

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

1. Цель работы	2
2. Постановка задачи	2
3. Теоретическая информация	2
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
4. Ход работы	5
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
4.5. Листинг	14
5. Выводы	15

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, ω_0 — циклическая частота, t — время, ϕ_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 ω_0 — частота несущей, Ω — частота модуляции.

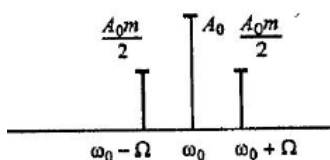


Рисунок 3.1. Спектр амплитудно-модулированного сигнала

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:

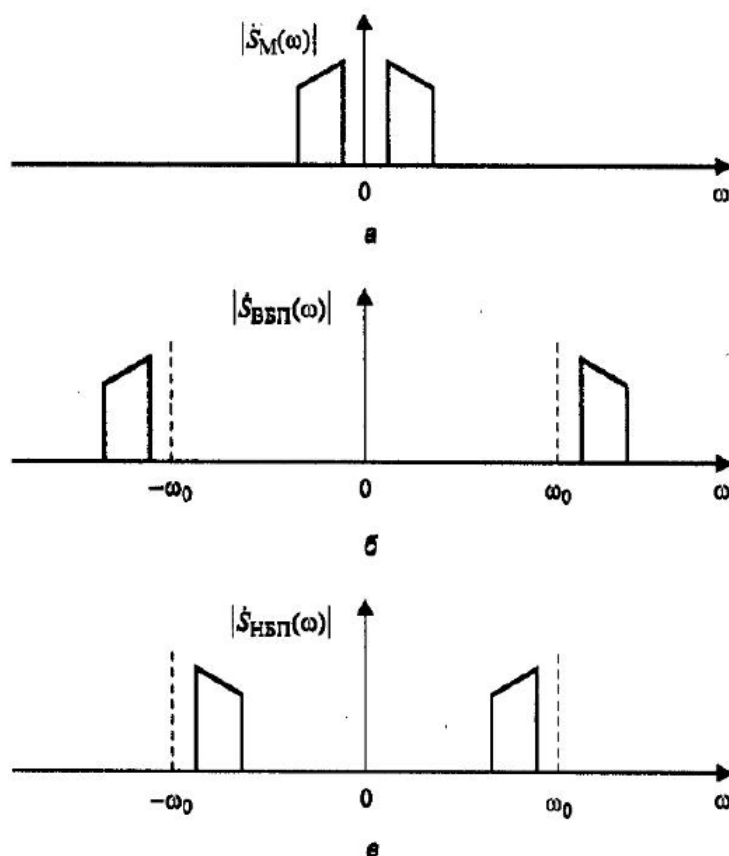


Рисунок 3.2. Однополосная модуляция: а - спектр модулирующего сигнала, б - спектр однополосного сигнала с верхней боковой полосой, в - то же с нижней боковой полосой

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 ω_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 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. 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.

