Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования

ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ
(ТУСУР)

Кафедра радиотехнических систем (РТС)

Утверждаю:
зав. кафедрой РТС,
профессор, д.т.н.
_____________ С.В. Мелихов
«__»_____________2016 г.

ВВЕДЕНИЕ В СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

ЧАСТЬ 2

Учебно-методическое пособие по лабораторному практикуму
для студентов специальности 210601.65 (11.05.01)
«Радиоэлектронные системы и комплексы»

Разработчик:
ассистент каф. РТС, к.т.н.
_____________ Ф.Н. Захаров
«__»_____________2016 г.

Томск 2016

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

СПЕКТРЫ СИГНАЛОВ

Цель работы: изучение спектров различных радиотехнических сигналов и получение навыков использования преобразования Фурье в среде MATLAB.

1.1 Понятие «сигнал»

В наиболее общей формулировке *сигнал* - это зависимость одной величины от другой (то есть с математической точки зрения сигнал является функцией) [1]. Чаще всего рассматриваются зависимости от времени, хотя это не обязательно. Например, в системах оптической обработки информации сигналом может являться зависимость интенсивности света от пространственных координат. Физическая природа сигнала может быть весьма различной. Очень часто это напряжение, несколько реже – ток, возможны и многие другие физические величины.

В данных лабораторных работах подразумевается, что *сигнал* представляет собой *зависимость напряжения от времени*.

1.2 Классификация сигналов [1]

В зависимости от того, известен ли нам сигнал точно, различают *детерминированные* и *случайные* сигналы. Детерминированный сигнал полностью известен – его значение в любой момент времени можно определить точно. Случайный же сигнал в любой момент времени представляет собой случайную величину, которая принимает конкретные значения с некоторой вероятностью. В данном курсе будем рассматривать в основном детерминированные сигналы.

Еще один признак классификации сигналов, существенно влияющий на методы их анализа, – *периодичность*. Для периодического сигнала с периодом T выполняется соотношение

$$s(t+nT)=s(t) \text{ при любом } t, \tag{1.1}$$

где n – произвольное целое число. Если величина T является периодом сигнала $s(t)$, то периодами для него будут и кратные ей значения: $2T$, $3T$ и т. д. Как правило, говоря о периоде сигнала, имеют в виду минимальный из возможных периодов.

Величина, обратная периоду, называется частотой повторения сигнала: $f = 1/T$. В теории сигналов также часто используется понятие круговой частоты $\omega = 2\pi f$, измеряемой в радианах в секунду.

Следующий класс – сигналы *конечной длительности* (их еще называют финитными сигналами). Такие сигналы отличны от нуля только на ограниченном промежутке времени. Иногда говорят, что сигнал существует на конечном временном интервале.

Перейдем к более узким классам сигналов. Очень важную роль в технике обработки сигналов играют гармонические колебания, которые в самом общем виде записываются следующим образом:

$$s(t)=A\cos(\omega t+\varphi). \tag{1.2}$$

Гармонический сигнал полностью определяется тремя числовыми параметрами: амплитудой A, частотой ω и начальной фазой φ.

Гармонический сигнал является одним из широко распространенных тестовых сигналов, применяющихся для анализа характеристик цепей.

1.3 Разложение сигнала на гармонические составляющие

Любой радиосигнал можно представить в виде суммы отдельных гармонических составляющих [2]:

$$s(t)=\frac{A_0}{2}+\sum_{n=1}^{\infty}A_n\sin(n\omega_0 t)+\sum_{n=1}^{\infty}B_n\cos(n\omega_0 t). \tag{1.3}$$

Такая сумма называется *рядом Фурье*. Коэффициенты Фурье A_0, A_n и B_n зависят от формы сигнала $s(t)$ и могут быть рассчитаны по формулам [2]:

$$A_0=\frac{2}{T}\int_0^T s(t)\,dt, \tag{1.4}$$

$$A_n=\frac{2}{T}\int_0^T s(t)\sin(n\omega_0 t)\,dt, \tag{1.5}$$

$$B_n=\frac{2}{T}\int_0^T s(t)\cos(n\omega_0 t)\,dt, \tag{1.6}$$

где A_0 – постоянная составляющая; n – номер гармоники колебания.

На рис. 1.3 показан прямоугольный сигнал, а на рис. 1.4 его аппроксимация рядом Фурье. Чем больше число учитываемых компонент ряда (*гармоник*), тем ближе сигнал к идеальной прямоугольной форме.

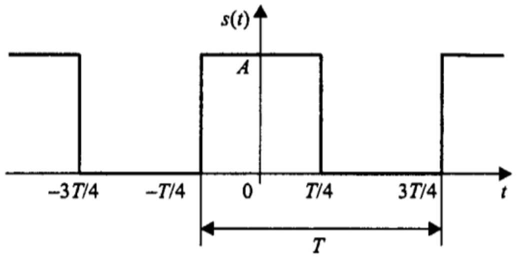

Рис. 1.3 Последовательность прямоугольных импульсов [1]

Длительность τ прямоугольных импульсов на рис. 1.3 равняется половине периода следования импульсов T. То есть длительности импульсов и промежутков между ними равны. Такой тип последовательности прямоугольных импульсов называется *меандр*.

