

Отчет по лабораторным работам по
дисциплине ТСС

Климов С.А., Назарова К.Е.

2014

Содержание

1	Система верстки \TeX и расширения \LaTeX	3
1.1	Цель работы	3
1.2	Ход работы	3
1.3	Выводы	3
1.4	Материалы	3
1.5	Инструменты	3
2	Визуализация сигналов во временной и частотной области	4
2.1	Цель работы	4
2.2	Постановка задачи	4
2.3	Справочные материалы	4
2.4	Ход работы	4
2.5	Результаты работы	5
2.6	Выводы	7
3	Спектры простых сигналов	9
3.1	Цель работы	9
3.2	Постановка задачи	9
3.3	Справочные материалы	9
3.4	Ход работы	9
3.5	Результаты работы	10
3.6	Выводы	15
4	Линейная фильтрация	16
4.1	Цель работы	16
4.2	Постановка задачи	16
4.3	Справочные материалы	16
4.4	Ход работы	16
4.5	Результаты работы	17
4.6	Выводы	20
5	Аналоговая модуляция	21
5.1	Цель работы	21
5.2	Постановка задачи	21
5.3	Справочные материалы	21
5.4	Ход работы	21
5.5	Выводы	29

1 Система верстки \TeX и расширения \LaTeX

1.1 Цель работы

Изучение принципов верстки \TeX , создание первого отчета

1.2 Ход работы

Изучение

1. Создание минимального файла .tex в простом текстовом редакторе - преамбула, тело документа
2. Компиляция в командной строке - latex, xdv, pdflatex
3. Оболочка TexMaker, Быстрый старт, быстрая сборка
4. Создание титульного листа, нескольких разделов, списка, несложной формулы

Выполнение практического задания

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$c_1 + c_2 = b_0 \frac{2 * a}{\log 2} \sum_{i=0}^{\infty} \Theta \quad (1)$$

$$b(k) = (-1)^k \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{\frac{N}{2}-1} a(n) \cos \frac{\pi k(2n+1)}{N} \quad (2)$$

$$R_2 = \frac{(|A| + 1)/(\pi f_c C_1)}{b + \sqrt{b^2 - 4c(|A| + 1)C_2/C_1}} \quad (3)$$

1.3 Выводы

При выполнении данной работы мы ознакомились с ситемой верстки \TeX и расширением \LaTeX . Были получены начальные навыки верстки документа, а также построения различного вида формул.

1.4 Материалы

1. Не очень краткое введение
2. Конспект-справочник
3. <http://www.inp.nsk.su/~baldin/LaTeX/lurs.pdf>
4. Математика в \LaTeX

1.5 Инструменты

1. \TeX для Windows ProText
2. TeXnicCenter
3. Texmaker

2 Визуализация сигналов во временной и частотной области

2.1 Цель работы

Познакомиться со средствами генерации сигналов и визуализации их спектров.

2.2 Постановка задачи

В командном окне MATLAB и в среде Simulink промоделировать чистый синусоидальный сигнал, а также синусоидальный сигнал с шумом. Получить их спектры.

2.3 Справочные материалы

В.С. Гутников Фильтрация измерительных сигналов пп.1-2, 11-12

2.4 Ход работы

В среде MATLAB вначале моделируем чистый синусоидальный сигнал по формуле:

$$A(t) = A_0 \sin(2\pi ft + f_0)$$

Затем моделируем зашумленный сигнал по формуле:

$$A(t) = A_0 \sin(2\pi ft + f_0) + A_1 \text{rand}()$$

Для выделения частот регулярных составляющих используем преобразование Фурье, которое реализовано встроенной в MATLAB функцией.

Код MATLAB

```
f = 10;
x = 0:0.01:8*pi;
y = sin(2*pi*f*x+pi/2);
plot(x(1:200),y(1:200))
grid
figure
spectrum = fft(y,512);
norm_spectrum = spectrum.*conj(spectrum)/512;
f=100*(0:511)/512;
plot(f, norm_spectrum(1:512))
axis([0 max(f) 0 10])
grid
y_noise = y + 0.6 * rand(size(x));
figure
plot(x(1:200),y_noise(1:200));
grid
spectrum_noise = fft(y_noise,512);
noise_spectrum = spectrum_noise.*conj(spectrum_noise)/512;
```

```
figure
plot(f, noise_spectrum(1:512))
axis([0 max(f) 0 10])
grid
```

2.5 Результаты работы

В результате получаем следующие графики временных и частотных характеристик для чистого и зашумленного синусоидального сигналов:

