

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

Лабораторная работа №4 и №5
по теме
"Аналоговая, частотная и фазовая модуляции"

Выполнил студент группы 33501/3
_____ Кисличенко Б. Д

Руководитель
_____ Богач Н. В

1 Цель

Изучение амплитудной, частотной и фазовой модуляции/демодуляции.

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:

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

положив $n=1$.

- 6) Выполнить синхронное детектирование и получить исходный однополосный сигнал.
- 7) Рассчитать КПД модуляции.

$$\eta_A M = \frac{U_m^2 M^2 / 4}{P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 1}$$

- 8) Сгенерировать однотоновый сигнал низкой частоты.
- 9) Выполнить фазовую модуляцию/демодуляцию сигнала по закону $u(t) = (U_m \cos(\Omega t + k s(t)))$, используя встроенную функцию MatLab `pmmod`, `pmdemod`
- 10) Получить спектр модулированного сигнала.
- 11) Выполнить частотную модуляцию/демодуляцию по закону

$$u(t) = (U_m \cos(\omega_0 t + k \int_0^t s(t) dt + \varpi_0))$$

используя встроенные функции MatLab `fmmod`, `fmdemod`.

3 Модуляция/Демодуляция

Как правило, информационные сигналы являются низкочастотными и ограниченными по ширине спектра, тогда как методы передачи сигналов рассчитаны на работу с высокочастотным сигналом. Перенос спектра сигналов из низкочастотной области на заданную частоту, т.е. в выделенную для их передачи область высоких частот выполняется операцией модуляции.

$s(t)$ - низкочастотный сигнал, подлежащий передаче по какому-либо каналу связи. В канале связи для передачи данного сигнала выделяется определенный диапазон высоких частот и формируется вспомогательный периодический высокочастотный сигнал $u(t) = f(t; a_1, a_2, \dots, a_m)$. Совокупность параметров a_i определяет форму вспомогательного сигнала. Значения параметров a_i в отсутствие модуляции являются величинами постоянными.

Если на один из этих параметров перенести сигнал $s(t)$, т.е. сделать его значение пропорционально зависимым от значения $s(t)$ во времени (или по любой другой независимой переменной), то форма сигнала $u(t)$ приобретает новое свойство. Она служит для переноса информации, содержащейся в сигнале $s(t)$. Сигнал $u(t)$ называется **несущим сигналом**, **несущим колебанием** или просто **несущей**, а физический процесс переноса информации на параметры несущего сигнала – его **модуляцией**. Исходный информационный сигнал $s(t)$ называют модулирующим, результат модуляции – **модулированным сигналом**. Обратную операцию выделения модулирующего сигнала из модулированного колебания называют **демодуляцией** или **детектированием**.

Наиболее распространенной формой несущих сигналов являются гармонические колебания:

$$u(t) = U \cos(\omega t + \phi),$$

которые имеют три свободных параметра: U , ω и ϕ . В зависимости от того, на какой из данных параметров переносится информация, различают **амплитудную (АМ)**, **частотную (ЧМ)** или **фазовую (ФМ)** модуляцию несущего сигнала.

При использовании в качестве несущих сигналов периодических последовательностей импульсов (например, прямоугольных) свободными параметрами модуляции могут быть амплитуда, длительность, частота следования и фаза (положение импульса относительно тактовой точки) импульсов. Таким образом, существует четыре основных вида импульсной модуляции: АИМ, ЧИМ и ФИМ.

3.1 Амплитудная модуляция

В настоящее время АМ применяется в основном только для радиовещания на сравнительно низких частотах и для передачи изображения в телевизионном вещании. Это вызвано низким КПД использования энергии модулированных сигналов.

При АМ выполняется перенос информации $s(t) \Rightarrow U(t)$ при постоянных значениях параметров несущей частоты ω и ϕ . АМ – сигнал представляет собой произведение информационной огибающей $U(t)$ и гармонического колебания ее заполнения с более высокими частотами:

$$U(t) = U_m[1 + Ms(t)],$$

где U_m - постоянная амплитуда несущего колебания при отсутствии входного (модулирующего) сигнала $s(t)$, M - глубина АМ.

