



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Радиоэлектроника»

**Методические указания**  
к лабораторной работе  
«Исследование периодических и  
непериодических сигналов»  
по дисциплине

**«Общая теория связи»**

Авторы  
Назарова О. Ю.,  
Звездина М. Ю.

Ростов-на-Дону, 2019



## Аннотация

Методические указания предназначены для студентов очной, заочной форм обучения направления 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи».

## Авторы

к.т.н., доцент кафедры «Радиоэлектроника»  
Назарова О.Ю.,

д.ф.-м.н., профессор кафедры  
«Радиоэлектроника» Звездина М.Ю.



## Оглавление

<b>Цель работы.....</b>	<b>4</b>
<b>Содержание работы .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Исследование периодических сигналов и их спектров ..</b>	<b>4</b>
<b>2. Исследование непериодических сигналов и их спектров .....</b>	<b>11</b>
<b>Контрольные вопросы .....</b>	<b>15</b>
<b>Список литературы .....</b>	<b>16</b>

## ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Исследование непрерывных и финитных во времени сигналов и их спектров.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Из описанной выше теории можно сделать вывод о том, что спектры периодических сигналов и одиночных импульсов различаются: периодические сигналы имеют дискретный спектр, одиночные импульсы – непрерывный спектр. В связи с этим лабораторная работа по исследованию сигналов и их спектров выполняется в два этапа:

- исследование периодических сигналов и их спектров;
- исследование одиночных импульсов и их спектров.

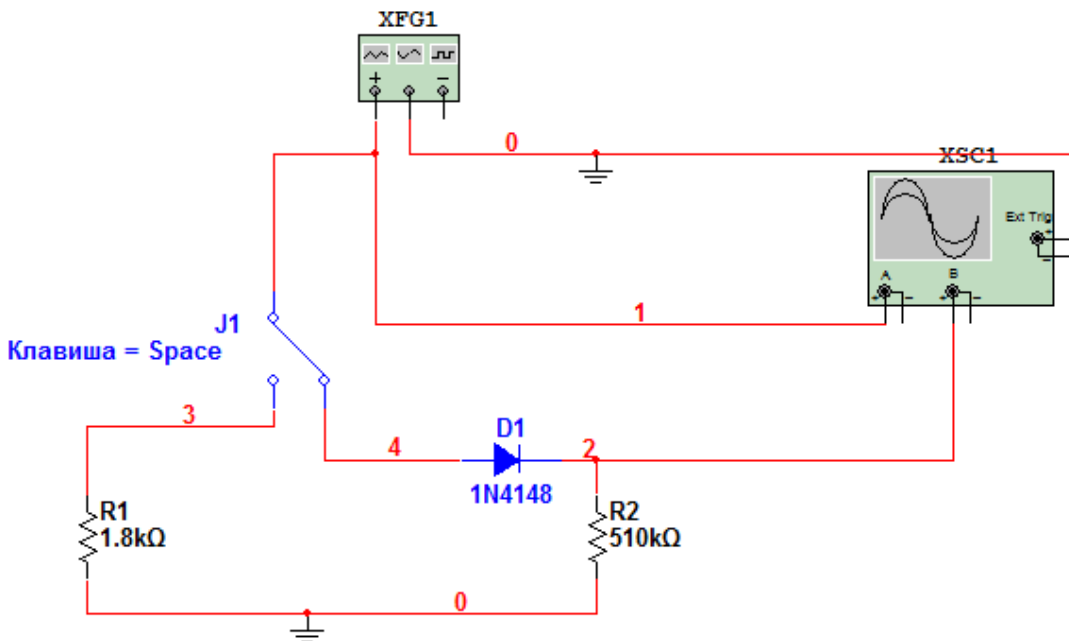
Для проведения исследований периодических сигналов используется программный продукт Electronic Workbench, а одиночных импульсов – языковая среда MathCad 14.

## 1. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ИХ СПЕКТРОВ

1.1 Для проведения исследований используем структурную схему, приведенную на рисунке 1.1,а.



а)



б)

Рисунок 1.1 – Структурная и принципиальная схемы исследования

Анализ данной схемы показывает, что в нее входят:

- генератор сигналов, создающих периодические сигналы: гармонические, треугольные и прямоугольные;
- измерительная нагрузка: резистор (для непрерывных сигналов) или полупроводниковый диод с резистором (для последовательности импульсов);
- двухлучевой осциллограф;
- анализатор Фурье.