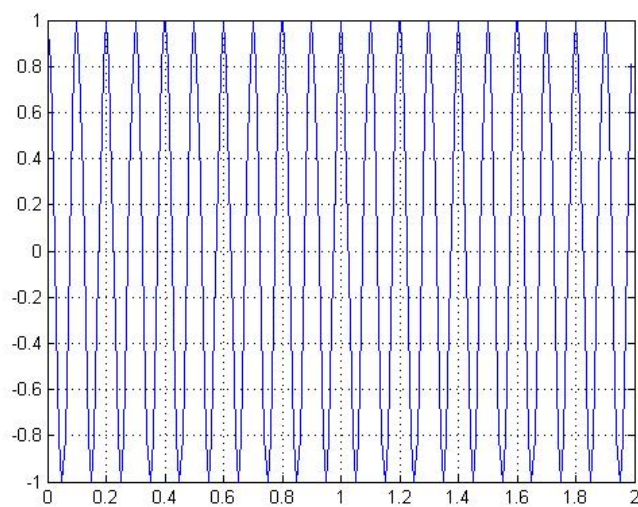


Рис. 1: Временная характеристика чистого синусоидального сигнала

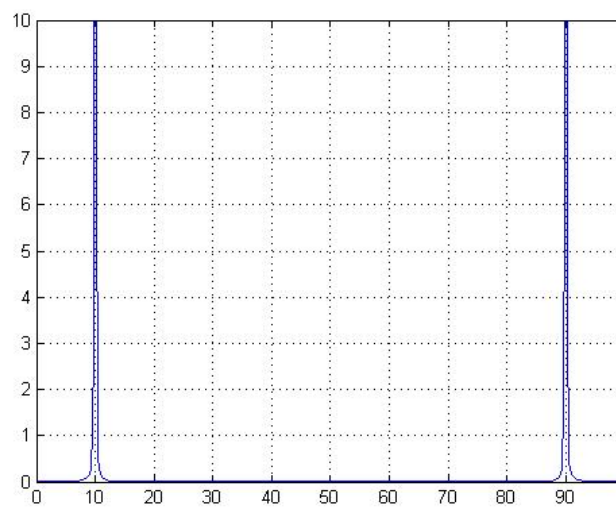


Рис. 2: Частотная характеристика чистого синусоидального сигнала

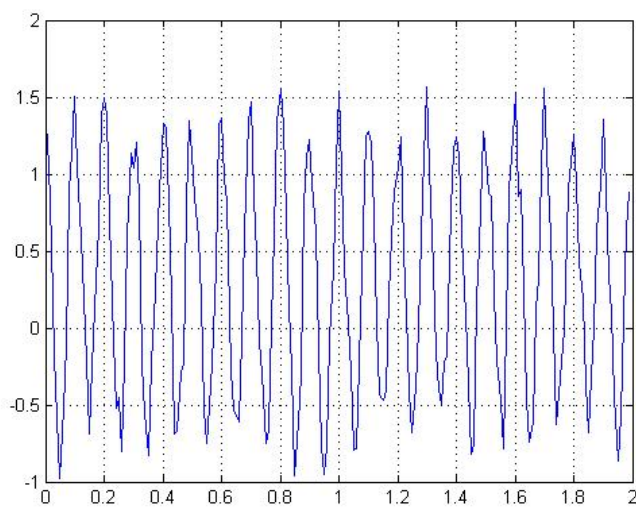


Рис. 3: Временная характеристика зашумленного синусоидального сигнала

2.6 Выводы

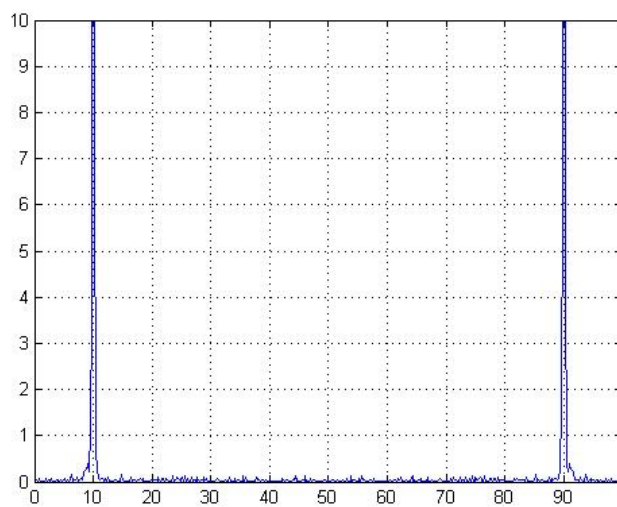


Рис. 4: Частотная характеристика зашумленного синусоидального сигнала

По результатам моделирования синусоидальных сигналов (чистого и с шумом) а также их полученных спектров можно сделать следующие выводы: умноженный на свое комплексное сопряженное спектр является нормированным, синус не бесконечен, спектр испытывает свертку с синком, повторение спектра происходит на частоте, кратной частоте дискретизации.

3 Спектры простых сигналов

3.1 Цель работы

Получить представление о свойствах спектров.

3.2 Постановка задачи

В командном окне MATLAB и в среде Simulink промоделировать следующие тестовые сигналы:

- Полигармонический сигнал

$$y(t) = \sum_{n=0}^{N-1} \cos(nt) \quad (4)$$

- Прямоугольный импульсный сигнал

$$y(t) = \prod(t, T_i) \quad (5)$$

- Треугольный импульсный сигнал

$$y(t) = \Delta(t, T_i) \quad (6)$$

и получить их спектры.

3.3 Справочные материалы

В.С. Гутников. Фильтрация измерительных сигналов ш.3-6, 13-14

3.4 Ход работы

Для моделирования заданных сигналов использовался приведенный код MATLAB:

```
t = 0:0.01:4*pi;
N = 100;
y = 0;
% Полигармонический сигнал
y = sin(pi*t)+sin(2*pi*t)+sin(pi*0.3*t);
plot(t,y,'LineWidth',2)
grid
figure
spectrum = fft(y,512);
norm_spectrum = spectrum.*conj(spectrum)/512;
f=100*(0:255)/512;
plot(f, norm_spectrum(1:256),'LineWidth',2)
axis([0 max(f) 0 10])
grid
% Прямоугольный сигнал
figure
```

```

y1 = square(t,50);
plot(t(1:100),y1(1:100),'LineWidth',2);
ylim([-2,2]);
grid
figure
spectrum = fft(y1,512);
norm_spectrum = spectrum.*conj(spectrum)/512;
f1=100*(0:255)/512;
plot(f1, norm_spectrum(1:256),'LineWidth',2)
axis([0 max(f1) 0 10])
grid
% Треугольный сигнал
figure
y2 = conv(square(t,20),square(t,20));
plot(t(1:100),y2(1:100),'LineWidth',2);
grid
figure
spectrum = fft(y2,512);
norm_spectrum = spectrum.*conj(spectrum)/512;
f2=100*(0:255)/512;
plot(f2, norm_spectrum(1:256)/1000,'LineWidth',2)
axis([0 max(f2) 0 50])
grid

```

3.5 Результаты работы

В результате были получены следующие сигналы и их спектры:

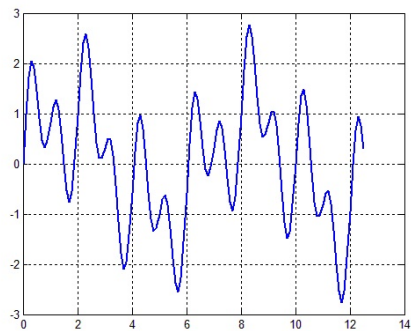


Рис. 5: Полигармонический сигнал

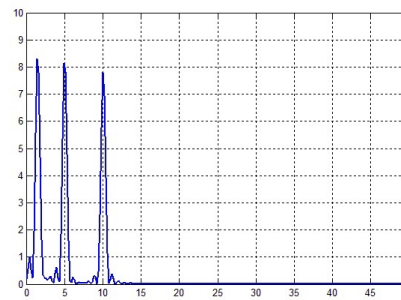


Рис. 6: Спектр полигармонического сигнала

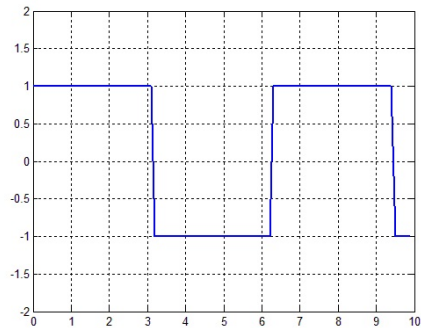


Рис. 7: Полигармонический сигнал

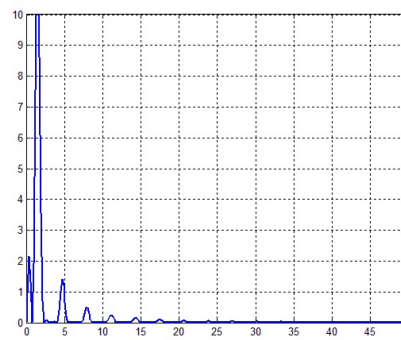


Рис. 8: Спектр полигармонического сигнала

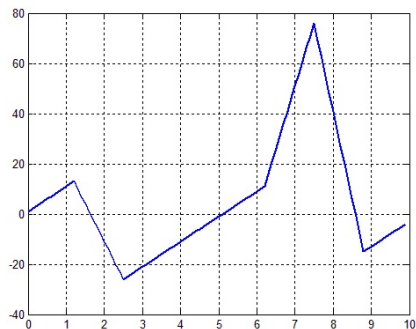


Рис. 9: Полигармонический сигнал

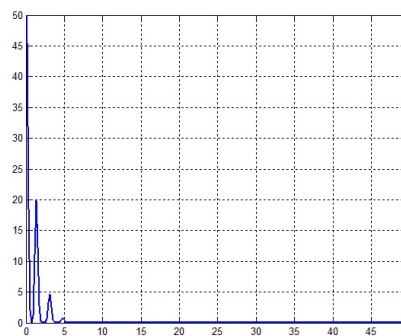


Рис. 10: Спектр полигармонического сигнала

В ходе моделирования сигналов в Simulink были собраны следующие схемы и получены соответствующие графики:

- Полигармонический сигнал (Рис. 11 - 13)
- Прямоугольный импульсный сигнал (Рис. 14 - 16)
- Треугольный импульсный сигнал (Рис. 17 - 19)

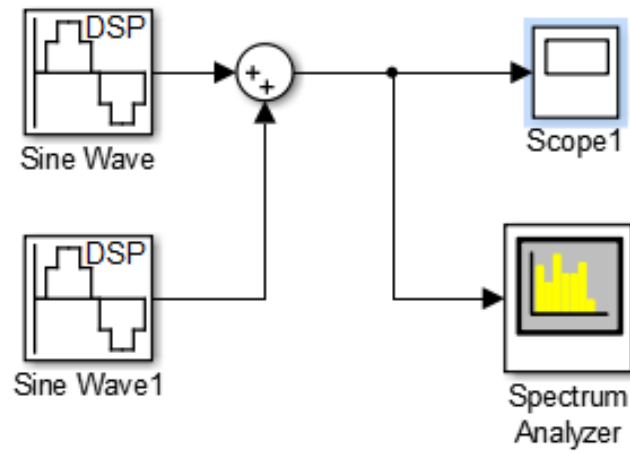


Рис. 11: Полигармонический сигнал (Simulink)

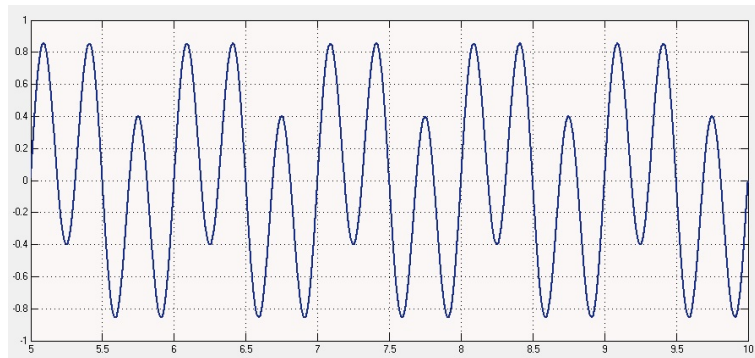


Рис. 12: Полигармонический сигнал

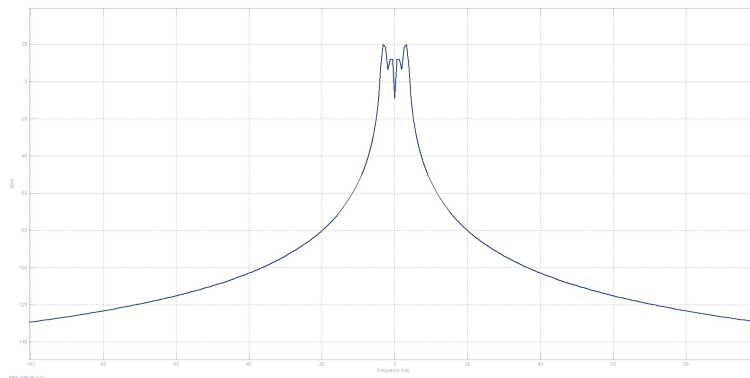


Рис. 13: Спектр полигармонического сигнала

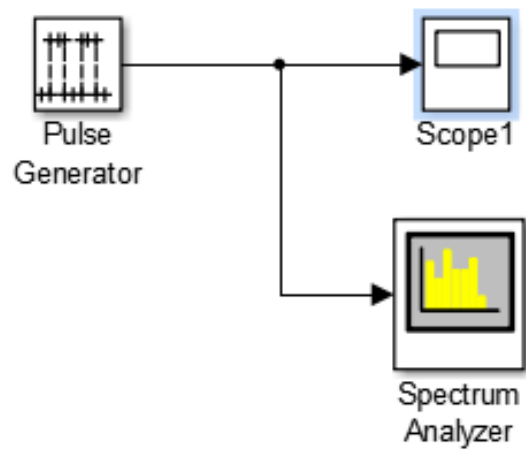


Рис. 14: Прямоугольный импульсный сигнал (Simulink)

