

Ташкентский университет
информационных технологий
фарганский филиал



кафедра “Телекоммуникации”
факультета “Телекоммуникации”

Методическое указание
лабораторных занятий
по предмету

“Теория электрической связи”

Часть 2

ПРЕДИСЛОВИЕ

В настоящий сборник включены описания виртуальных лабораторных работ по дисциплинам, которые читаются на кафедре для направлений образования Радиотехника, РРТ и ТК.

В работе используется компьютерный (виртуальный) лабораторный макет, который содержит виртуальные модели лабораторных макетов, органы управления лабораторного макета; виртуальные модели осциллографа и генератора синусоидальных сигналов.

Для управления виртуальными приборами и макетом используются кнопки, регуляторы (движки), квадратные и круглые окошки с соответствующими надписями.

Управление регуляторами может осуществляться следующими двумя способами:

- стрелка мыши выставляется на белое поле впереди или сзади движущегося элемента регулятора и нажимается левая кнопка мыши, при этом движущий элемент регулятора сдвигается на один шаг вправо или влево;
- стрелка мыши выставляется на движущий элемент регулятора, нажимается левая кнопка мыши и, не отпуская ее, двигают движущий элемент регулятора вправо или влево, после выставления нужного значения параметра кнопку мыши отпускают.

Элементы управления в виде квадратных окошек управляются следующим образом:

- для использования режима активизирования элемента управления стрелка мыши выставляется в середину окошка и нажимается левая кнопка мыши, в этом случае появляется рисунок «√»;
- для деактивирования элемента управления стрелка мыши выставляется на галочку в окошке, нажимается левая кнопка мыши, при этом рисунок галочки исчезает.

Элементы управления в виде двух небольших круглых окошечек, которые функционально взаимосвязаны, управляются следующим образом: стрелка мыши выставляется в центре одного из них и нажимается левая кнопка мыши, при этом в центре окошка появляется «точка». Для деактивизации этого и активизации другого окна следует выше описанным способом активизировать другое окно, тогда первое окно деактивизируется автоматически.

Для управления кнопками стрелка мыши выставляется на середину кнопки и нажимается левая кнопка мыши, при этом кнопка утапливается. Если для управления используются две функционально взаимосвязанные кнопки, для деактивирования одного и активирования другого следует выше описанным способом с помощью мышки активировать неактивированную кнопку, при этом предыдущая активированная кнопка, деактивируется автоматически.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

ИССЛЕДОВАНИЕ СПЕКТРОВ НЕПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Цель работы: экспериментальное исследование влияния основных параметров непериодических сигналов на амплитудный (АС) и фазовый (ФС) спектр.

Лабораторное задание

1. Исследование влияния изменения параметров прямоугольного импульса на его спектры.
2. Исследование влияния изменения параметров радиоимпульса на его спектры.
3. Исследование влияния изменения параметров треугольного импульса на его спектры.
4. Исследование влияния изменения параметров экспоненциального импульса на его спектры.
5. Исследование влияния изменения параметров затухающей синусоиды на ее спектры.

Методические указания

1. Исследование влияния изменения параметров прямоугольного импульса на спектры.
 - 1.1. Загрузить программу и настроить осциллограф. Для этого установить усиление 0,5 В/дел. и развертку сигнала 2 мс/дел.
 - 1.2. На блоке «Синтезатор непериодических импульсов» выбрать «Прямоугольный импульс».
 - 1.3. Установить высоту импульса 1 В. Параметр h оставить 50 1/мс.
 - 1.4. Установить длительность импульса 1 мс. Зарисовать временную диаграмму, амплитудный спектр (АС), фазовый спектр (ФС), записать рядом параметры сигнала.
 - 1.5. Повторить п.1.4, устанавливая длительность импульса 3мс., 5мс., 10мс.
 - 1.6. Установить длительность импульса 5мс., высоту импульса 0,1 В. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС, записать рядом параметры сигнала.
 - 1.7. Повторить п.1.6, устанавливая высоту импульса 0,5, 1, 2 В.
2. Исследование влияния изменения параметров радиоимпульса на его спектры.

2.1. На блоке «Синтезатор неперiodических импульсов» выбрать «Радиоимпульс».

2.2. Установить высоту импульса 1 В. Параметр h оставить 50 1/мс.

2.3. Установить длительность импульса 1 мс. Зарисовать временную диаграмму, амплитудный спектр (АС), фазовый спектр (ФС), записать рядом параметры сигнала.

2.4. Повторить п.2.3, устанавливая длительность импульса 3мс., 5мс., 10мс.

2.5. Установить длительность импульса 5мс., высоту импульса 0,1 В. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС и записать рядом параметры сигнала.

2.6. Повторить п.2.5, устанавливая высоту импульса 0,5, 1, 2 В.

3. Исследование влияния изменения параметров треугольного импульса на его спектры.

3.1. На блоке «Синтезатор неперiodических импульсов» выбрать «Треугольный импульс».

3.2. Установить высоту импульса 1 В. Параметр h оставить 50 1/мс.

3.3. Установить длительность импульса 1 мс. Зарисовать временную диаграмму, амплитудный спектр (АС), фазовый спектр (ФС), записать рядом параметры сигнала.

3.4. Повторить п.3.3, устанавливая длительность импульса 3мс., 5мс., 10мс.

3.5. Установить длительность импульса 5мс., высоту импульса 0,1 В. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС, записать рядом параметры сигнала.

3.6. Повторить п.3.5, устанавливая высоту импульса 0,5, 1, 2 В.