Гармонические составляющие, из которых складывается меандр, имеют амплитуды, обратно пропорциональные номерам гармоник, и чередующиеся знаки. Ниже приведён пример в MATLAB восстановления меандра через сумму нескольких гармонических составляющих [1], а результат работы программы представлен на рис. 1.4.

```
N = 8;             % число ненулевых гармоник
t = -1:0.01:1;     % вектор моментов времени
A = 1;             % амплитуда
T = 1;             % период
nh = (1:N)*2-1;    % номера ненулевых гармоник
% строки - гармоники
harmonics = cos(2*pi*nh'*t/T);
Am = 2/pi./nh;                % амплитуды гармоник
Am(2:2:end) = -Am(2:2:end);   % чередование знаков
s1 = harmonics .* repmat(Am', 1, length(t));
% строки - частичные суммы гармоник
s2 = cumsum(s1);
for k=1:N, subplot(4, 2, k), plot(t, s2(k,:)), end
```

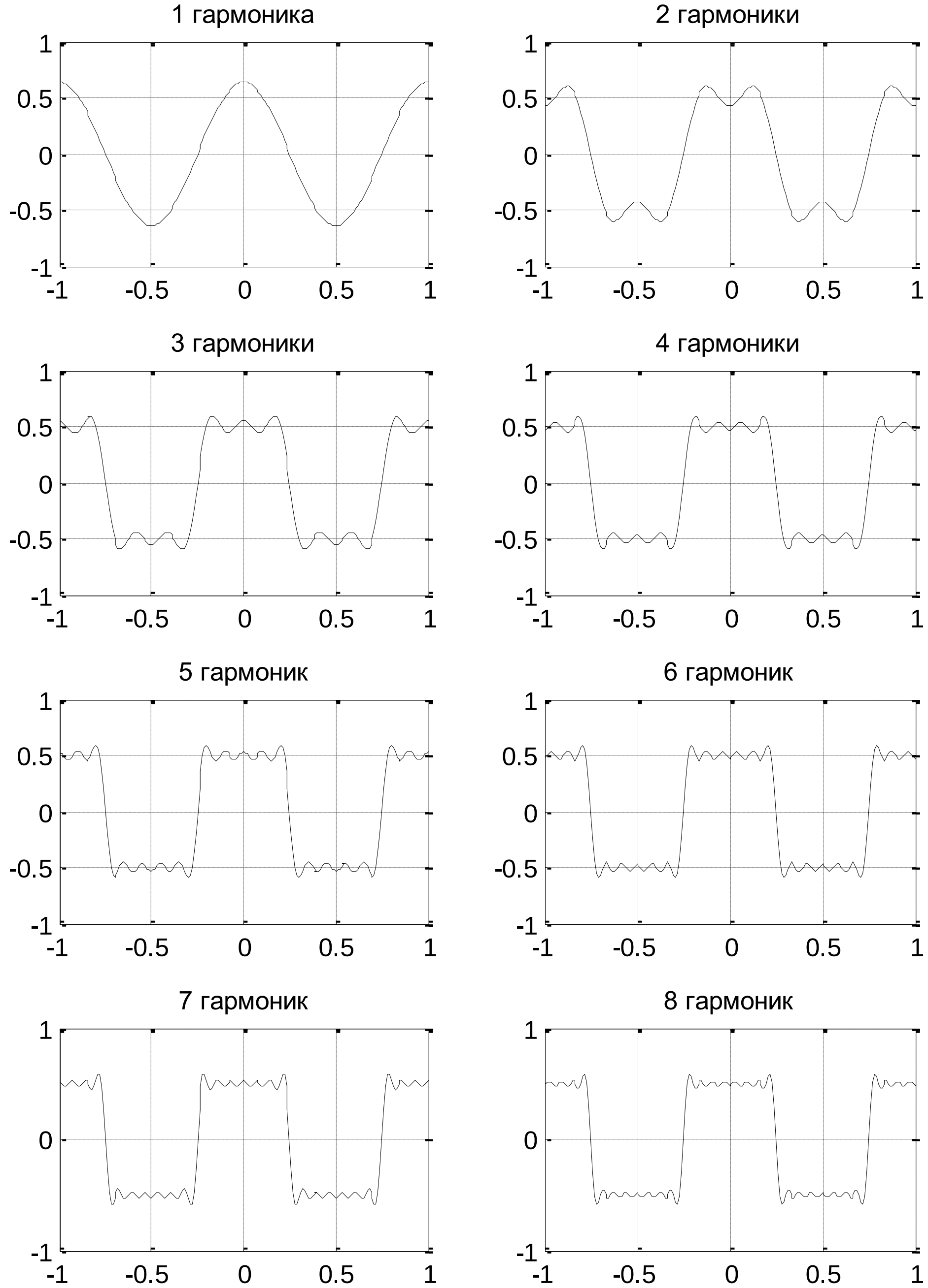

Рис. 1.4 Аппроксимация прямоугольного сигнала суммой нескольких синусоидальных колебаний (гармоник)

1.4 Спектр сигнала

Если какой-либо сигнал представлен в виде суммы гармонических колебаний с различными частотами, то говорят, что осуществлено *спектральное разложение* этого *сигнала* [3]. Отдельные гармонические компоненты сигнала образуют его **спектр**. То есть, другими словами спектр радиосигнала представляет собой распределение напряжения (амплитуд гармоник) по частоте.

Амплитуды гармоник можно вычислить следующим образом

$$S_n = \sqrt{A_n^2 + B_n^2}.$$

Спектральная диаграмма сигнала – это графическое изображение коэффициентов ряда Фурье для конкретного сигнала (рис. 1.5). Здесь по горизонтальной оси в некотором масштабе отложены частоты гармоник, а по вертикальной оси представлены их амплитуды.