Если модулирующий сигнал представлен одночастотным гармоническим колебанием с амплитудой S_0 , то коэффициент модуляции равен отношению амплитуд модулирующего и несущего колебания $= S_0/U_m$. Значение M должно находиться в пределах от 0 до 1 для всех гармоник модулирующего сигнала. При значении $M < 1$ форма огибающей несущего колебания полностью повторяет форму модулирующего сигнала $s(t)$

Простейшая форма модулированного сигнала создается при однотоновой амплитудной модуляции – модуляции несущего сигнала гармоническим колебанием с одной частотой Ω :

$$u(t) = U_m[1 + M\cos(\Omega t)]\cos(\omega_0 t)$$

Основная теорема модуляции:

$$u(t) = U_m\cos(\omega_0 t) + \frac{U_m M}{2}\cos[(\omega_0 + \Omega)t] + \frac{U_m M}{2}\cos[(\omega_0 - \Omega)t].$$

Модулирующее колебание с частотой Ω перемещается в область частоты ω_0 и расщепляется на два колебания, симметричные относительно частоты ω_0 , с частотами соответственно $(\omega_0 + \Omega)$ - верхняя боковая частота, и $(\omega_0 - \Omega)$ - нижняя боковая частота. Физическая ширина спектра модулированного сигнала в два раза больше ширины спектра сигнала модуляции.

КПД АМ:

$$\eta_{AM} = \frac{U_m^2 M^2 / 4}{P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}.$$

Отсюда следует, что при $M=1$ КПД амплитудной модуляции составляет только 33

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.

Для верхней или нижней боковой полосы:

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

Внешняя форма ОБП-сигнала сходна с обычным АМ-сигналом, но ее огибающая имеет в два раза меньшую амплитуду по сравнению с АМ при $M = 1$.

```

1-   clc;
2-   clear all;
3-   close all;
4-
5-   %частота дискретизации 800Гц
6-   Fs=200;
7-   %одна секунда дискретных значений времени
8-   t=0:1/Fs:3;
9-
10-  %A - амплитуда
11-  A=0.7;
12-  %частота колебаний 10 Гц
13-  f0=1;
14-  %начальная фаза - 0 градусов
15-  phi=0;
16-  %задание однотоанального сигнала низкой частоты.
17-  s1=A*sin(2*pi*t+phi);
18-  %вывод графика синусоиды
19-  figure;
20-  plot(t,s1);
21-  title ('Сигнал синусоиды');
22-  xlabel('Время');
23-  ylabel('Амплитуда');
24-
25-  %2. Амплитудная модуляция с помощью ammod
26-  %несущая частота равна 50 Гц
27-  Fc=10;
28-  %модуляция
29-  modAM = ammod(s1,Fc,Fs,0,0.7);
30-  subplot(3,2,1);

```

Рис. 1: Код Matlab (часть 1)

```

31 - plot(t,modAM);
32
33 %Количество линий Фурье спектра
34 - fftL=1000;
35 %вектор частот для расчета спектра
36 - f=0:Fs/fftL:Fs-1;
37 %Преобразование Фурье от сигнала s1 по fftL точкам
38 - F=fft(modAM,fftL);
39 %вычислим спектр
40 - sp1=abs(F);
41 %выведем спектр
42 - subplot(3,2,2);
43
44 - plot(f(1:100),sp1(1:100));
45 - title('Спектр амплитудно модулируемого сигнала');
46 - xlabel('Частота (Гц)');
47 - ylabel('Амплитуда');
48
49 %Модуляция с подавлением несущей (установка последнего параметра в ноль)
50 - mod_without = ammod(s1,Fc,Fs,0,0);
51 - subplot(3,2,3);
52 - plot(t,mod_without);
53
54 %Спектр.
55 %Количество линий Фурье спектра
56 - fftL=1000;
57 %вектор частот для расчета спектра
58 - f=0:Fs/fftL:Fs-1;
59 %Преобразование Фурье от сигнала s1 по fftL точкам
60 - F=fft(mod_without,fftL);