Отличия в обозначениях структурной схемы на рисунке 1.2,б обусловлены использованием американских стандартов в программном пакете *Electronic Workbench*.

1.2 При проведении имитационного моделирования с использованием схемы, показанной на рисунке 1.2,б, необходимо задать параметры для устройств, входящих в ее состав. При этом требуется:

- установить автоматическую нумерацию электрических узлов. С этой целью на вкладке *Preferences* установить флажок в строке *Show node names* нажать *OK* (на рисунке 1.2,б данная ну-

мерация производится);

- задать параметры анализа Фурье. Для чего в верхней строке программы щелкнуть на табло *Simulate* и на появившейся вкладке выбрать путь *Analysis – Furier analysis*. После щелчка на последнем табло должна появиться папка установок Фурье-анализа.

На вкладке *Analysis Parameters* установить

- частоту (*Frequency resolutions*) и число гармоник (*Number of harmonics*) из таблицы 1.1 в соответствии с номером варианта;
- время анализа (*Stopping time for sampling*), равное 0,1с.

В строке *Display* установить режим *Graph*.

Открыть вкладку *Output variable* и в появившемся левом окне выделить номер исследуемого узла схемы, к которому подключен + генератора *XFG1*. Перенести указанный номер в правое окно нажатием кнопки *Add*. Установить частоту и амплитуду генератора сигналов *XFG1* в соответствии с вариантом из таблицы 1.

1.3 Проведение исследований гармонического сигнала и его спектра.

Для проведения исследований включить модель и наблюдать гармонический сигнал на входе осциллографа (в режиме *DC*).

Значения длительности развертки (*Timebase*) и делителей напряжения (*Scale*) установить таким образом, чтобы на экране осциллографа регистрировалось от одного до двух периодов сигнала без ограничения по амплитуде.

Таблица 1 – Варианты исходных данных для проведения исследований

Номер варианта	Частота ( <i>Frequency</i> ), Гц	Амплитуда ( <i>Amplitude</i> ), В	Число гармоник ( <i>Number of hafmonics</i> )
1	100	6	9
2	250	8	5
3	125	7	7
4	150	11	9
5	80	9	5
6	110	10	7
7	280	12	9
8	420	15	5
9	500	14	7

10	350	16	9
----	-----	----	---

Для отображения развертки сигнала на экране использовать графический экран, для чего в верхней строке программы нажать *View – Grapher*. Остановить модель. В окне *Grapher View* зайти во вкладку *Graph* и выбрать первые две строки (по очереди) появившегося меню. В результате график будет отображаться на белом фоне и появится сетка. Получившуюся развертку скопировать, для чего зайти в верхней строке *Grapher View* на вкладку *Edit* и в появившемся окне выбрать *Copy Graph*. Получаемый при этом результат приведен на рисунке 1.2. Выйти из режима *Grapher View*.