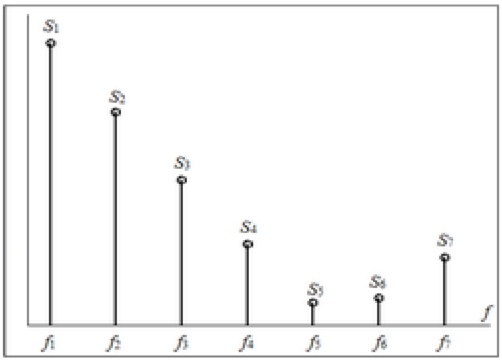

Рис. 1.5 Спектральная диаграмма для некоторого периодического сигнала

Спектральная диаграмма позволяет судить о процентном содержании тех или иных гармоник в спектре сигнала.

На рисунке 1.6 показаны спектры гармонического и периодического прямоугольного сигналов.

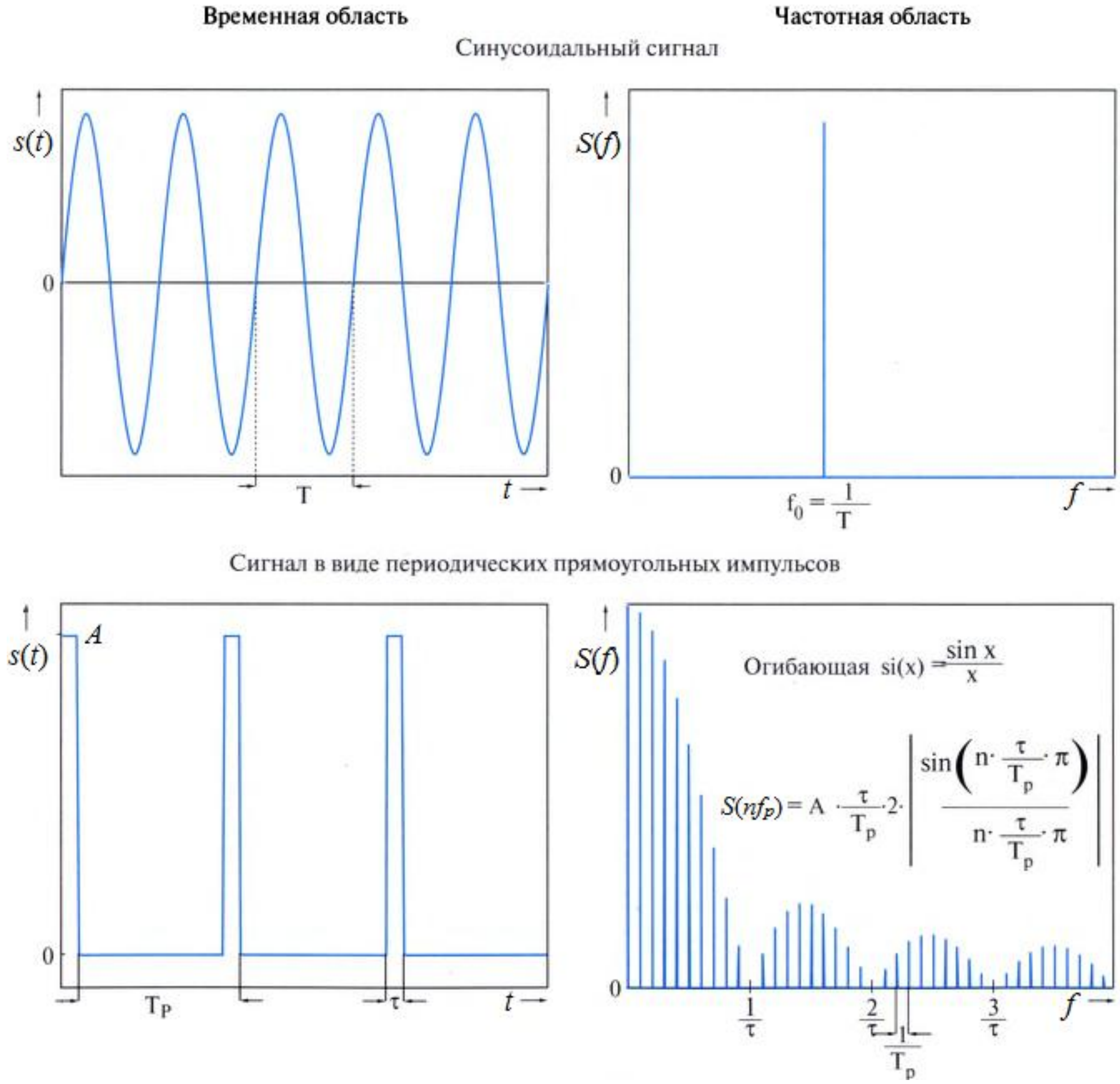

Рис. 1.6 Периодические сигналы во временной и частотной областях [2]

Спектр сигнала является чётной функцией, поэтому в области отрицательных частот спектральная характеристика буде такой же, как и для положительных частот.

1.5 Преобразование Фурье

Электрические сигналы можно анализировать во временной области с помощью осциллографов и в частотной области с помощью анализаторов спектра. Два режима наблюдения (анализа) связаны друг с другом *преобразованием Фурье* (обозначаемым обычно буквой *F*), поэтому каждый сигнал, изменяющийся во времени, имеет характерный частотный спектр. В этом случае имеют место следующие соотношения [2]:

$$S(f) = F\{s(t)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t) \cdot e^{-j2\pi ft} dt \tag{1.7}$$

$$s(t) = F^{-1}\{S(f)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} S(f) \cdot e^{j2\pi ft} df \tag{1.8}$$

где $j = \sqrt{-1}$ – мнимая единица, $s(t)$ – сигнал во временной области, $S(f)$ – сигнал в частотной области, $F\{s(t)\}$ – преобразование Фурье от сигнала $s(t)$, $F^{-1}\{S(f)\}$ – обратное преобразование Фурье от спектра $S(f)$.