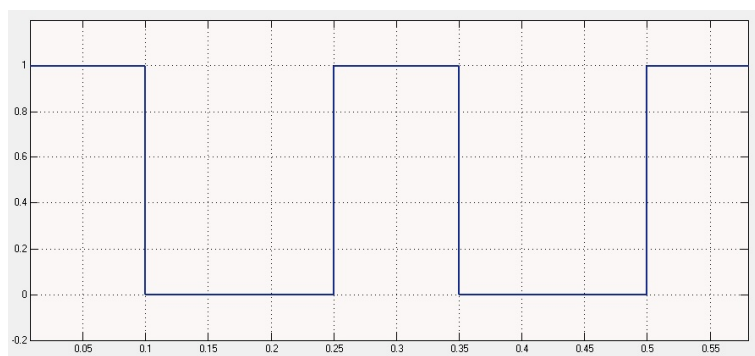


Рис. 15: Прямоугольный импульсный сигнал

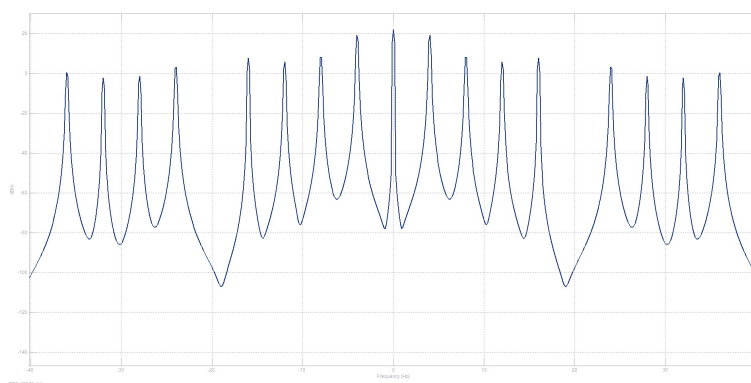


Рис. 16: Спектр прямоугольного сигнала

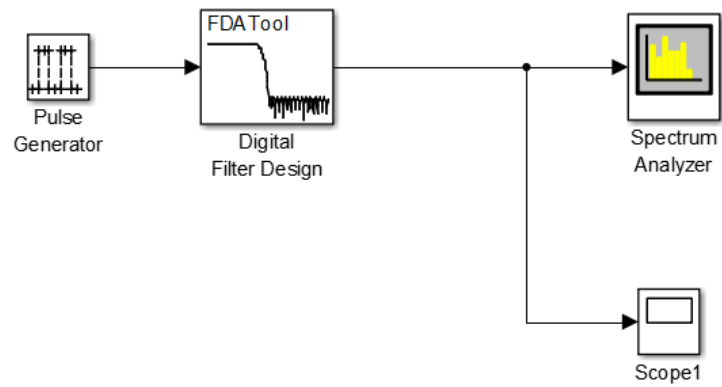


Рис. 17: Треугольный импульсный сигнал (Simulink)

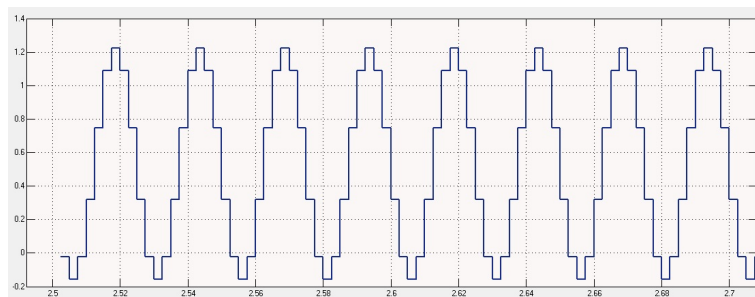


Рис. 18: Треугольный импульсный сигнал

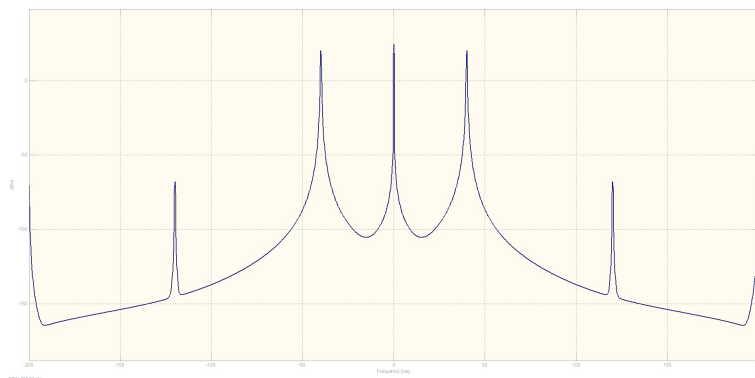


Рис. 19: Спектр треугольного сигнала

3.6 Выводы

В результате проделанной работы было проведено моделирование в среде MatLAB и Simulink полигармонического, прямоугольного и треугольного импульсных сигналаов, а также получены их спектры. В Simulink для получения генератора треугольного сигнала используется генератор прямоугольных импульсов каскадно с фильтром с прямоугольным окном. Это обоснуется тем, что свертка двух прямоугольных импульсов в результате дает треугольный.

4 Линейная фильтрация

4.1 Цель работы

Изучить воздействие ФНЧ на тестовый сигнал с шумом.

4.2 Постановка задачи

Сгенерировать гармонический сигнал с шумом и синтезировать ФНЧ. Получить сигнал во временной и частотной областях до и после фильтрации. Сделать выводы о воздействии ФНЧ на спектр сигнала.

4.3 Справочные материалы

В.С. Гутников. Фильтрация измерительных сигналов шп. 17-19

4.4 Ход работы

Фильтрация сигнала - изменение его спектра, которое обычно применяется с целью увеличить отношение полезного сигнала к шумам и помехам или усилить какие-нибудь полезные качества сигнала. В данной работе рассматривается фильтр нижних частот (ФНЧ), пропускающий низкочастотные составляющие спектра и задерживающий высокочастотные, а именно фильтр Баттерворта с максимально гладкой АЧХ. Для моделирования заданных сигналов использовался приведенный ниже код MATLAB:

```
x = 0:0.01:4*pi;
f = 100*(0:255)/512;
noise = rand(size(x));
y = sin(2*pi*x); % Сигнал без шума
y_noisy = y+0.3*noise; % Сигнал с шумом
figure
plot(x(1:200),y(1:200))
grid
figure
plot(x(1:200),y_noisy(1:200))
grid
[B,A] = butter(16,0.98); % Синтез ФНЧ Баттерворта
B = B./sum(B);
A = A./sum(A);
y_filtered = conv(y_noisy, [B, A]); % Обработка сигнала ФНЧ
figure
plot(x(1:200),y_filtered(1:200))
grid
noisy_spectrum = fft(y_noisy, 512); % Спектр сигнала с шумом
norm_noisy_spectrum = noisy_spectrum.*conj(noisy_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_noisy_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 2])
grid
filtered_spectrum = fft(y_filtered, 512); % Спектр фильтрованного сигнала
```



```

norm_filtered_spectrum = filtered_spectrum.*conj(filtered_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_filtered_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 2])
grid

```

4.5 Результаты работы

В результате работы представленного кода были получены следующие данные:

- Исходный гармонический сигнал (Рис. 20);
- Сигнал с шумом и его спектр (Рис. 21 - 22);
- Отфильтрованный сигнал и его спектр (Рис. 23 - 24).