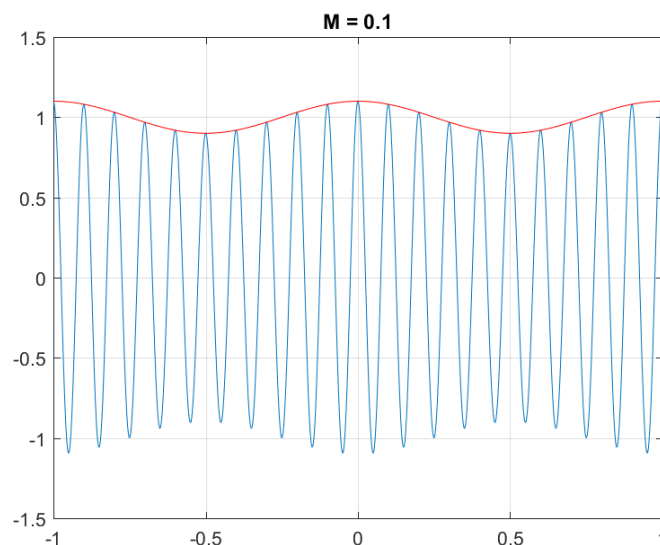


Рисунок 4.1. Результат АМ для $m = 0.1$

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

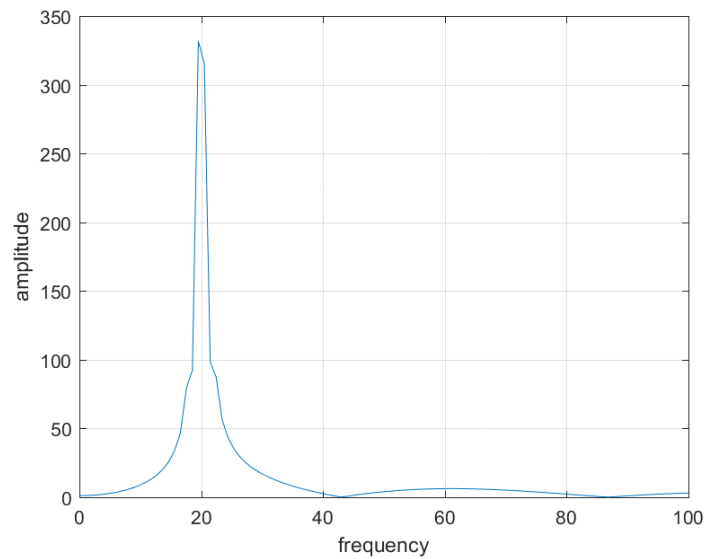


Рисунок 4.2. Амплитудный спектр для $m = 0.1$

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

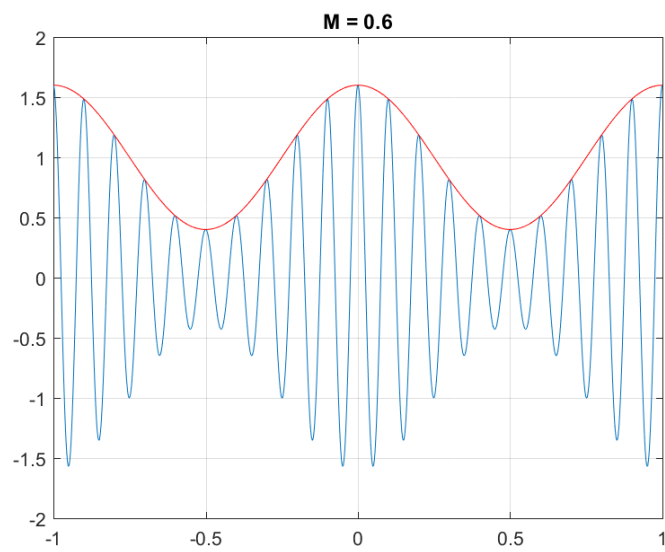


Рисунок 4.3. Результат АМ для $m = 0.6$