Используя точное определение, *преобразование Фурье* – это преобразование функции, превращающее её в совокупность частотных составляющих. Преобразование Фурье - интегральное преобразование, раскладывающее исходную функцию по базисным функциям, в качестве которых выступают синусоидальные функции, то есть представляет исходную функцию в виде интеграла синусоид различной частоты, амплитуды и фазы.

1.6 Прямое и обратное преобразование Фурье в MATLAB

Для выполнения прямого и обратного ДПФ в MATLAB служат функции `fft` и `ifft`:

`y = fft(x)` – вычисляет прямое ДПФ для вектора *x*; если *x* — матрица, преобразование производится для каждого ее столбца по отдельности;

`y = fft(x, N)` – предварительно приводит исходные данные к размеру *N*, урезая их или дополняя нулями;

`x = ifft(y)` и `x = ifft(y, N)` – аналогичные варианты вызова для функции обратного ДПФ.

Функции `fft` и `ifft` входят в базовую библиотеку MATLAB. Вычисления организованы так, что реализуется максимально возможное для каждой длины исходного вектора ускорение вычислений: длина вектора (число строк в матрице) *x* раскладывается на простые множители, число этих множителей соответствует количеству ступеней БПФ, а сами множители определяют коэффициенты прореживания на разных ступенях БПФ.

Особенностью функции `fft` является то, что на её выходе получается массив, элементы которого соответствуют как положительным, так и отрицательным частотам. Причём, первая половина элементов соответствует частотам от 0 до $\Delta F_d \cdot N/2 - \Delta F_d$, а вторая половина от $-\Delta F_d \cdot N/2 = -F_d/2$ до $-\Delta F_d$, где F_d – частота дискретизации сигнала $s(t)$, $\Delta F_d = F_d / N$ - шаг изменения частоты, N – размерность массива. Данная особенность поясняется рисунком 1.7, где показан спектр прямоугольного импульса при $N = 8$.

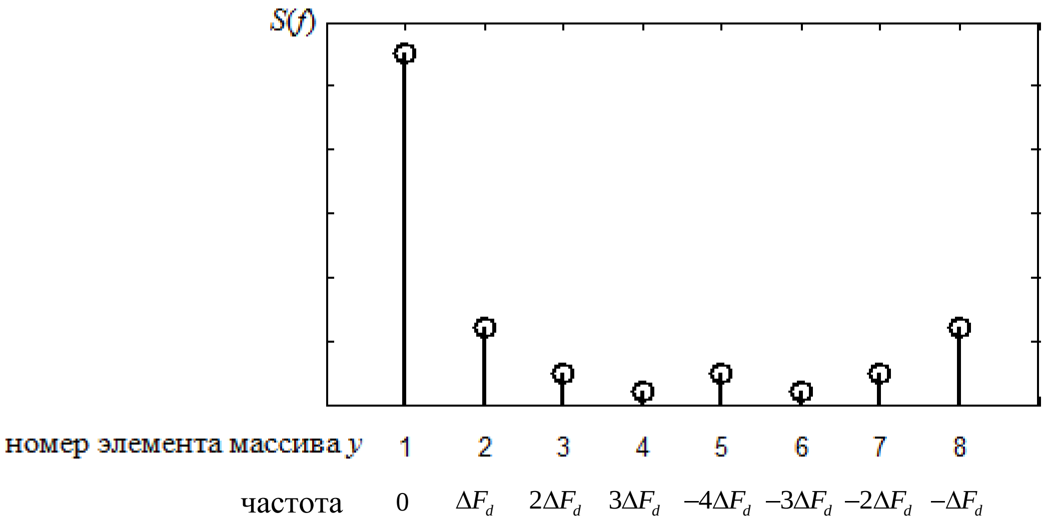

Рис. 1.7 Массив амплитуд на выходе функции `fft` при $N = 8$

Функция `fftshift`

При выводе спектральных графиков иногда желательно, чтобы нулевая частота находилась в центре, а диапазон отображаемых частот простирался от $-F_d / 2$ до $F_d / 2 - \Delta F_d$. Сделать это позволяет функция `fftshift`, которая меняет местами половины переданного ей вектора:

```
y = fftshift(x)
```

Результат применения функции `fftshift` к массиву, приведённому на рис. 1.7 показан на рис. 1.8.