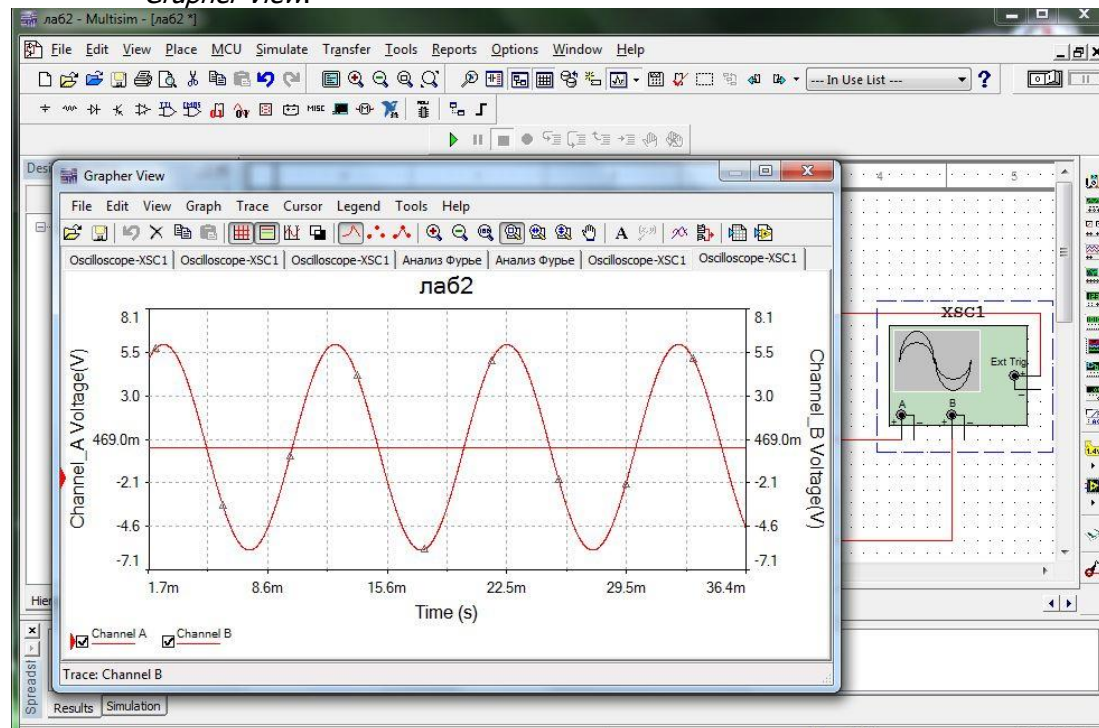


Рисунок 1.2 – Отображение результатов в окне *Grapher View*

После копирования в буфер с помощью описанной выше последовательности рисунок можно отправить в редактор *Paint* для обработки или непосредственно вставить в отчет по лабораторной работе.

Для построения спектра сигнала щелкнуть левой кнопкой мыши на табло *Simulate* и на появившейся вкладке выбрать путь *Analysis – Furier analysis*. После щелчка по последнему должна

появиться папка установок Фурье-анализа. Нажать кнопку *Simulate*. Далее опять войти в окно *Grapher View* и повторить последовательность действий по обращению цветов рисунка и его копирования в буфер для последующей обработки или вставки непосредственно в отчет. Пример получаемого результата показан на рисунке 1.3.

### Fourier Analysis

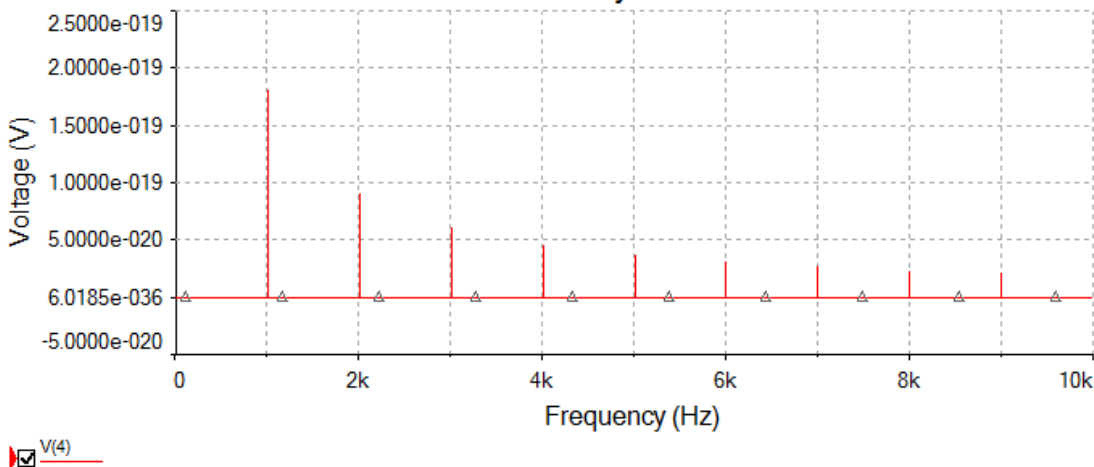
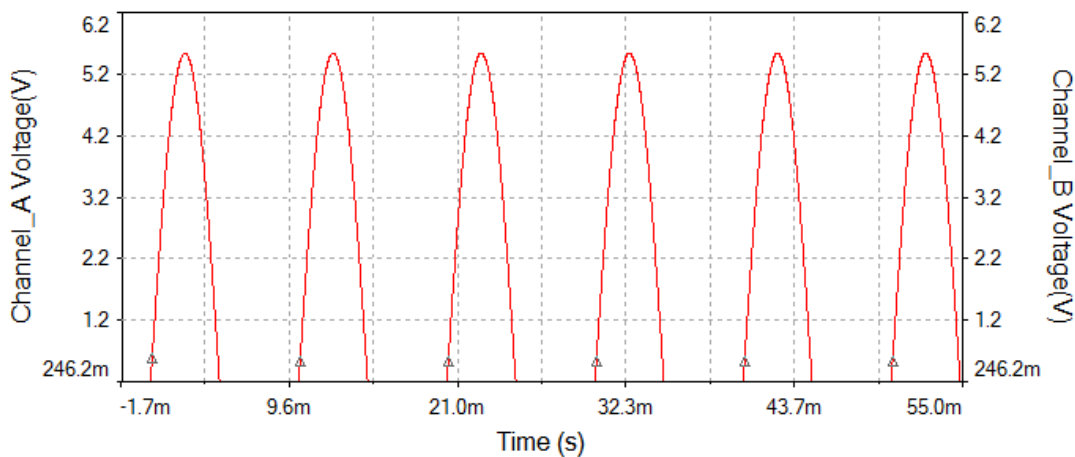