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

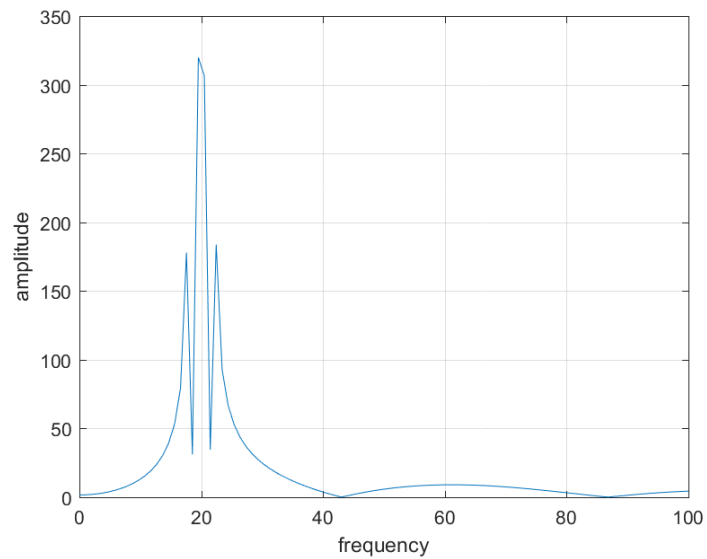


Рисунок 4.4. Амплитудный спектр для $m = 0.6$

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

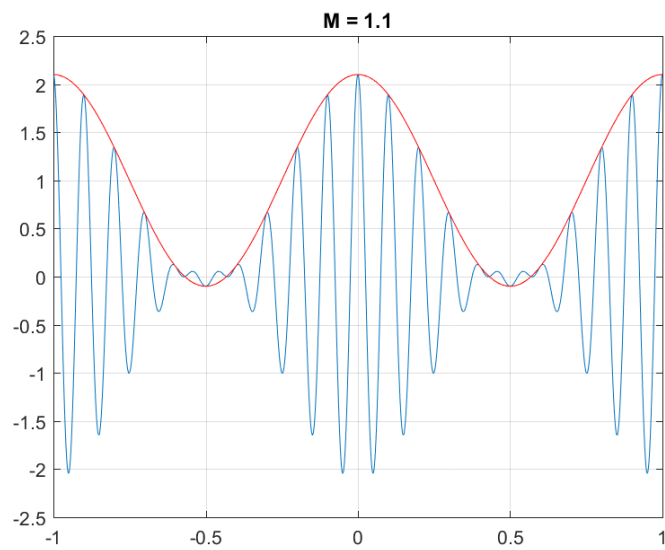


Рисунок 4.5. Результат АМ для $m = 1.1$

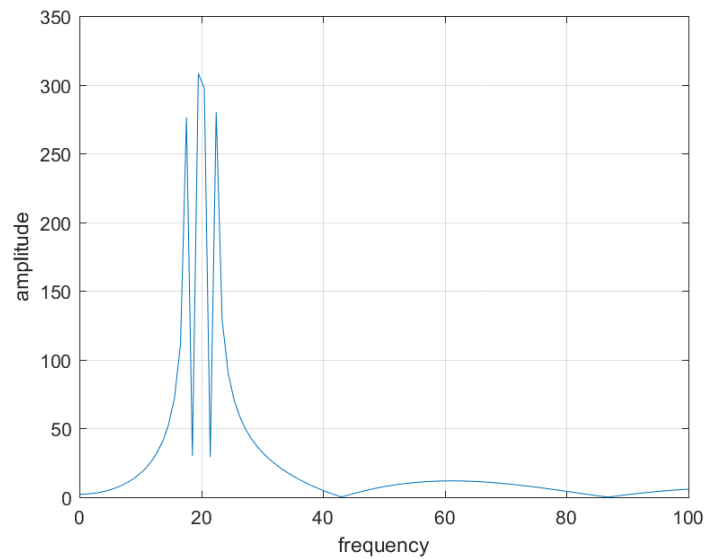


Рисунок 4.6. Амплитудный спектр для $m = 1.1$