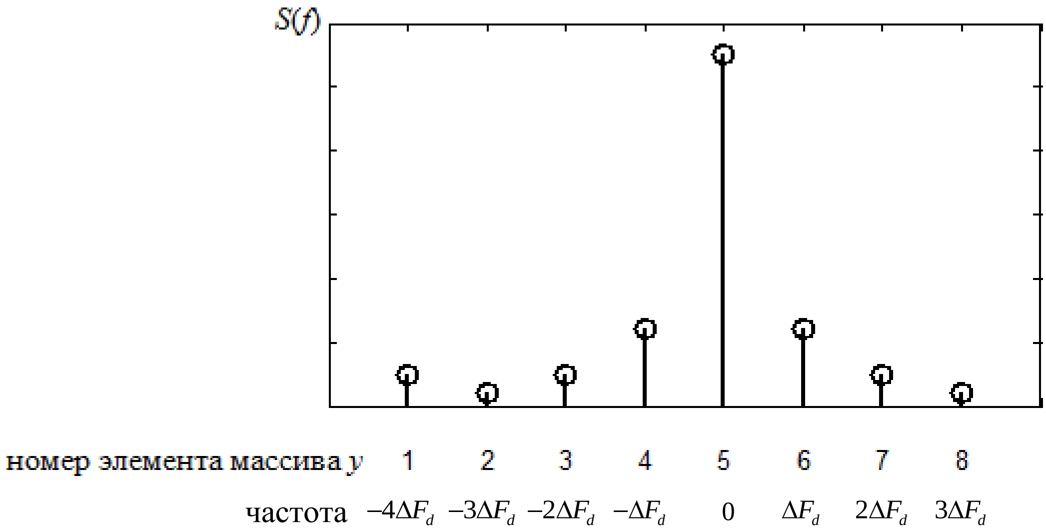

Рис. 1.8 Массив спектральных амплитуд после применения функции `fftshift`

Как видно из рис. 1.8, в случае четной длины происходит перестановка половин входного вектора. В случае нечетной длины перестановка выполняется так, чтобы первый элемент, соответствующий нулевой частоте, стал *средним элементом* результирующего вектора [1].

1.7 Задание на лабораторную работу

Работа выполняется в среде MATLAB с использованием стандартных функций. В ходе выполнения лабораторной работы необходимо сделать следующее.

1. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = A\cos(2\pi ft)$, где A – амплитуда сигнала, f – несущая частота, $t \in [0, T]$ – время наблюдения сигнала. Значения параметров A, f, и T берутся из таблицы 1.1.

Таблица 1.1 Значения параметров A, f, и T.

Номер варианта	***A*, В**	***f*, кГц**	***T*, мс**	**Номер варианта**	***A*, В**	***f*, кГц**	***T*, мс**
1	3	10	1	13	1,6	3	2
2	1	9	1,5	14	1,8	8	1
3	0,5	8	0,5	15	2,5	6	1,5
4	2,5	7	1	16	4	4	2,5
5	5	6	1,5	17	7	1	5
6	0,1	5	5	18	0,1	10	0,5
7	0,15	4	2	19	0,19	7	1,5
8	1,2	2	12	20	3,6	3	3
9	3,5	1	10	21	5,5	5	2
10	4	0,5	11	22	4,1	9	0,5
11	3	4	2	23	0,9	1	10
12	2,3	5	1	24	1,1	2	4

2. Построить спектр сигнала $s_1(t)$ с использованием функции `fft`. Для получения наглядного графика спектра необходимо использовать функцию `fftshift` и строить модуль значений спектральных составляющих.

3. Задать сигнал, описываемый функцией $s_2(t) = C + A\cos(2\pi ft)$, где C – постоянный уровень сигнала, значение которого берётся из таблицы 1.2. A, f, и T те же, что и в п.1. Построить спектр данного сигнала.

Таблица 1.2 Значения параметра C

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8
***C*, В**	2	2,5	3	6	1	0,5	3,5	7
Вариант	9	10	11	12	13	14	15	16
***C*, В**	9	6	5	2	8,2	4,1	3	2,3
Вариант	17	18	19	20	21	22	23	24
***C*, В**	5,5	2,9	2,4	6,1	1,7	3,1	3,3	2,7

4. Задать одиночный прямоугольный импульс амплитудой A, длительностью $\tau = T/10$ и начальным смещением $t_0 = T/5$ при времени наблюдения T:

$$s_3(t) = \begin{cases} A, & t_0 \le t \le (t_0 + \tau), \\ 0, & t < t_0, t > (t_0 + \tau). \end{cases}$$

Построить спектр сигнала $s_3(t)$.

5. Задать последовательность прямоугольных импульсов с начальным смещением

$t_0 = 0$, периодом повторения $T_p = T/2$ и временем наблюдения $5T$. Амплитуда A и длительность импульса τ те же, что и в п.4. Построить спектр данного сигнала.

6. Экспериментальным методом определить, как влияют длительность импульса τ и период повторения T_p на форму спектра последовательности прямоугольных импульсов.

7. Сделать выводы и написать отчёт.

1.8 Рекомендации по выполнению лабораторной работы

Хорошее и понятное описание теории спектрального анализа сигналов можно посмотреть по ссылке http://habrahabr.ru/post/112068/.

Шаг изменения времени Δt при определении сигналов в MATLAB необходимо выбирать таким образом, что бы на интервале [0, T] было 1000 отсчётов. Частота дискретизации определяется величиной Δt и вычисляется по формуле:

$$F_d = \frac{1}{\Delta t}.$$

При построении спектра сигнала необходимо учитывать отрицательные частоты, а для удобства отображения результатов вместо функции `plot` рекомендуется использовать функцию `stem`.

Для формирования прямоугольных импульсов можно воспользоваться функциями `ones` и `zeros`:

функция `Y = ones(m, n)` формирует массив единиц размера m x n;

функция `Y = zeros(m, n)` формирует массив нулей размера m x n.

1.9 Содержание отчёта

Отчёт оформляется в соответствии с образовательным стандартом ТУСУР и содержит следующие элементы:

1) титульный лист;
2) цель работы;
3) краткое изложение задания;
4) основная часть (полученные результаты с подробным описанием);
5) ответы на все контрольные вопросы;
6) выводы.