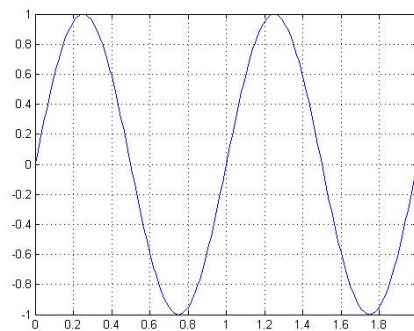


Рис. 20: Исходный гармонический сигнал

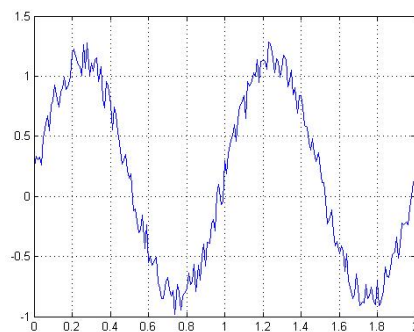


Рис. 21: Зашумленный гармонический сигнал

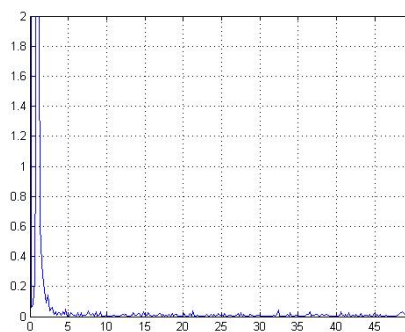


Рис. 22: Спектр зашумленного сигнала

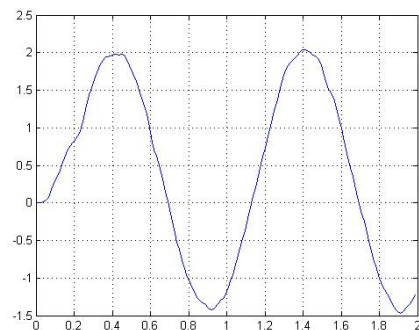


Рис. 23: Отфильтрованный сигнал

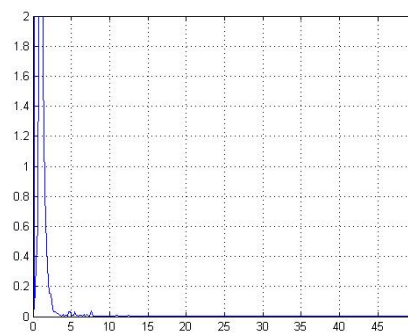


Рис. 24: Спектр отфильтрованного сигнала

Аналогичное моделирование было проведено в среде Simulink (построенный блок отображен на Рис. 25). В результате были получены характеристики, представленные на Рис. 26 - 27.

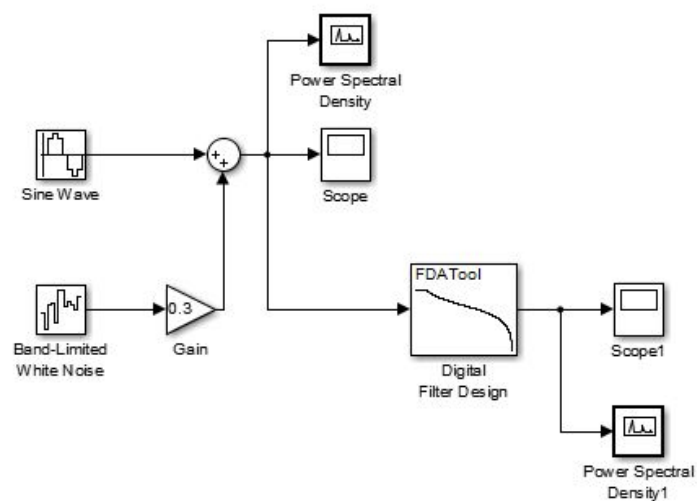


Рис. 25: Исходный гармонический сигнал

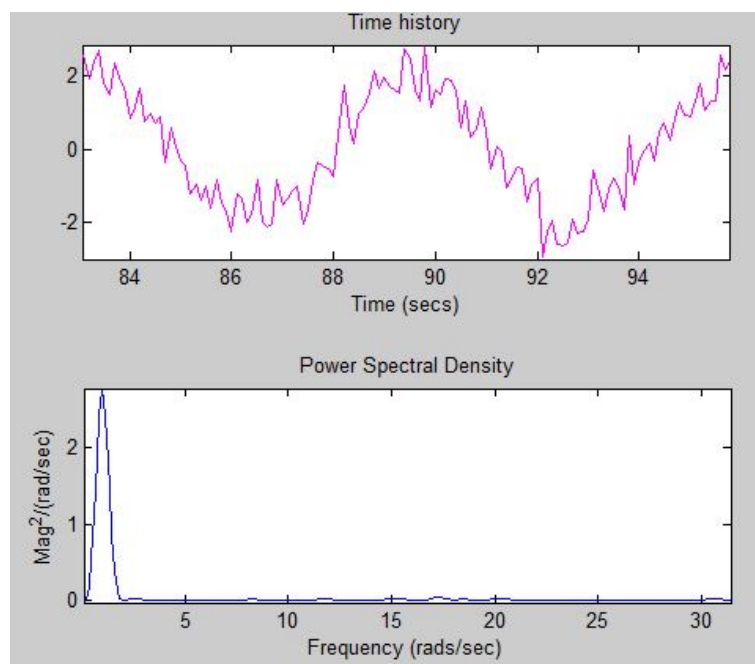


Рис. 26: Отфильтрованный сигнал

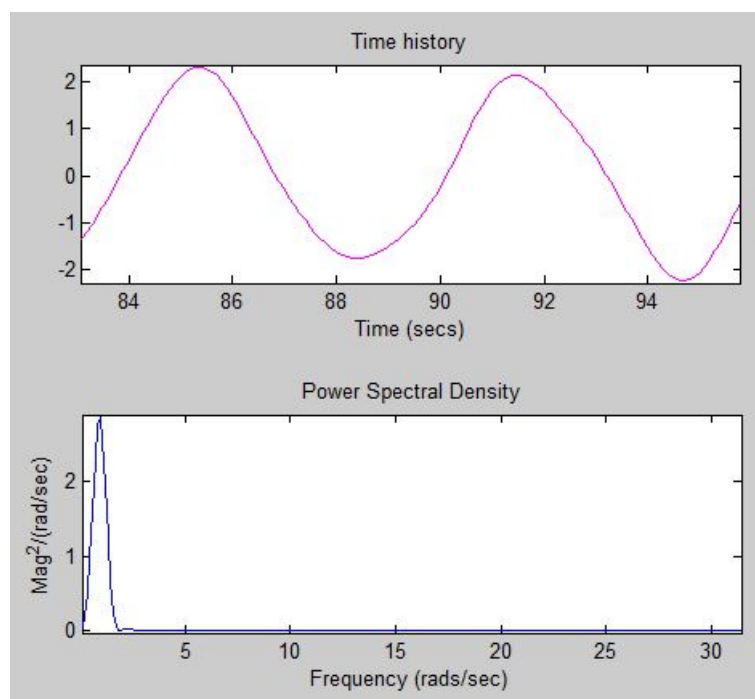


Рис. 27: Спектр отфильтрованного сигнала

4.6 Выводы

В данной работе было изучено воздействие ФНЧ на тестовый сигнал с шумом, а именно произведено зашумление и удаление шума линейным фильтром Баттерворта. Однако фильтрация оказалась неполной. Это связано с тем, что использованный линейный фильтр не способен разделить шум и полезный сигнал в одной частотной области. Для полной фильтрации необходимо использовать идеальный фильтр с прямоугольным окном.