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

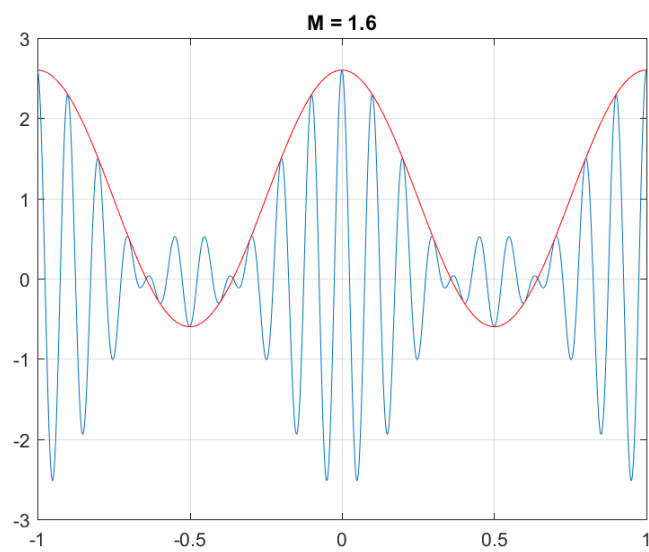


Рисунок 4.7. Результат АМ для $m = 1.6$

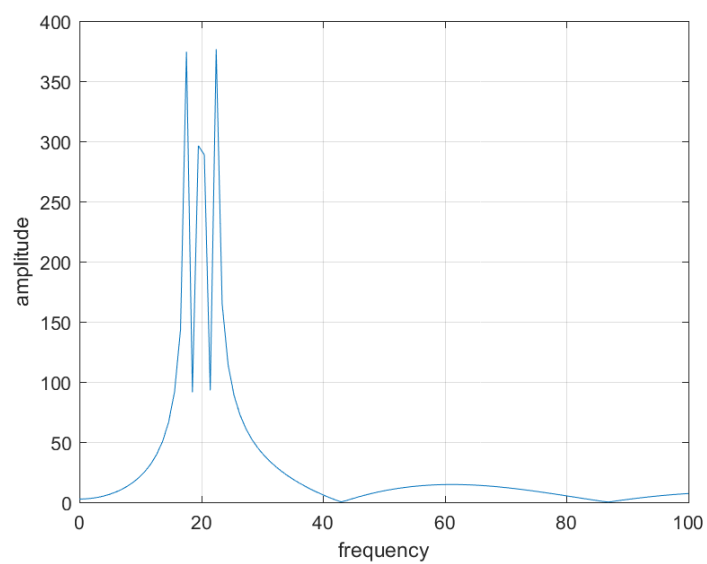


Рисунок 4.8. Амплитудный спектр для $m = 1.6$

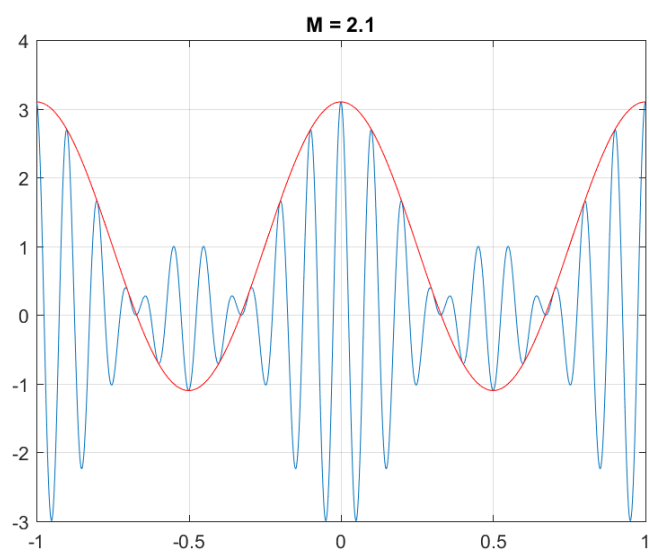


Рисунок 4.9. Результат АМ для $m = 2.1$

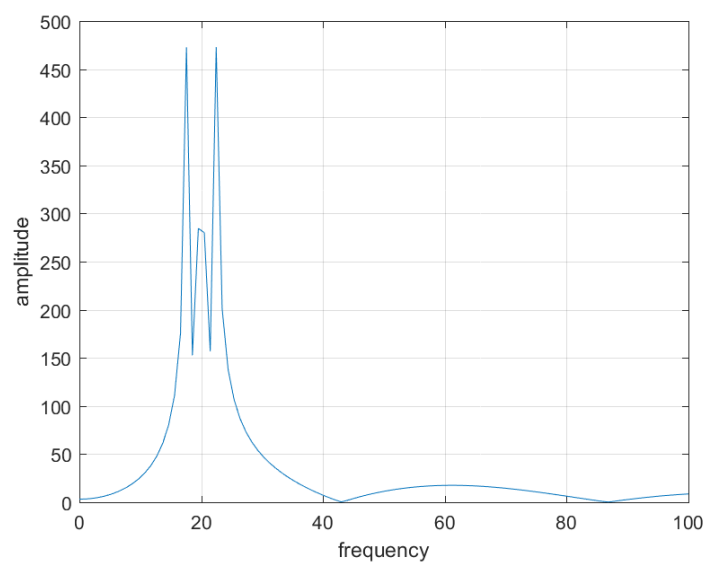


Рисунок 4.10. Амплитудный спектр для $m = 2.1$