```

Рис. 2: Код Matlab (часть 2)

```

61 %вычислим спектр
62 - sp2=abs(F);
63 %выведем спектр
64 - subplot(3,2,4);
65 - plot(f,sp2(1:length(f)));
66 - title('Спектр модулируемого сигнала с подавлением несущей');
67 - xlabel('Частота (Гц)');
68 - ylabel('Амплитуда');
69
70
71 % Однополосная модуляция
72 - mod_one = ssbmod(s1,Fc,Fs,0,'upper');
73 - subplot(3,2,5);
74 - plot(t,mod_one);
75
76 %Количество линий Фурье спектра
77 - fftL=1000;
78 %вектор частот для расчета спектра
79 - f=0:Fs/fftL:Fs-1;
80 %Преобразование Фурье от сигнала s1 по fftL точкам
81 - F=fft(mod_one,fftL);
82 %вычислим спектр
83 - sp3=abs(F);
84 %выведем спектр
85 - subplot(3,2,6);
86 - plot(f,sp3(1:length(f)));
87 - title('Спектр однополосной модуляции');
88 - xlabel('Частота (Гц)');
89 - ylabel('Амплитуда');

```

Рис. 3: Код Matlab (часть 3)

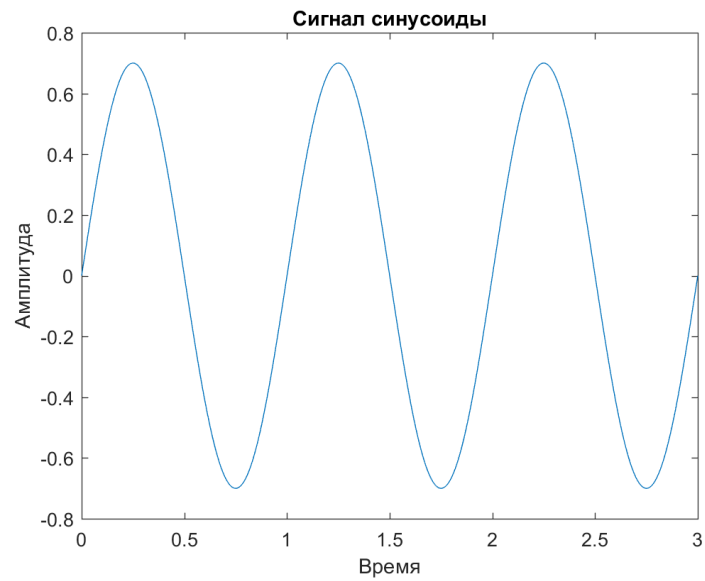


Рис. 4: Однотональная синусоида

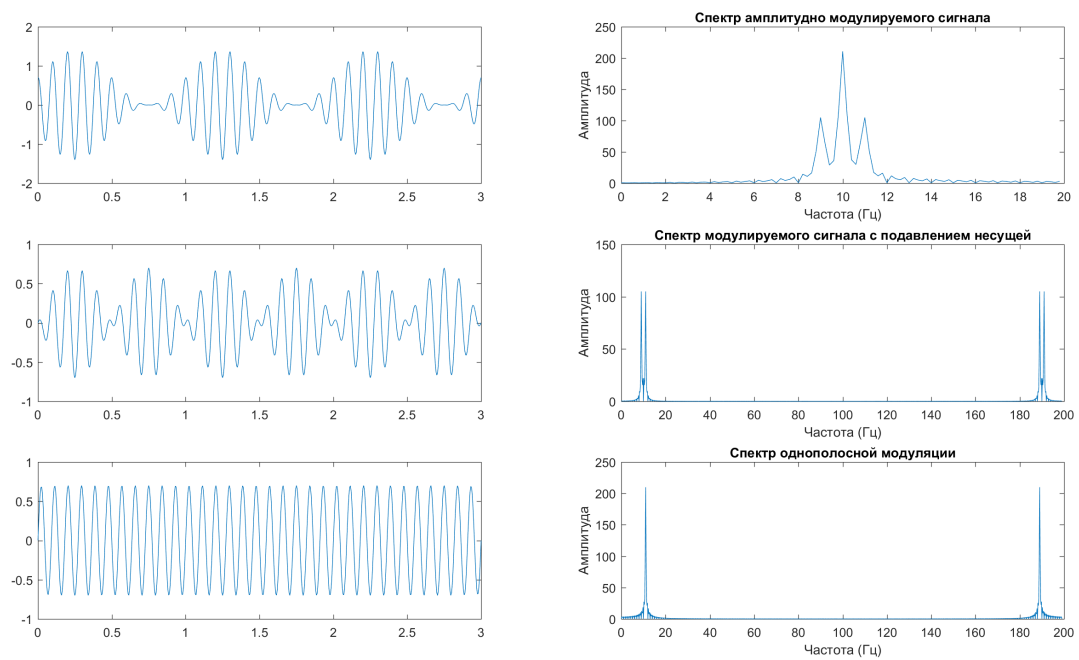


Рис. 5: Модуляции и спектры

3.2 Синхронное детектирование

При синхронном детектировании модулированный сигнал умножается на опорное колебание с частотой несущего колебания. Без учета начальных фаз колебаний:

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

сигнал разделяется на два слагаемых, первое из которых повторяет исходный модулирующий сигнал, а второе повторяет модулированный сигнал на удвоенной несущей частоте $2\omega_0$. Форма новой несущей при синхронном детектировании является чистой гармоникой, в отличие от двухполупериодного детектирования, где новая несущая содержит дополнительные гармоники более высоких частот. Физический амплитудный спектр сигналов после демодуляции подобен спектру двухполупериодного детектирования, но 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 ω_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.

```
91 % Выполним синхронное детектирование и получим исходный однополосный сигнал
92 demod_sig = amdemod(modAM,Fc,Fs, 0, 0.7);
93 figure;
94 plot(t,demod_sig,':',t,s1,'--')
95 legend('Демодулированный сигнал','Исходный сигнал')
96 title('Демодулированный сигнал');
97 xlabel('Время');
98 ylabel('Амплитуда');
99
100 % Посчитаем КПД модуляции
101 %Амплитуда несущей - 0.7
102 M = 0.7;
103 kpd = M^2/(M^2+2)
```

Рис. 6: Код демодуляции

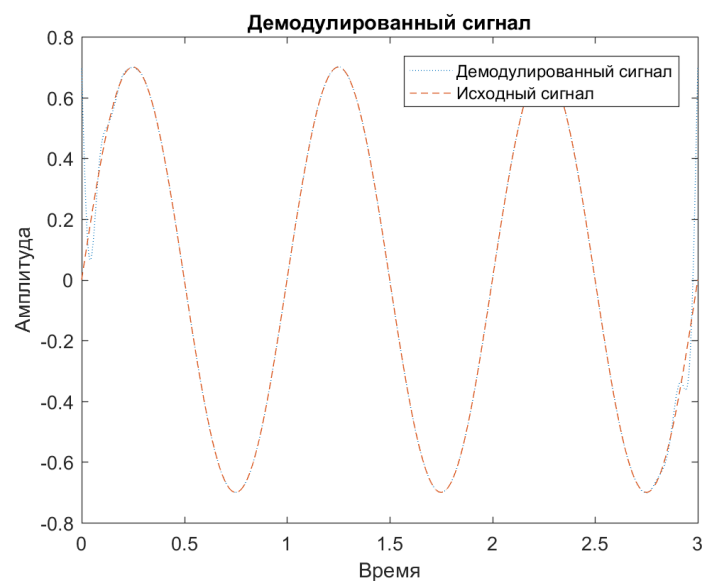


Рис. 7: Демодуляция

3.3 Фазовая модуляция

При фазовой модуляции значение фазового угла постоянной несущей частоты колебаний ω_0 пропорционально амплитуде модулирующего сигнала $s(t)$. Соответственно, уравнение ФМ-сигнала определяется выражением:

$$u(t) = U_m \cos[\omega_0 t + k * s(t)],$$

где k - коэффициент пропорциональности.

При $s(t) = 0$, ФМ-сигнал является простым гармоническим колебанием. С увеличением значений $s(t)$ полная фаза колебаний $(t) = \omega_0 t + k * s(t)$ нарастает во времени быстрее и опережает линейное нарастание $\omega_0 t$. Соответственно, при уменьшении значений $s(t)$ скорость роста полной фазы во времени спадает. В моменты экстремальных значений $s(t)$ абсолютное значение фазового сдвига δ между ФМ-сигналом и значением ωt немодулированного колебания также является максимальным и носит название девиации фазы (вверх $\delta\phi_{=k*s_{max}(t)}$, или вниз $\delta\phi_{=k*s_{min}(t)}$ с учетом знака экстремальных значений модулирующего сигнала).

```
2 - clear all;
3 - close all;
4
5 %частота дискретизации 800Гц
6 - Fs=200;
7 %одна секунда дискретных значений времени
8 - t=0:1/Fs:2;
9
10 %A - амплитуда
11 - A=0.7;
12 %частота колебаний 10 Гц
13 - f0=1;
14 %начальная фаза - 0 градусов
15 - phi=0;
16 %задание однотоного сигнала низкой частоты.
17 - s1=A*sin(2*pi*t+phi);
18 %вывод графика синусоиды
19 - figure;
20 - plot(t,s1);
21 - title ('Сигнал синусоиды');
22 - xlabel('Время');
23 - ylabel('Амплитуда');
24
25 %Частотная модуляция
26 %несущая частота равна 50 Гц
27 - Fc=10;
28 %модуляция
29 - modPM = pmmmod(s1,Fc,Fs,pi);
30 - figure;
31 - subplot(2,1,1);
```