5 Аналоговая модуляция

5.1 Цель работы

Изучение аналоговой модуляции/демодуляции сигнала.

5.2 Постановка задачи

1. Сгенерировать однотоальный сигнал низкой частоты.
2. Выполнить амплитудную модуляцию сигнала по закону

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0). \quad (7)$$

3. Получить спектр модулированного сигнала.
4. Выполнить модуляцию с подавлением несущей

$$u(t) = MU_m \cos(\omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0). \quad (8)$$

Получить спектр.

5. Выполнить однополосную модуляцию:

$$u(t) = U_m \cos(\omega t) \cos(\omega_0 t + \phi_0) + \frac{U_m}{2} \sum_{n=1}^N M_n (\cos(\omega_0 + \Omega_n)t + \phi_0 + \Phi_n), \quad (9)$$

положив $n = 1$.

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

$$\eta_A M = \frac{U_m^2 M^2 / 4}{P_U} = \frac{M^2}{M^2 + 2}. \quad (10)$$

5.3 Справочные материалы

Н.В. Богач и др. Обработка сигналов в информационных системах, с. 110-118, 125-127.

5.4 Ход работы

АМ - сигнал представляет собой произведение информационной огибающей $u(t)$ и гармонического колебания ее заполнения с более высокими частотами. Простейшая форма модулированного сигнала создается при *однотоальной* АМ - модуляции несущего сигнала гармоническим колебанием с одной частотой Ω :

$$u(t) = (1 + MU_m \cos(\Omega t)) \cos(\omega_0 t + \phi_0). \quad (11)$$

Реализация аналоговой модуляции с помощью MATLAB:

```

x = 0:0.01:4*pi;
f0 = 0.2;
% Исходный сигнал
y = sin(2*pi*f0*x);
figure
plot(x(1:500),y(1:500), 'LineWidth', 2)
grid
% Спектр исходного сигнала
spectrum = fft(y, 512);
norm_spectrum = spectrum.*conj(spectrum)/512;
f = 100*(0:255)/512;
figure
plot(f, norm_spectrum(1:256), 'LineWidth', 2)
axis([0 max(f) 0 40])
grid
% Амплитудная модуляция
Fc = 5*f0;
Fs = 50*f0;
U = ammod(y, Fc, Fs, 0, 1);
figure
plot(x(1:500), U(1:500))
grid
% Спектр модулированного сигнала
u_spectrum = fft(U, 512);
norm_u_spectrum = u_spectrum.*conj(u_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_u_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 30])
grid

```

В результате выполнения приведенного кода были получены следующие характеристики:

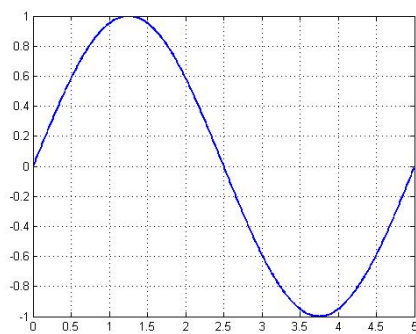


Рис. 28: Исходный гармонический сигнал

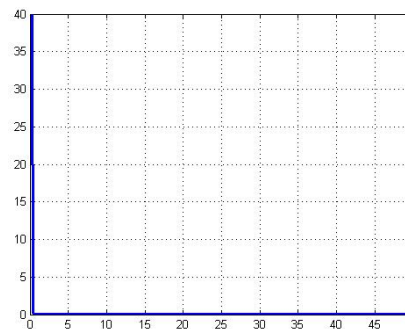


Рис. 29: Спектр исходного сигнала

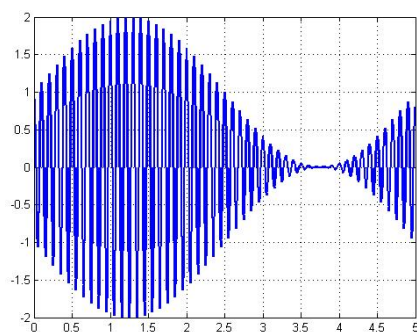


Рис. 30: Модуляция с $M = 1$

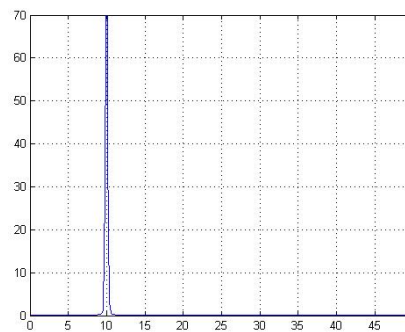


Рис. 31: Спектр АМ-сигнала ($M = 1$)

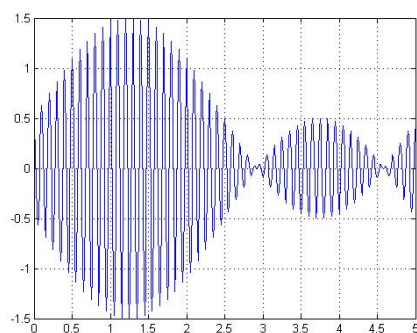


Рис. 32: Модуляция с $M = 2$

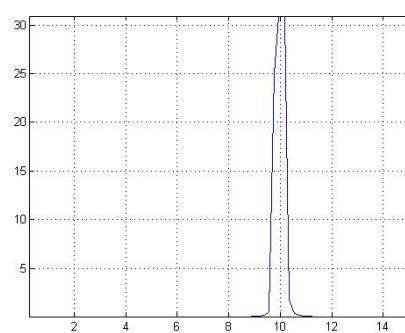


Рис. 33: Спектр АМ-сигнала ($M = 2$)

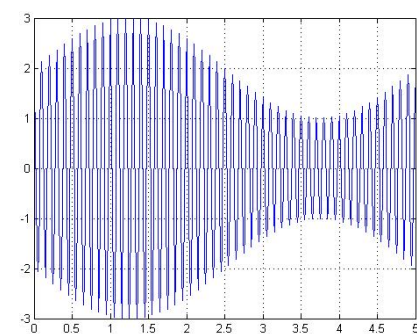


Рис. 34: Модуляция с $M = 0.5$

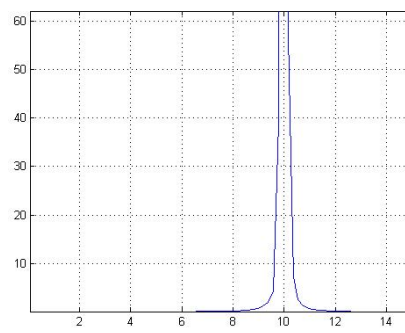


Рис. 35: Спектр АМ-сигнала ($M = 0.5$)

При балансной модуляции (АМ с подавлением несущей) производится перемножение двух сигналов - модулирующего и несущего, при котором происходит подавление несущего колебания, соответственно, КПД модуляции становится равным 100%. Физическая сущность подавления несущей заключается в том, что при переходе огибающей биений $U(t)$ через 0 фаза несущей частоты высокочастотного заполнения изменяется на 180° .