Рисунок 1.3 – Спектр сигнала, приведенного на рисунке 1.3

1.4 Исследование спектра колоколообразной формы. На схеме нажатием клавиши «Пробел» подключить диод к выходу генератора. В результате сигнал, оставаясь периодическим из гармонического станет колоколообразным, как показано на рисунке 1.4,а.

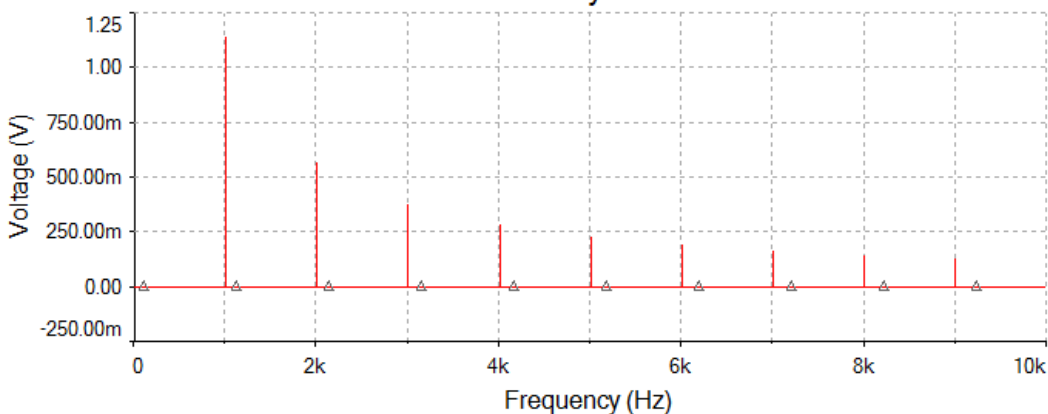
Выполняя цикл исследований, описанный в п.1.3, получаем вид колоколообразного сигнала для требуемого варианта исходных данных и соответствующий спектр. Пример спектра для сигнала 1.4,а показан на рисунке 1.4,б.





a)

### Fourier Analysis



б)

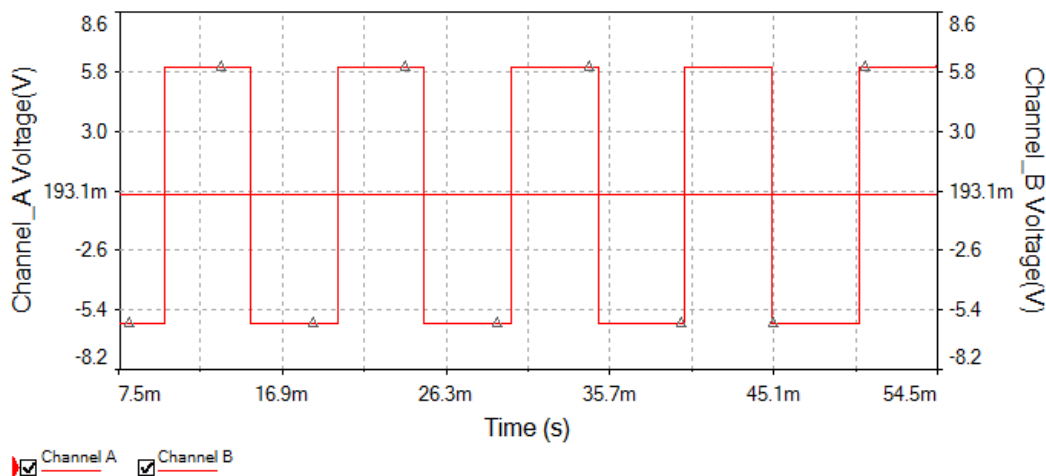
Рисунок 1.4 – Колоколообразный сигнал и его спектр

1.5 Исследование периодического сигнала прямоугольной формы и его спектра.