Рис. 8: Код Matlab для фазовой модуляции(часть 1)

```

25 %Частотная модуляция
26 %несущая частота равна 50 Гц
27 Fc=10;
28 %модуляция
29 modPM = pmmod(s1,Fc,Fs,pi);
30 figure;
31 subplot(2,1,1);
32
33 plot(t,modPM);
34 title ('Фазовая модуляция сигнала');
35
36 %Количество линий Фурье спектра
37 fftL=1000;
38 %вектор частот для расчета спектра
39 f=0:Ff/fftL:Ff-1;
40 %Преобразование Фурье от сигнала s1 по fftL точкам
41 F=fft(modPM,fftL);
42 %вычислим спектр
43 sp1=abs(F);
44 %выведем спектр
45 subplot(2,1,2);
46 plot(f(1:100),sp1(1:100));
47 title ('Спектр фазовой модуляции сигнала');
48 xlabel('Частота (Гц)');
49 ylabel('Амплитуда');

```

Рис. 9: Код Matlab для фазовой модуляции(часть 2)

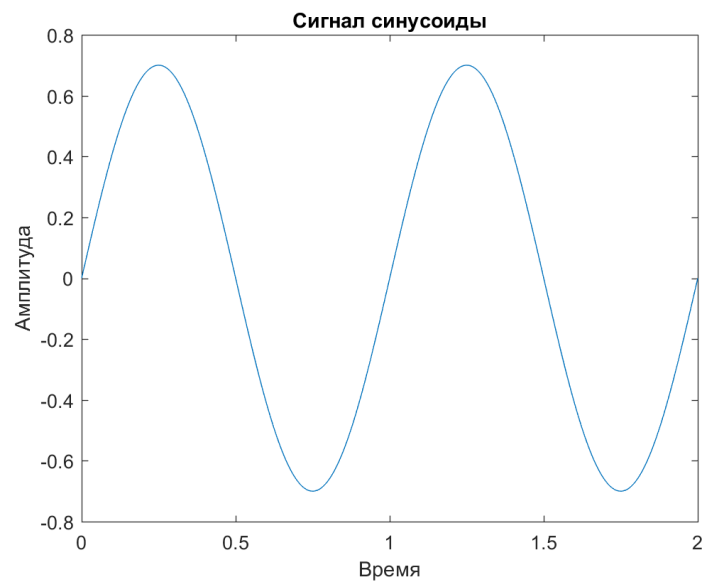