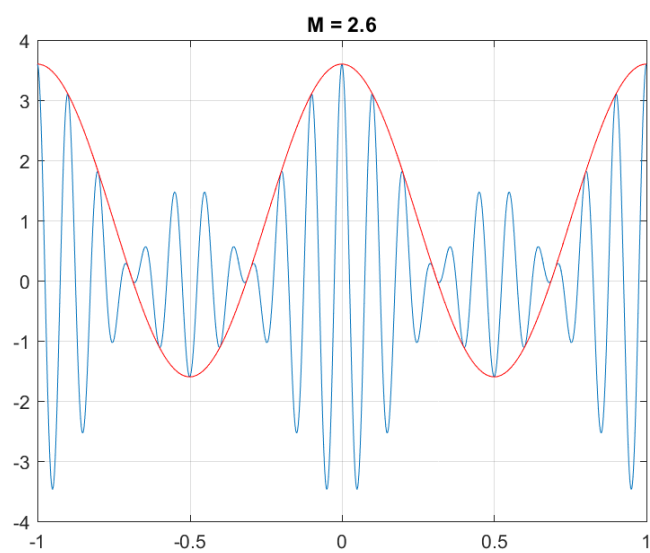


Рисунок 4.11. Результат АМ для $m = 2.6$

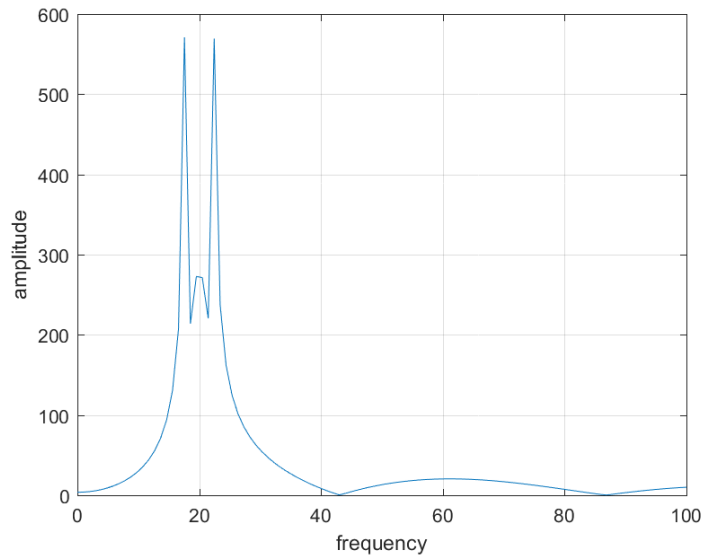


Рисунок 4.12. Амплитудный спектр для $m = 2.6$

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.

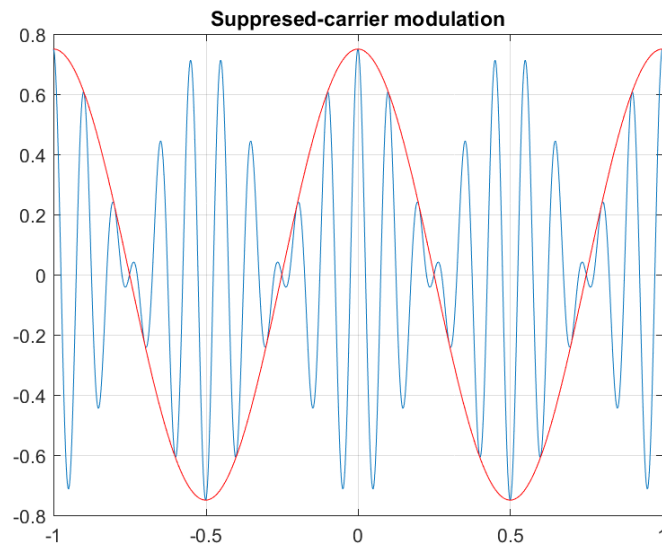


Рисунок 4.14. Модулированный сигнал с подавлением несущей

Также построим спектр модулированного сигнала.