Требования к оформлению графиков:

1) все графики должны быть чёткими и наглядными;
2) каждый график должен иметь подпись, поясняющая это график;
3) оси на графиках должны быть подписаны, на осях указана размерность;
4) на графиках должна быть изображена сетка.

1.10 Контрольные вопросы

1. Сигнал вида $\sin(2\pi t)$ является случайным или детерминированным?
2. Изобразите гармонический сигнал с периодом N секунд, где N номер варианта. Определите частоту этого сигнала.
3. Что такое тестовый сигнал?
4. Что такое меандр?
5. Что такое спектр сигнала?
6. Как можно получить спектр сигнала?

7. Какая особенность функции `fft` в MATLAB?

2. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

СПЕКТРЫ СУММЫ НЕСКОЛЬКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: изучение спектров смеси нескольких гармонических сигналов и закрепление навыков использования преобразования Фурье в среде MATLAB.

2.1 Задание на лабораторную работу

1. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = C + A\cos(2\pi ft) + A\cos(4\pi ft)$, где A – амплитуда сигнала, f – несущая частота, $t \in [0, T]$ – время наблюдения сигнала. Значения параметров A, f, и T берутся из таблицы 1.1. C – постоянная составляющая сигнала, значение которого берётся из таблицы 1.2. Построить спектр данного сигнала.
2. Задать сигнал, описываемый функцией $s_2(t) = C + A\cos(2\pi ft) + 0,5A\cos(6\pi ft) + 3A\cos(\pi ft)$, и построить его спектр.
3. Задать сигнал, описываемый функцией $s_3(t) = 0,002\cos(2\pi ft) + 0,002\sin(2\pi ft)$, и построить его спектр.

2.2 Рекомендации по выполнению лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы следует руководствоваться полученными ранее знаниями и навыками.

2.3 Содержание отчёта

Отчёт оформляется в соответствии с образовательным стандартом ТУСУР и содержит следующие элементы:

1) титульный лист;
2) цель работы;
3) краткое изложение задания;
4) основная часть (полученные результаты с подробным описанием);
5) ответы на все контрольные вопросы;
6) выводы.

Требования к оформлению графиков:

5) все графики должны быть чёткими и наглядными;
6) каждый график должен иметь подпись, поясняющая это график;
7) оси на графиках должны быть подписаны, на осях указана размерность;
8) на графиках должна быть изображена сетка.

2.4 Контрольные вопросы

1. Чем отличается спектр сигнал вида $A\cos(2\pi ft)$ от сигнала $A\cos(2\pi ft) + A\sin(2\pi ft)$?
2. Как будет выглядеть спектр сигнала $\sum_{i=1}^{\infty}\cos(2\pi ift)$?
3. Как по спектру сигнала можно определить наличие постоянной составляющей в этом сигнале?

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3

СПЕКТРЫ ПРОИЗВЕДЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: изучение спектров произведения различных сигналов и закрепление навыков использования преобразования Фурье в среде MATLAB.

3.1 Задание на лабораторную работу

1. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = A\cos\left(2\pi ft\right)\cdot\cos\left(2\pi ft\right)$, где *A* – амплитуда сигнала, *f* – несущая частота, $t \in \left[0, T\right]$ – время наблюдения сигнала. Значения параметров *A*, *f*, и *T* берутся из таблицы 1.1. Построить спектр данного сигнала.

2. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = A\cos\left(2\pi ft\right)\cdot\sin\left(2\pi ft\right)$, и построить его спектр.

3. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = A\cos\left(2\pi ft\right)\cdot\cos\left(\pi ft\right)$, и построить его спектр.

4. Задать сигнал, описываемый функцией $s_1(t) = A\cos\left(2\pi ft\right)\cdot\sin\left(6\pi ft\right)$, и построить его спектр.

5. Построить спектр радиоимпульса амплитудой *A*, длительностью $\tau = T/10$ и начальным смещением $t_0 = T/5$ при времени наблюдения *T*. Частоту гармонического колебания взять равной 3*f*.

Примечание. Радиоимпульс представляет собой прямоугольный импульс, заполненный гармоническим колебанием (см. рис. 3.1). Получить радиоимпульс можно перемножением непрерывного гармонического колебания и прямоугольного импульса.