Реализация аналоговой модуляции с подавлением несущей с помощью MATLAB:

```
% Амплитудная модуляция с подавлением несущей
Fc = 10*f0;
Fs = 100*f0;
U = ammod(y, Fc, Fs);
figure
plot(x(1:500), U(1:500), 'LineWidth', 2)
grid
% Спектр модулированного сигнала
u_spectrum = fft(U, 512); norm_u_spectrum =
u_spectrum.*conj(u_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_u_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 30])
grid
```

В результате выполнения приведенного кода были получены следующие характеристики:

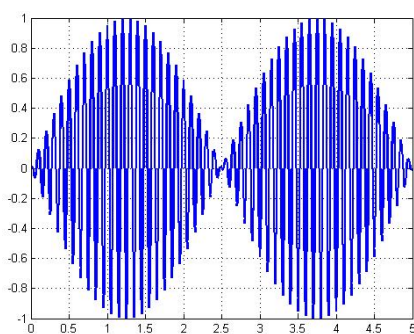


Рис. 36: АМ-сигнал с подавлением несущей

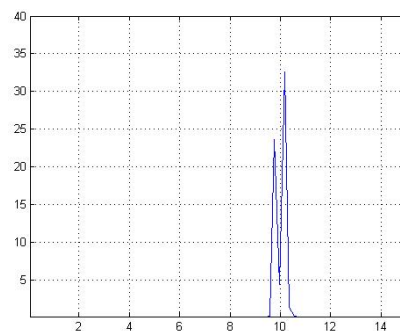


Рис. 37: Спектр АМ-сигнала с подавлением

Спектры двух боковых полос АМ-сигнала являются зеркальным отражением друг друга, т.е. они несут одну и ту же информацию. Поэтому одну из боковых полос можно удалить.

Для этого был использован следующий код MATLAB:

```
% Однополосная амплитудная модуляция
Fc = 10*f0;
Fs = 100*f0;
```



```

U = ssbmod(y, Fc, Fs, [], 'upper');
figure
plot(x(1:500), U(1:500), 'LineWidth', 2)
grid
% Спектр модулированного сигнала
u_spectrum = fft(U, 512); norm_u_spectrum =
u_spectrum.*conj(u_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_u_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 30])
grid

```

В результате выполнения приведенного кода были получены следующие графики:

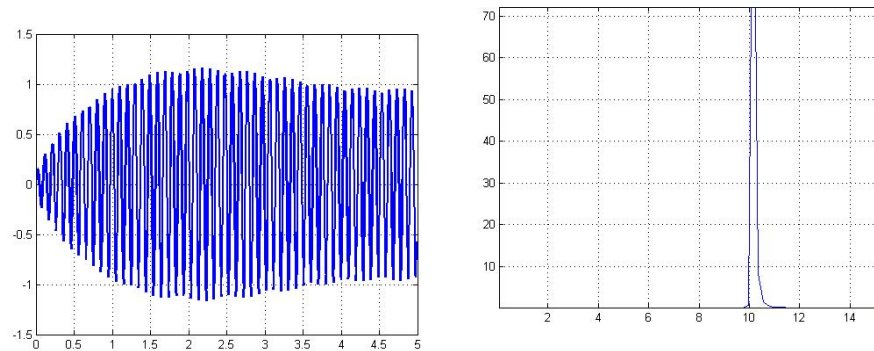


Рис. 38: Однополосный АМ-сигнал

Рис. 39: Спектр однополосного АМ-сигнала

Синхронное детектирование является одним из способов демодуляции АМ-сигнала. Его суть состоит в умножении частоты сигнала на опорное колебание с несущей частотой. Результат умножения содержит два слагаемых: искомая амплитуда и АМ-сигнал с несущей частотой $2\omega_0$, который легко удаляется путем пропускания сигнала через ФНЧ.

Ниже приведен реализующий синхронное детектирование код MATLAB:

```

% Синхронное детектирование
z = ssbdemod(U, Fc, Fs, 0, b, a);
figure
plot(x(1:1000), z(1:1000))
grid
% Спектр демодулированного сигнала
du_spectrum = fft(U, 512);
norm_du_spectrum = du_spectrum.*conj(du_spectrum)/512;
figure
plot(f, norm_du_spectrum(1:256))
axis([0 max(f) 0 70])
grid

```

В результате синхронного детектирования демодулированный сигнал полностью совпал с исходным сигналом:

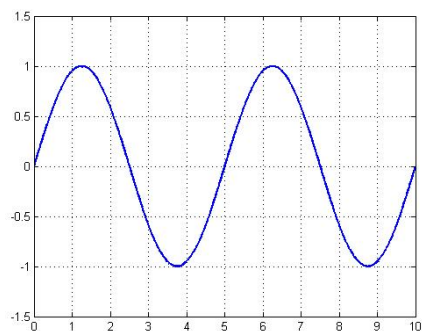


Рис. 40: Демодулированный AM- сигнал

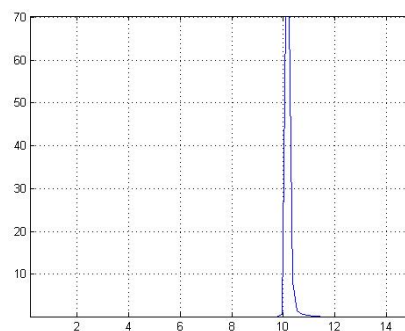


Рис. 41: Спектр демодулированного сигнала

В ходе работы был рассчитан КПД модуляции при различных значениях глубины M :

- $M = 1$: 0.33;
- $M = 2$: 0.67;
- $M = 0.5$: 0.11.

