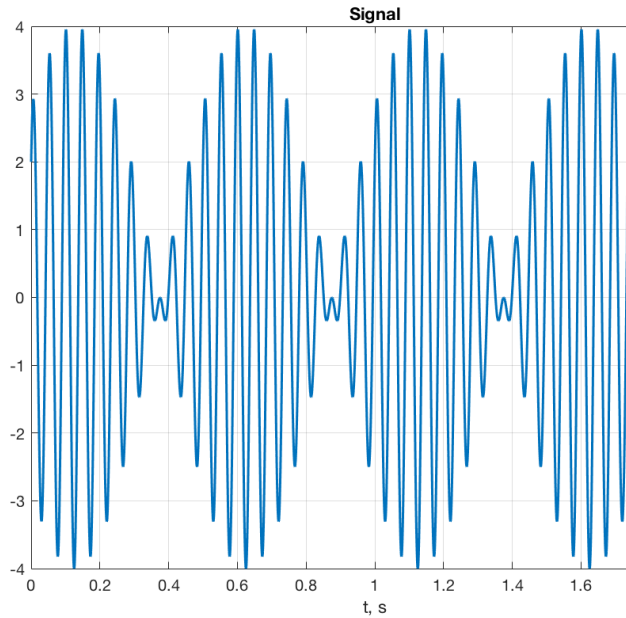


Рис. 5: Модулированный сигнал

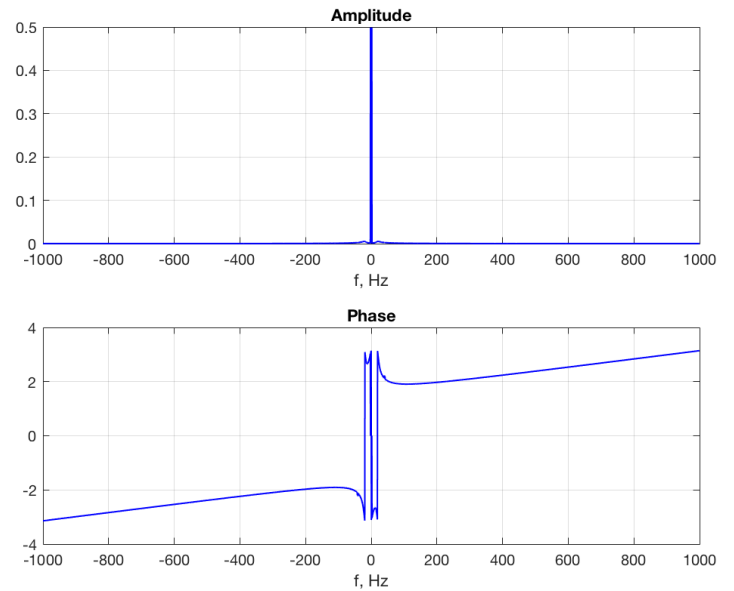
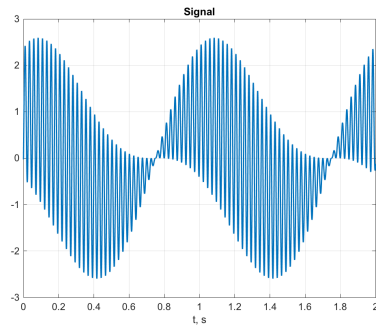


Рис. 6: Спектры сигнала

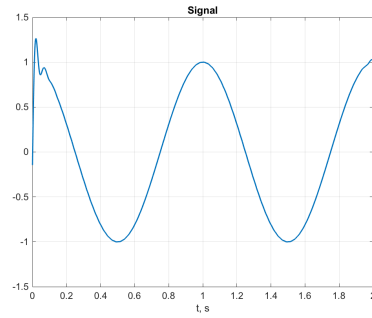
## 4.3 Синхронное детектирование и получение исходного однополосного сигнала

Листинг 3: Модуляция с подавлением верхней частоты

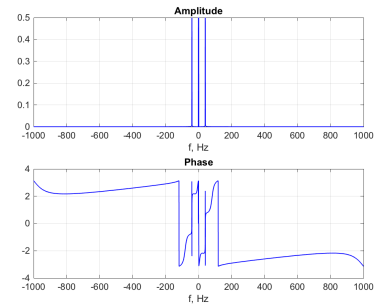
```
1 z=ssbmod(s,Fc,Fs,0,'upper');  
2 q = z.*sin(2*pi*Fc*t);  
3 [b,a]=butter(5,Fc/Fs*2);  
4 q_filt= filtfilt(b,a,q);
```



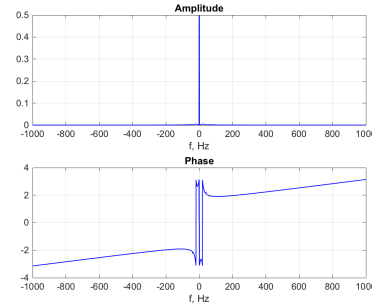
(a) Демодулированный сигнал



(b) Сигнал после фильтрации



(c) Спектры сигнала



(d) Спектры сигнала

Рис. 7: Модуляция сигнала с разной глубиной

#### 4.4 Вычисление КПД модуляции

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

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

Для каждого проделанного типа однотоновой модуляции рассчитаем его КПД:

1.  $m = 1 \Rightarrow n = 33\%$ ;
2.  $m = 0.5 \Rightarrow n = 11\%$ ;
3.  $m = 4 \Rightarrow n = 88\%$ .

## 5 Выводы

Амплитудная модуляция позволяет достаточно точно передать информационный сигнал с помощью высокочастотного сигнала, но обладает двумя недостатками:

1. Повышенные требования к затуханию сигнала в канале связи.
2. Низкий КПД передачи

Для избавления от этих недостатков существуют надстройки над модуляцией - передача с подавлением несущей и односторонняя амплитудная модуляция. Но из-за низкого КПД в практической области амплитудная модуляция практически не используется, за исключением радиовещания на низких частотах. Также при модуляции может возникнуть перемодуляция - эффект избыточности. Корректирование амплитуду несущей частоты позволяет не допустить такого эффекта.