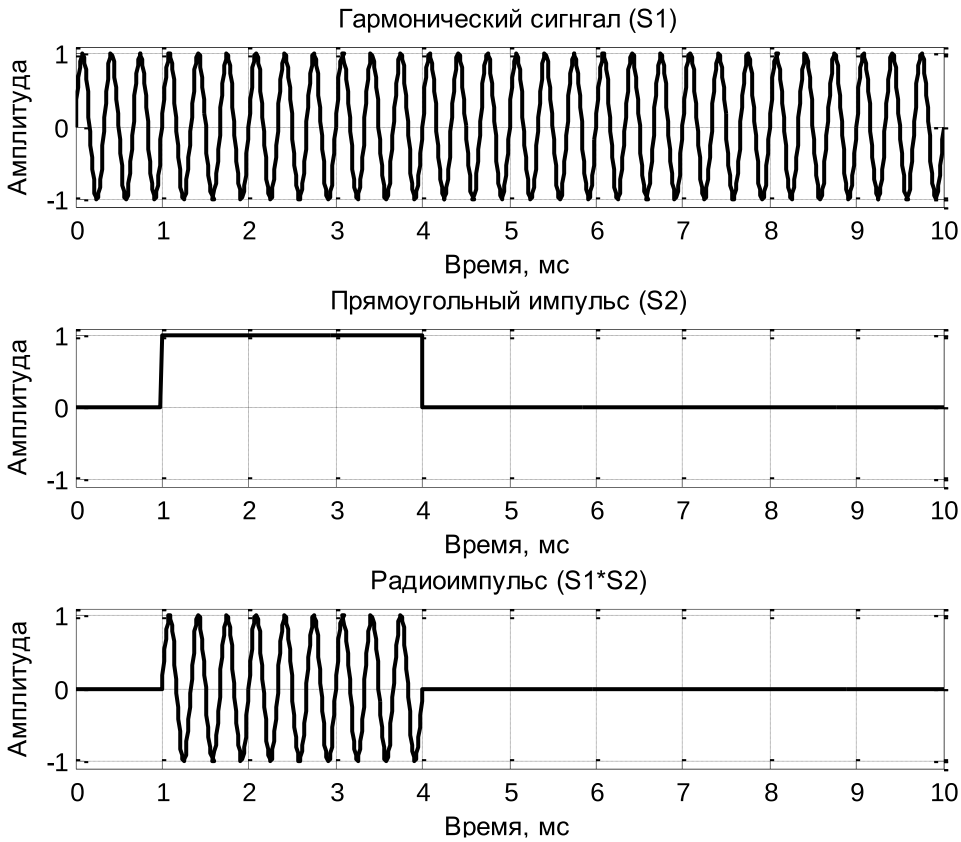

Рис. 3.1 – Способ формирования прямоугольного радиоимпульса

3.2 Рекомендации по выполнению лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы следует руководствоваться полученными ранее знаниями и навыками.

3.3 Содержание отчёта

Отчёт оформляется в соответствии с образовательным стандартом ТУСУР и содержит следующие элементы:

1) титульный лист;
2) цель работы;
3) краткое изложение задания;
4) основная часть (полученные результаты с подробным описанием);
5) ответы на все контрольные вопросы;
6) выводы.

Требования к оформлению графиков:

1) все графики должны быть чёткими и наглядными;
2) каждый график должен иметь подпись, поясняющая это график;
3) оси на графиках должны быть подписаны, на осях указана размерность;
4) на графиках должна быть изображена сетка.

3.4 Контрольные вопросы

1. Доказать, что спектры сигналов пп. 1–4 (раздел 3.1) построены правильно.
2. Как изменится спектр радиоимпульса, если частоту гармонического колебания увеличить в два раза?
3. Как изменится спектр радиоимпульса, если частоту гармонического колебания принять равной 100 ГГц?
4. Как изменится спектр радиоимпульса, если длительность прямоугольного импульса уменьшить в два раза?

4. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ СИГНАЛОВ С АМПЛИТУДНОЙ И ЧАСТОТНОЙ МОДУЛЯЦИЯМИ

Цель работы: изучение принципа амплитудной и частотной модуляций и рассмотрение спектров модулированных сигналов.

4.1 Виды модуляции

Сигналы, поступающие от источника сообщений (микрофон, видеокамера, измерительный датчик и т.п.), как правило, не могут быть непосредственно переданы по радиоканалу. Причина заключается в их низкочастотности. Чтобы осуществить эффективную передачу сигналов, необходимо перенести спектр этих сигналов из низкочастотной области в область достаточно высоких частот. Данная процедура получила в радиотехнике название *модуляции*.

Одними из видов модуляции являются амплитудная и частотная.

4.2 Амплитудная модуляция

Амплитудная модуляция (АМ) является наиболее простым и очень распространённым в радиотехнике способом информации в высокочастотное (ВЧ) колебание. Данное ВЧ колебание называется *несущим колебанием*, а частота этого колебания – *несущей частотой*. При АМ огибающая амплитуд несущего колебания изменяется по закону, совпадающему с законом изменения передаваемого сообщения $a(t)$, частота же и начальная фаза колебания поддерживается неизменными. Поэтому для амплитудно-модулированного радиосигнала общее выражение передаваемого сигнала можно записать в виде

$$s(t) = A(t)\cos(\omega_0 t + \varphi), \tag{4.1}$$

где $\omega_0 = 2\pi f_0$; f_0 – несущая частота; $A(t)$ – огибающая ВЧ сигнала, определяемая видом передаваемого сообщения $a(t)$.

При непрерывном сообщении (рис. 4.1, а) *модулированное* колебание приобретает вид, показанный на рис. 4.1, б. Огибающая $A(t)$ совпадает по форме с *модулирующей* функцией, т.е. с передаваемым сообщением $a(t)$.

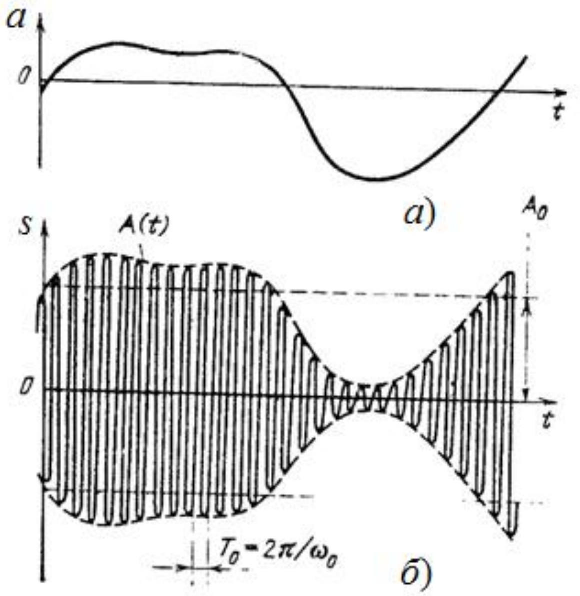

Рис. 4.1 – Модулирующая функция (а) и амплитудно-модулированное колебание (б) [4]

При АМ связь между огибающей ВЧ сигнала $A(t)$ и модулирующим сигналом $a(t)$ определяется следующим образом:

$$A(t) = A_0\left[1 + M \cdot a(t)\right], \qquad (4.2)$$

где A_0 – постоянный коэффициент, равный амплитуде несущего колебания в отсутствии модуляции; *M – коэффициент амплитудной модуляции*, при чём $0 < M \le 1$.