Изменить форму генерируемого сигнала. Для чего нажать на схеме на обозначение функционального генератора *XFG1* и выбрать режим прямоугольных импульсов. Перемещая клавишей «Пробел» провести исследования формы сигнала и его спектра для случаев непрерывного сигнала и пачки прямоуголь-

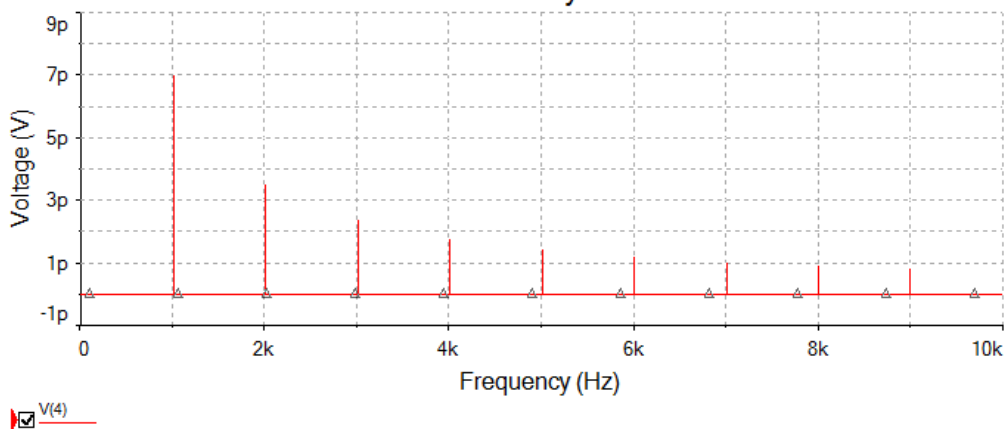
ных импульсов. Пример получаемых результатов для непрерывного сигнала прямоугольной формы показан на рисунке 1.5.

1.6 Отчет по данному этапу исследований должен включать:



a)

### Fourier Analysis



б)

Рисунок 1.5 – Последовательность непрерывных импульсов прямоугольной формы и их спектр  
- таблицу исходных данных о параметрах генератора (стро-

ку из таблицы 1, соответствующую варианту задания);

- структурную и принципиальную схемы исследований;
- для каждого типа сигналов (гармонического и колоколообразного, непрерывного прямоугольного и пачки прямоугольных импульсов) графики осциллограмм и спектров сигналов.

## 2. ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И ИХ СПЕКТРОВ

Для проведения исследований спектральных составляющих одиночного импульса необходимо загрузить программу `signal_spectr.xmcd`, расположенную в папке «Программы для ЛР1». Программа дает возможность провести исследования зависимости спектральной плотности от вида импульса, а также на примере импульсов прямоугольной формы сравнить спектральные составляющие одиночного импульса и периодической последовательности импульсов.

Последовательность проведения исследований на данном этапе следующая:

1. Для каждого типа импульсов задать параметры (длительность импульса  $\tau$  и исследуемый временной интервал  $T$ ) из таблицы 2.

Таблица 2 – Параметры импульсов

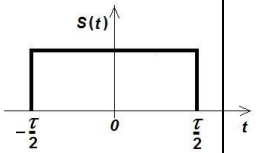
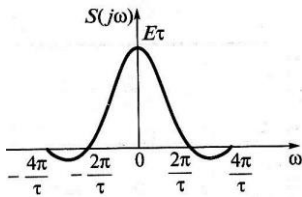
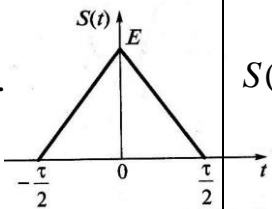
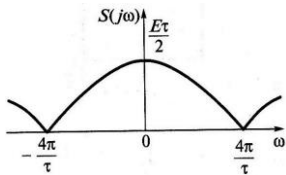
Вид импульса	Длительность импульса $\tau$	Исследуемый временной интервал ( $T$ )
Прямоугольный	0,1	1
Колоколообразный	0,1	0,2
Треугольный	0,2	1
Экспоненциальный	0,1	1
Тестовый в виде дельта-функции	0,1	1

2. Для синтеза импульсов для их описания ввести в программный текст аналитические функции из таблицы 3
3. Из той же таблицы ввести в программу функции, описывающие спектральные плотности соответствующих импульсов.
4. Записать в выходную таблицу вида 4 получаемые результаты.
5. Получаемые для каждого вида импульсов осциллограммы и график распределения спектральной плот-

## Общая теория связи

ности перенести в отчет. Проверить получаемые контрольные точки (величину максимума, нули функции) с аналитическими значениями, приведенными на графиках в таблице 3.