Рис. 10: Однотональная синусоида

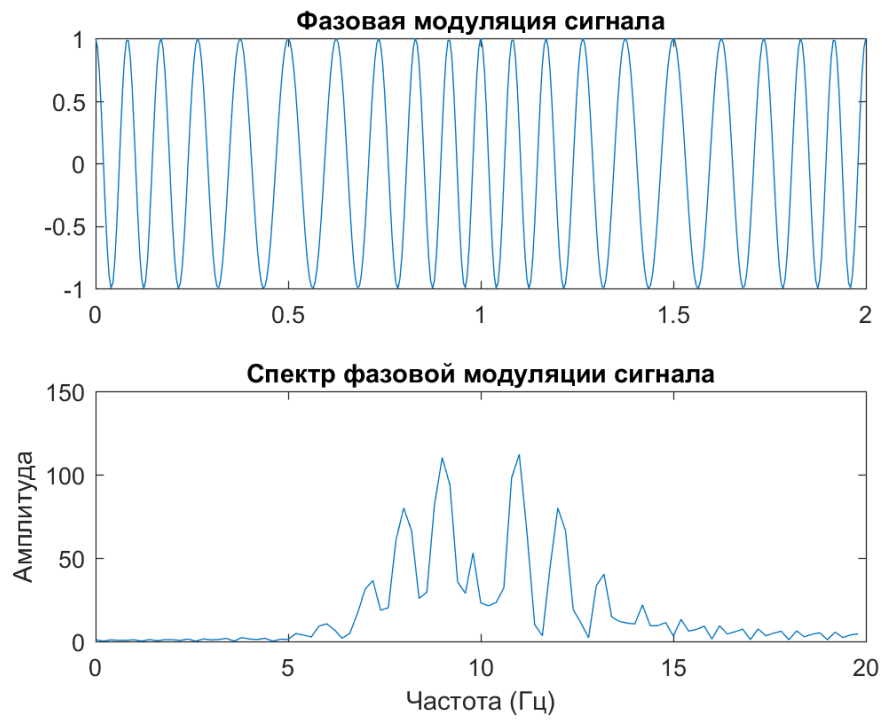


Рис. 11: Фазовая модуляция

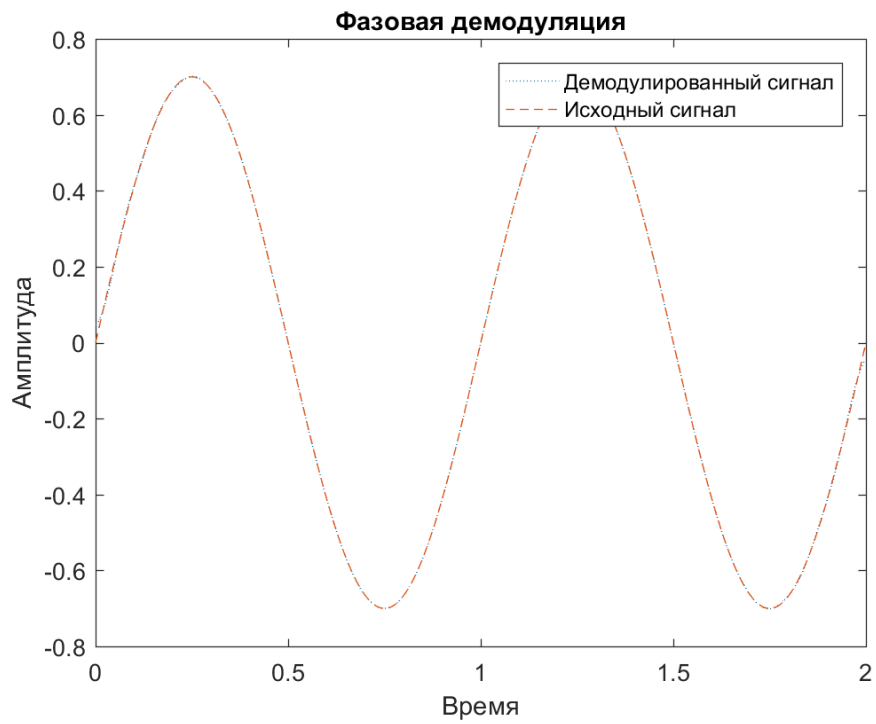


Рис. 12: Фазовая демодуляция

3.4 Частотная модуляция

Частотная модуляция характеризуется линейной связью модулирующего сигнала с мгновенной частотой колебаний, при которой мгновенная частота колебаний образуется сложением частоты высокочастотного несущего колебания ω_0 со значением амплитуды модулирующего сигнала с определенным коэффициентом пропорциональности k :

$$\omega(t) = \omega_0 + k * s(t).$$

Соответственно, полная фаза колебаний:

$$\phi(t) = \omega_0(t) + k \int_{-\infty}^t s(t) dt = \omega_0(t) + k \int_{-\infty}^t s(t) dt + \phi_0$$