4.3 Частотная модуляция

Частотная модуляция (ЧМ) – вид модуляции при которой передаваемое сообщение $a(t)$ изменяет ***частоту*** несущего колебания. В отличии от АМ сигналов в этом случае амплитуда $A(t)$ несущего колебания остаётся постоянной. Частота несущего колебания определяется выражением:

$$\omega(t) = \omega_0 + k \cdot a(t) \qquad (4.3)$$

где k – параметр, определяющий пределы изменения частоты несущего колебания.

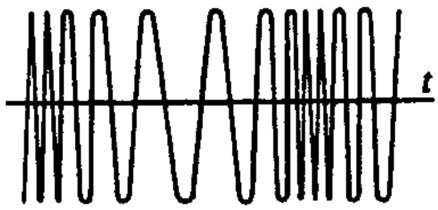

Рис. 4.2 – Осциллограмма типичного сигнала с частотной модуляцией [4]

В случае если модулирующий сигнал $a(t)$ является гармоническим колебанием с единичной амплитудой, то формулу (4.3) можно переписать в виде

$$\omega(t) = \omega_0 + \Delta\omega \cdot \cos(2\pi f t), \qquad (4.4)$$

где $\Delta\omega$ – *девиация* частоты сигнала. Тогда полная фаза ЧМ сигнала определяется выражением

$$\psi(t) = \int_0^t \omega(\tau) d\tau = \omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{2\pi f}\sin(2\pi f t). \qquad (4.5)$$

Следовательно, выражение для ЧМ сигнала будет иметь вид:

$$s(t) = A_0 \cos(\psi(t)) = A_0 \cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{2\pi f}\sin(2\pi f t)\right). \qquad (4.6)$$

4.4 Задание на лабораторную работу

1. Построить амплитудно-модулированный сигнал $s(t)$, если модулирующее колебание $a(t)$ является гармоническим с единичной амплитудой и частотой f, значение которой задано в табл. 1.1. Значение времени наблюдения T также берётся из табл. 1.1. Параметр M принять равным 0,5, значение A_0 приведено в таблице 4.1, а значение несущей частоты f_0 должно быть в 20 раз больше значения частоты f.
2. Построить спектр такого АМ сигнала.
3. Построить амплитудно-модулированный сигнал, если модулирующее колебание является суммой двух гармонических сигналов с единичными амплитудами и частотами f и $3f$. Построить спектр данного сигнала.
4. Экспериментально определить, как влияет параметр M на форму АМ сигнала.

Таблица 4.1 Значения амплитуды A_0 несущего колебания

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
A_0, В	5	7	2	9	10	1	12	13	6	4	16	8
Номер варианта	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
A_0, В	24	19	20	14	18	3	11	21	23	15	22	17

5. Построить частотно-модулированный сигнал при следующих параметрах: центральная частота несущего колебания $f_0 = 30f$, девиация частоты $\Delta f = \Delta\omega/2\pi = 15f$, модулирующее колебание $a(t)$ является гармоническим с единичной амплитудой и частотой f, значение которой задано в табл. 1.1.
6. Построить спектр такого ЧМ сигнала.
7. Построить спектр ЧМ сигнала, если частота девиации равняется $5f$.

4.5 Рекомендации по выполнению лабораторной работы

http://habrahabr.ru/post/158493/

Для получения правильных результатов рекомендуется все величины, вводимые в работе, приводить к единой системе измерений (герцы и секунды).

Количество отсчётов по времени и частоте при определении функций на интервале [0, T] должно быть ровно 10 000. В противном случае полученные результаты будут некорректными.

При выполнении лабораторной работы следует руководствоваться полученными ранее знаниями и навыками.

4.6 Содержание отчёта

Отчёт оформляется в соответствии с образовательным стандартом ТУСУР и содержит следующие элементы:

1) титульный лист;
2) цель работы;
3) краткое изложение задания;
4) основная часть (полученные результаты с подробным описанием);
5) ответы на все контрольные вопросы;
6) выводы.

Требования к оформлению графиков:

1) все графики должны быть чёткими и наглядными;
2) каждый график должен иметь подпись, поясняющая это график;
3) оси на графиках должны быть подписаны, на осях указана размерность;
4) на графиках должна быть изображена сетка.

4.7 Контрольные вопросы

1. Чем различаются сигналы с амплитудной и частотной модуляциями?
2. Чем отличаются модулирующий и модулируемый сигналы?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов. – Спб.: Питер, 2002. – 606 с.
2. Райушер К., Йанссен Ф., Минихольд Р. Основы спектрального анализа: Пер. с англ. С.М. Смольского / Под редакцией Ю.А. Гребенко. – М.: Горячая линия–Телеком, 2006. – 224 с.
3. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 2000. – 462 с.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1986. – 512 с.