Таблица 3 – Аналитические зависимости для неперiodических сигналов и их спектральные составляющие

Сигнал $S(t)$		Спектральная составляющая $S(j\omega)$	
<p>Прямоугольный импульс</p> $S(t) = \begin{cases} E, &  t  \leq 0.5\tau \\ 0, &  t  > 0.5\tau \end{cases}$		<p>Прямоугольный импульс</p> $S(j\omega) = E\tau \frac{\sin(0.5\omega\tau)}{0.5\omega\tau}$	
<p>Треугольный импульс</p> $S(t) = \begin{cases} E\left(1 - \frac{2 t }{\tau}\right), &  t  \leq 0.5\tau \\ 0, &  t  > 0.5\tau \end{cases}$		<p>Треугольный импульс</p> $S(j\omega) = \frac{E\tau}{2} \frac{\sin^2(0.25\omega\tau)}{(0.25\omega\tau)^2}$	

<p>Колоколообразный</p> $S(t) = \begin{cases} E \cos \omega t, &  t  \leq 0.5\tau \\ 0, &  t  > 0.5\tau \end{cases}$		<p>Колоколообразный</p> $S(j\omega) = E \frac{\tau}{2} \left( 1 + \frac{\sin(\omega \tau)}{\omega \tau} \right)$	
<p>Экспоненциальный</p> $S(t) = E \exp(-\beta^2 t^2)$		<p>Экспоненциальный</p> $S(j\omega) = E \frac{\sqrt{\pi}}{\beta} \exp\left(-\left(\frac{\omega}{2\beta}\right)^2\right)$	
<p>Дельта-функция</p> $S(t) = \delta(t)$		<p>Дельта-функция</p> $S(j\omega) = 1$	

Таблица 4 – Результаты исследований

Вид импульса	Соотношение для синтеза сигнала	Формула для спектральной плотности	Коэффициент уменьшения энергии импульса за счет уменьшения полосы пропускания
Прямоугольный			
Колоколообразный			
Треугольный			
Экспоненциальный			
Дельта-функция			

- Для прямоугольного импульса провести исследований, касающиеся влияния длительности импульса на ширину графика спектральной плотности. Для этого выполнить исследования для трех значений длительности импульса  $\tau$ : 0.1; 0.25 и 0.5. Получаемые при этом графики спектральной плотности перенести в отчет с соответствующим указанием длительности импульса.
- На последнем этапе исследований необходимо перенести в отчет по лабораторной работе график сравнения спектральных составляющих для сигнала прямоугольной формы в виде одиночного импульса и периодического сигнала.
- Привести к отчету текст программы для моделирования.

В выводах по работе дать описание приводимым осциллограммам и видам получаемых спектральных составляющих, а также связь между спектральными составляющими сигналов одинаковой формы, но имеющих различную периодичность.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- Дайте определение понятия периодического сигнала. Приведите примеры физических процессов, для которых модель периодического сигнала является точным способом описания.
- Какими свойствами обладает спектральная плотность вещественного сигнала?

3. Как изменится спектр периодического сигнала, если период следования стремится к бесконечности?
4. Как влияет изменение длительности импульса и периода повторения на спектр периодической последовательности импульсов?
5. Каковы особенности спектра  $\delta$  – функции?
6. Какова связь между длительностью импульса и шириной его спектра?
7. Как найти распределение мощности и энергии в спектре периодического сигнала?
8. Как найти распределение мощности в спектре непериодического сигнала?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акулиничев Ю.П. Теория электрической связи. СПб: Лань, 2010. 240 с.
2. Биккенин Р.Р., Чесноков М.Н. Теория электрической связи. М.: Изд дом «Академия», 2010. 336 с.
3. Загидуллин Р.Ш. Multisim, LabVIEW и Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. М.: Горячая линия – Телеком, 2009. 366 с.
4. Митрофанов И.С. Теория электрической связи: метод. указания к выполнению лаб. работ. СПб: ГОУ ВПО «СПб гос. ун-т аэрокосмического приборостроения», 2004. 62 с.