Уравнение ЧМ-сигнала:

$$u(t) = U_m \cos(\omega_0(t) + k \int_0^t s(t) dt + \phi_0)$$

Аналогично ФМ, для характеристики глубины частотной модуляции используются понятия девиации частоты вверх: $\delta\omega_{=k*s_{max}(t)}$ $\delta\omega_{=k*s_{min}(t)}$

```
2 - clear all;
3 - close all;
4
5 %частота дискретизации 800Гц
6 Fs=200;
7 %одна секунда дискретных значений времени
8 t=0:1/Fs:2;
9
10 %A - амплитуда
11 A=0.7;
12 %частота колебаний 10 Гц
13 f0=1;
14 %начальная фаза - 0 градусов
15 phi=0;
16 %задание однотонового сигнала низкой частоты.
17 s1=A*sin(2*pi*t+phi);
18 %вывод графика синусоиды
19 figure;
20 plot(t,s1);
21 title ('Сигнал синусоиды');
22 xlabel('Время');
23 ylabel('Амплитуда');
24
25 %Частотная модуляция
26 %несущая частота равна 50 Гц
27 Fc=10;
28 %модуляция
29 modPM = pmmmod(s1,Fc,Fs,pi);
30 figure;
31 subplot(2,1,1);
```

Рис. 13: Код Matlab для частотной модуляции(часть 1)

```

51 %Фазовая модуляция
52 mod_fm = fmod(s1,Fc,Fs,1);
53 figure;
54 subplot(2,1,1);
55
56 plot(t,mod_fm);
57 title ('Частотная модуляция сигнала');
58
59 %Спектр.
60 %Количество линий Фурье спектра
61 fftL=1000;
62 %вектор частот для расчета спектра
63 f=0:Ffs/fftL:Ffs-1;
64 %Преобразование Фурье от сигнала s1 по fftL точкам
65 F=fft(mod_fm,fftL);
66 %вычислим спектр
67 sp2=abs(F);
68 %выведем спектр
69 subplot(2,1,2);
70 plot(f(1:100),sp2(1:100));
71 title ('Спектр частотной модуляции');
72 xlabel('Частота (Гц)');
73 ylabel('Амплитуда');

```

Рис. 14: Код Matlab для частотной модуляции(часть 2)