Однополосная модуляция/демодуляция в среде Simulink

Для моделирования амплитудной однополосной модуляции и демодуляции использовались блоки SSB AM Modulator/Demodulator Passband. Результаты моделирования приведены на Рис. 42-45:

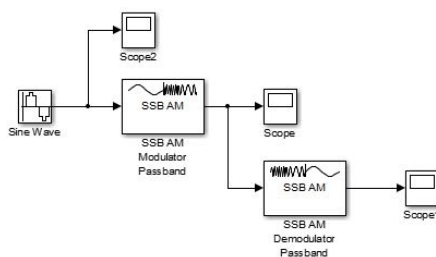


Рис. 42: Схема однополосной модуляции/демодуляции

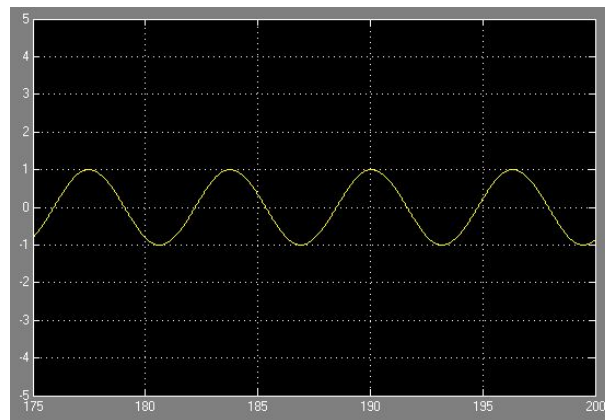


Рис. 43: Исходный сигнал

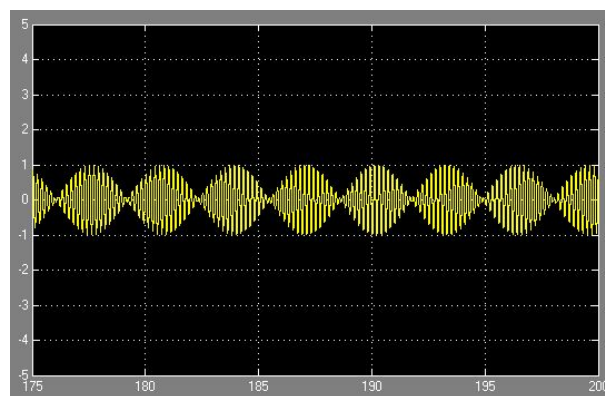


Рис. 44: АМ-сигнал

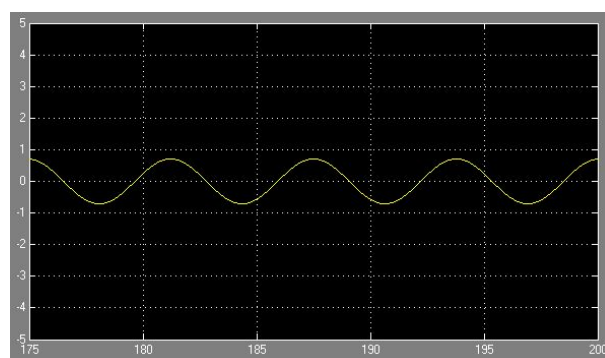


Рис. 45: Демодулированный АМ-сигнал

Для моделирования балансной однополосной модуляции и демодуляции использовались блоки DSBSC AM Modulator/Demodulator Passband. Исходный сигнал тот же (Рис. 43). Результаты моделирования приведены на Рис. 46-48:

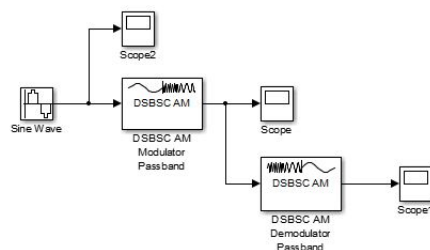


Рис. 46: Схема балансной модуляции/демодуляции

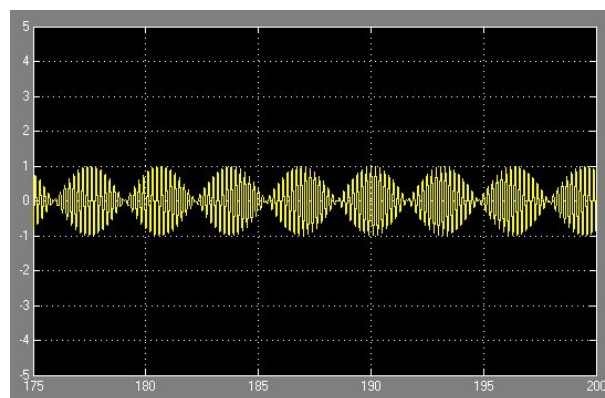


Рис. 47: БАМ-сигнал

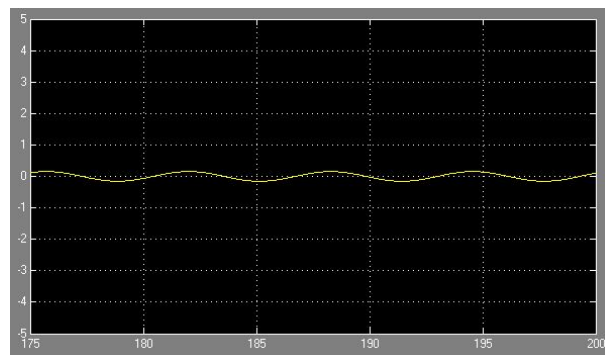


Рис. 48: Демодулированный БАП-сигнал

5.5 Выводы

В ходе выполнения лабораторной работы был сгенерирован однотоальный сигнал низкой частоты, выполнена АМ сигнала и получен спектр модулированного сигнала. Также была выполнена БАП и однополосная АМ и получены их спектры. Произведено синхронное детектирование и получен исходный однополосный сигнал. Рассчитан КПД модуляции.

АМ применяется на сравнительно низких частотах (не выше коротких волн). Это обусловлено низким КПД использования энергии модулированных сигналов.

Ширина спектра АМ-сигнала с подавленной несущей, как в случае с обычной АМ, в два раза больше, чем у модулирующего сигнала. Но при БАП производится перемножение двух сигналов – модулирующего и несущего, при котором происходит подавление несущего колебания, соответственно, КПД модуляции становится равным 100%.

Двухполосная АМ с подавленной несущей имеет преимущества перед обычной АМ только в энергетическом плане - за счет устранения несущего колебания, ширина спектра при этом по-прежнему вдвое больше, чем у модулирующего сигнала. Однако спектры двух боковых полос АМ-сигнала являются зеркальным отражением друг друга, поэтому одну из боковых полос можно удалить.

Однополосный сигнал можно представить как сумму двух АМ-сигналов, несущие колебания которых имеют одну и ту же частоту, но сдвинуты по фазе относительно друг друга на 90° .

Синхронное детектирование является одним из способов демодуляции АМ-сигнала. Его суть состоит в умножении частоты сигнала на опорное колебание с несущей частотой. Результат умножения содержит два слагаемых: искомая амплитуда и АМ-сигнал с несущей частотой $2\omega_0$, который легко удаляется путем пропускания сигнала через ФНЧ. В нашем случае использовался фильтр Баттерворта.