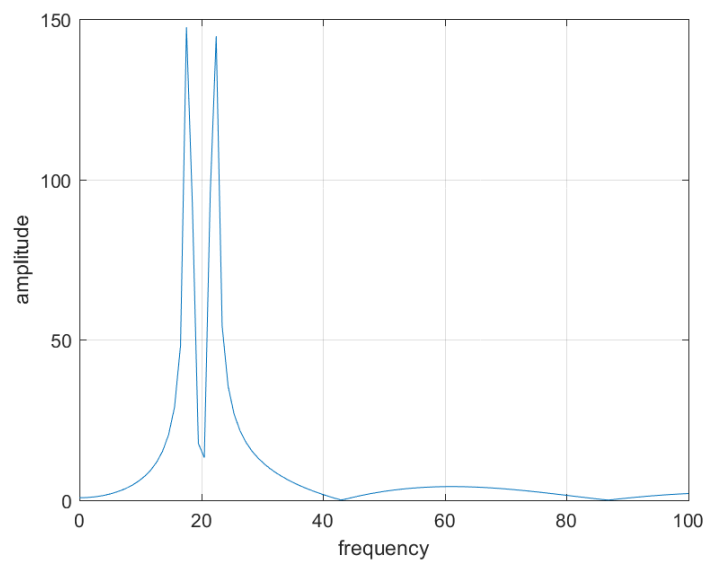


Рисунок 4.15. Амплитудный спектр

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.

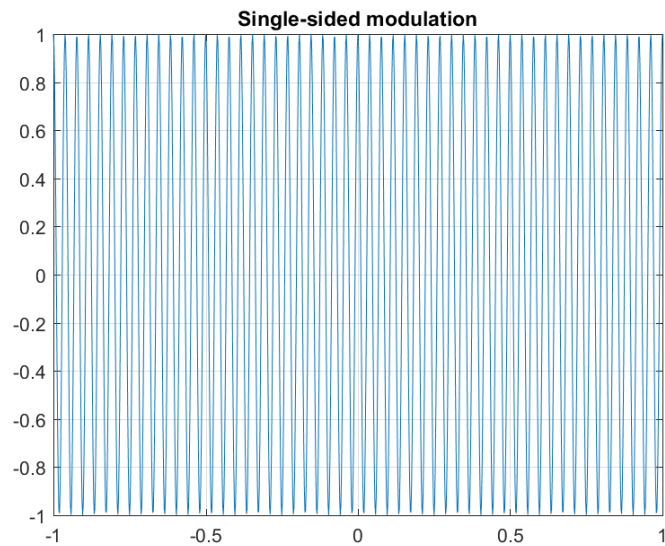


Рисунок 4.16. Однополосная модуляция

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).