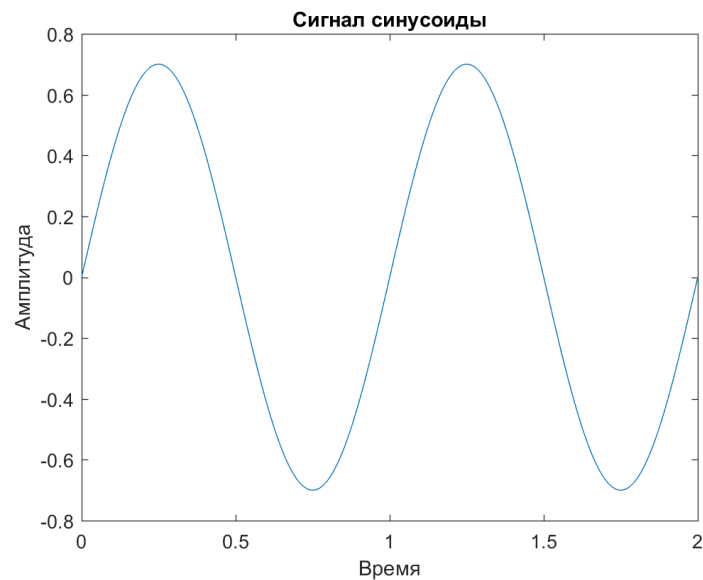


Рис. 15: Однотональная синусоида

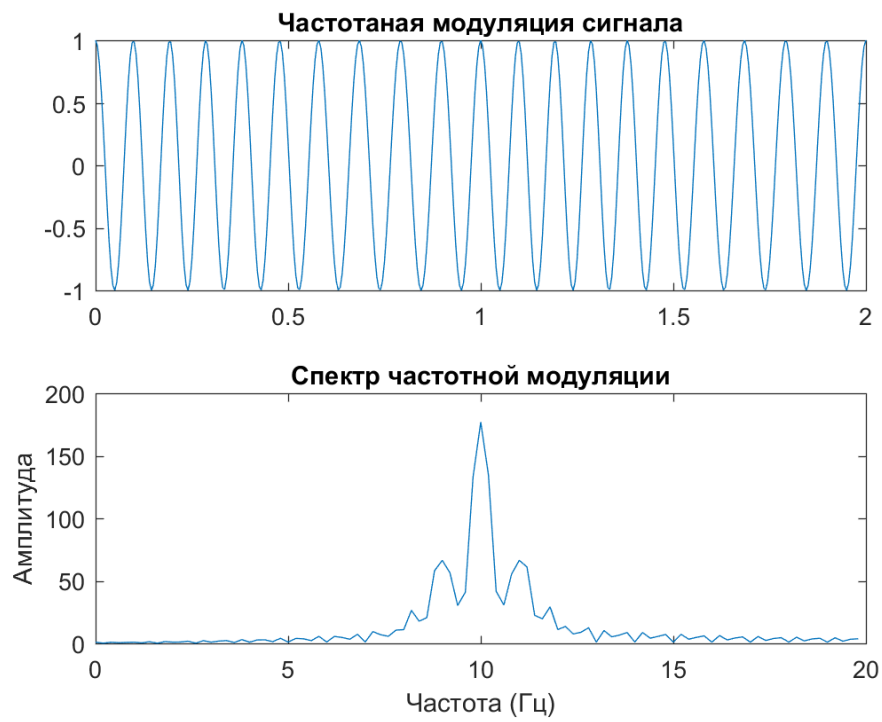


Рис. 16: Частотная модуляция

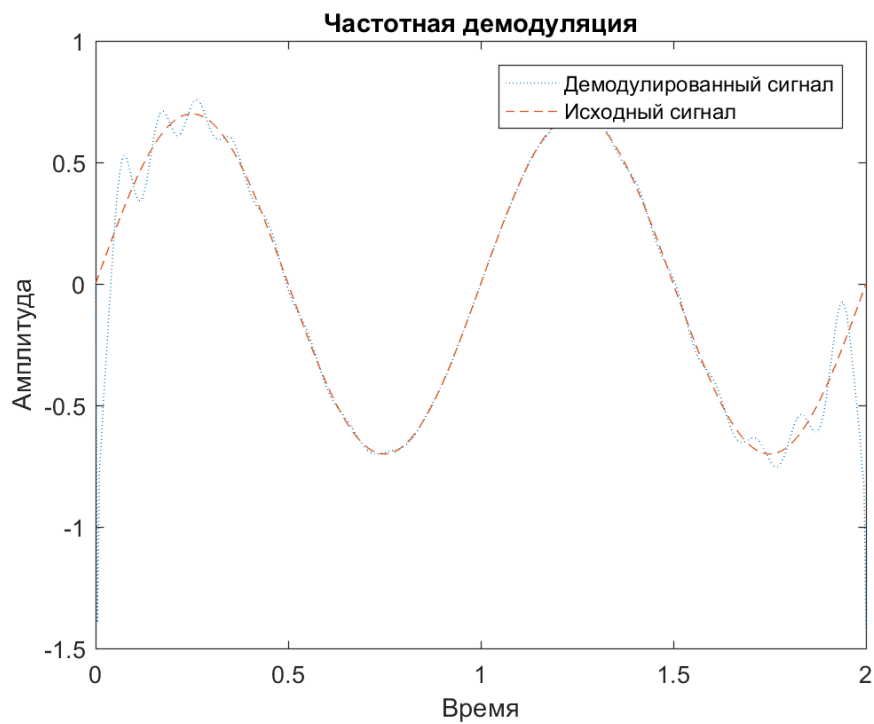


Рис. 17: Частотная демодуляция

4 Вывод

Основными достоинствами **амплитудной модуляции** являются:

- узкая ширина спектра АМ сигнала;
- простота получения модулированных сигналов.

Недостатками этой модуляции являются:

- низкая помехоустойчивость (т. к. при воздействии помехи на сигнал искажается его форма — огибающая, которая и содержит передаваемое сообщение);
- неэффективное использование мощности передатчика

Амплитудная модуляция нашла широкое применение:

- в системах телевизионного вещания (для передачи телевизионных сигналов);
- в системах звукового радиовещания и радиосвязи на длинных и средних волнах;

Достоинством **частотной модуляции** являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика;
- сравнительная простота получения модулированных сигналов.

Основным недостатком данной модуляции является большая ширина спектра модулированного сигнала.

Частотная модуляция используется:

- в системах телевизионного вещания (для передачи сигналов звукового сопровождения);
- системах спутникового теле- и радиовещания;
- системах высококачественного стереофонического вещания (FM диапазон);
- радиорелейных линиях (РРЛ);
- сотовой телефонной связи.

Достоинствами **фазовой модуляции** являются:

- высокая помехоустойчивость;
- более эффективное использование мощности передатчика.

Недостатками фазовой модуляции являются:

- большая ширина спектра;
- сравнительная трудность получения модулированных сигналов и их детектирование