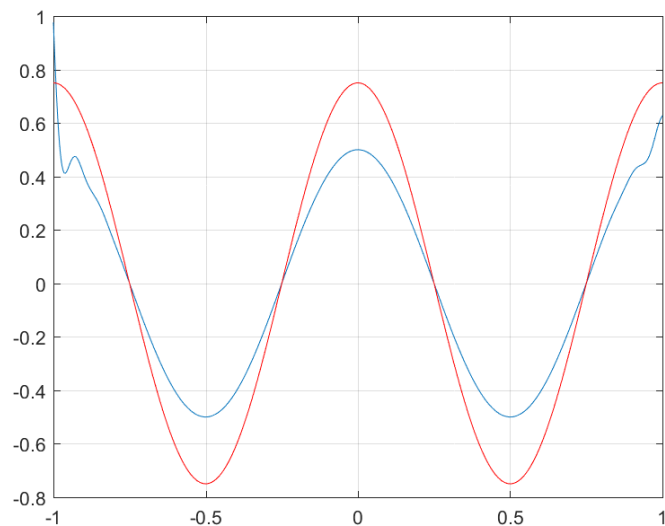


Рисунок 4.17. Амплитудный спектр

4.5. Листинг

Листинг 1: lab04.m

```
1 function lab04()
2
3 close all;
4 clc;
5 work_path = 'C:\Users\Vovas\YandexDisk\3_course\telecom\labs\lab04\pictures\';
6
7 function plot_spec(s, Fs, t_len, png_name)
8     n = 2^nextpow2(t_len);
9     f = Fs*(0:(n/2))/n;
10    spec = fft(s, n);
11    spec_fig = figure;
12    plot(f, abs(spec(1:n/2+1)))
13    xlim([0 100])
14    grid on;
15    xlabel('frequency')
16    ylabel('amplitude')
17    saveas(spec_fig, [work_path png_name], 'png');
18 end
19 function kpd = kpd(m)
20     kpd = m*_m_/_(m*_m+_2);
21 end
22
23 %% task 1, 2, 3, 7 single tone signal modulation, spectrum, kpd
24 Fd = 1000;
25 t = -1: 2/_Fd: 1;
26 Fs = 1;
27 omega_s = 2*_pi*_Fs;
28 %m = 0.75;
29 %s_m = (1+_m*_cos(omega_s*_t));
30 Fc = 20; %carrier
31 for i = 0.1: 0.5: 3
32     s_m = (1+_i*_cos(omega_s*_t));
33     s_am = ammod(s_m, Fc, Fd);
34     fig = figure;
35     plot(t, s_am);
36     title(['M = ' num2str(i)]);
37     hold on;
38     grid on;
39     plot(t, s_m, 'r');
40     strr = num2str(i);
41     strr = [strr(1) strr(3)];
42     saveas(fig, [work_path 'sigm'_strr'.png'], 'png');
43     plot_spec(s_am, Fd, length(t), [ 'specm'_strr'.png']);
44     fprintf('m = %g kpd = %g \n', i, kpd(i));
45 end
46
47 %% task 4
48 %The modulated signal has zero initial phase and zero carrier amplitude,
49 %so the result is suppressed-carrier modulation
50 Fd = 1000;
51 t = -1: 2/_Fd: 1;
52 Fs = 1;
53 omega_s = 2*_pi*_Fs;
54 Fc = 20; %carrier
55 m = 0.75;
56 s_m = m*_cos(omega_s*_t);
57 s_am = ammod(s_m, Fc, Fd, 0);
```

```

58 fig = figure;
59 plot(t, s_am);
60 title('Suppressed-carrier modulation');
61 hold on;
62 grid on;
63 plot(t, s_m, 'r');
64 saveas(fig, [work_path 'supcar.png'], 'png');
65 plot_spec(s_am, Fd, length(t), 'specsupcar.png');
66
67 %% task_5, 6 single side band modulation and demodulation
68 Fd = 1000;
69 t = -1 : 2 / Fd : 1;
70 Fc = 25; % carrier
71 Fs = 1;
72 omega_s = 2 * pi * Fs;
73 m = 0.75;
74 s_m = m * cos(omega_s * t);
75 s_ssbu = cos(2 * pi * (Fc + Fs) * t); % modulated signal single side band upper
76 fig = figure;
77 plot(t, s_ssbu);
78 title('Single-sided modulation');
79 hold on;
80 grid on;
81 saveas(fig, [work_path 'singside.png'], 'png');
82 % plot_spec(s_ssbu, Fd, length(t), 'specsingside.png');
83 y = s_ssbu .* cos(2 * pi * Fc * t);
84 [b, a] = butter(5, Fc / Fd * 2);
85 z = filtfilt(b, a, y);
86 fig = figure;
87 plot(t, z);
88 hold on;
89 grid on;
90 plot(t, s_m, 'r');
91 saveas(fig, [work_path 'singsideres.png'], 'png');
92
93 end

```

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 (suppresed-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 однополосного сигнала. В результате чего, мы экспериментально подтвердили, что значения КПД при данном виде модуляции достаточно низки.