4. Исследование влияния изменения параметров экспоненциального импульса на его спектры.

4.1. На блоке «Синтезатор неперiodических импульсов» выбрать «Экспоненциальный импульс».

4.2. Установить длительность импульса 1мс., высоту импульса 1 В., параметр h 50 1/мс. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС записать рядом параметры сигнала.

4.3. Повторить п.4.2, устанавливая параметр h 100, 300, 500 1/мс.

4.4. Установить параметр h 200 1/мс., высоту 0,1 В. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС, записать рядом параметры сигнала.

4.5. Повторить п.4.4., устанавливая высоту импульса 0,5, 1, 2 В.

5. Исследование влияния изменения параметров затухающей синусоиды на ее спектры.

5.1. На блоке «Синтезатор неперiodических импульсов» выбрать «Затухающая синусоида».

5.2. Установить длительность импульса 1 мс., высоту импульса 1 В., параметр h 50 1/мс. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС записать рядом параметры сигнала.

5.3. Повторить п.5.2, устанавливая параметр h 100, 300, 500 1/мс.

5.4. Установить параметр h 200 1/мс., высоту 0,1 В. Зарисовать временную диаграмму, АС, ФС, записать рядом параметры сигнала.

5.5. Повторить п.5.4., устанавливая высоту импульса 0,5, 1, 2 В.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурную схему исследований.
3. Полученные осциллограммы сигналов.
4. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Нарисуйте временные диаграммы исследованных сигналов и укажите их основные параметры.
2. Приведите аналитические выражения для исследованных видов сигналов, как функцию времени.
3. Приведите выражения, описывающие спектры исследованных сигналов через их основные параметры.
4. Напишите выражения для прямого и обратного преобразования Фурье.
5. Нарисуйте амплитудно-частотный и фазо-частотный спектр исследованных сигналов.
6. Объясните зависимость спектра сигнала от длительности импульса для исследованных видов сигналов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

ФОРМИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСОВ

Цель работы: Сформировать и исследовать последовательности периодических импульсов:

- I. Биполярных прямоугольных импульсов.
- II. Пилообразных импульсов.
- III. Треугольных импульсов.

I. Формирование и исследование биполярных прямоугольных импульсов

1. Загрузить лабораторную работу.
2. Настроить осциллограф.
 - 2.1. Установить усиление сигнала 1В/дел.
 - 2.2. Установить развертку сигнала 0,5 мс/дел.
3. Формирование и исследование биполярных прямоугольных импульсов.
 - 3.1. На «Синтезаторе последовательности периодических импульсов» выбрать «Биполярный прямоугольный». Установить частоту следования импульсов $f = 200$ Гц и высоту импульса 1В.
 - 3.1.1. Выставить количество гармоник $n = 1$. Зарисовать временную диаграмму. На «Анализаторе спектра» выбрать вид спектра «АС» (амплитудный спектр), зарисовать. Затем нажать «ФС» (фазовый спектр) и зарисовать его.
 - 3.1.2. Выставить количество гармоник $n=2$ на «Синтезаторе последовательности периодических импульсов». Зарисовать временную диаграмму, АС и ФС.
 - 3.1.3. Повторить п. 3.1.2 для количества гармоник $n = 3, 4, 5$ и $n = 20$.
 - 3.2. Заполнить табл. 2.1. Для этого воспользоваться показаниями «Анализатора спектра»

Таблица 2.1

№ гармоники	Частота гармоники, Гц	Амплитуда гармоники, В	Фаза гармоники, град
Значение постоянной составляющей:			
1			
2			
·			
·			
·			
19			
20			

3.3. По данным табл. 1 построить в масштабе амплитудный и фазовый спектр последовательности биполярных прямоугольных импульсов.

II. Формирование и исследование пилообразных импульсов

Провести формирование и исследование пилообразных импульсов как в I части лабораторной работы.

III. Формирование и исследование треугольных импульсов

Провести формирование и исследование треугольных импульсов как в I части лабораторной работы.

Содержание отчета

Отчет по выполненной лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Временные диаграммы импульсов.
4. Амплитудные спектры импульсов.
5. Фазовые спектры импульсов.
6. Результаты измерений в виде таблицы 1.
7. АС и ФС, построенные по данным таблицы 1 ($s(\omega)$ и $\varphi(\omega)$).
8. Выводы по результатам исследований.

Контрольные вопросы

1. Приведите аналитическое выражение для последовательности прямоугольных однополярных и биполярных импульсов.
2. Приведите аналитическое выражение для последовательности пилообразных импульсов.
3. Приведите аналитическое выражение для последовательности треугольных импульсов.
4. Приведите формулу разложения периодических импульсов в ряд Фурье.
5. Приведите выражения для прямого и обратного преобразования Фурье.
6. Нарисуйте амплитудно-частотный $s(\omega)$ и фазо-частотный $\varphi(\omega)$ спектры для исследованных видов сигналов.
7. Объясните, как $s(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ зависят от длительности импульсов τ и периода их повторения T .

8. Приведите выражение для комплексного спектра $s(j\omega)$ для исследованных сигналов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

СИНТЕЗ СИГНАЛОВ ПО ФУРЬЕ

Цель работы: Изучение аппроксимации сигнала многочленом Фурье по ортогональной системе тригонометрических функций.

Синтез периодических сигналов различной формы:

- 1) прямоугольных биполярных;
- 2) пилообразных;
- 3) треугольных.

Методические указания

Воспользовавшись результатами лабораторной работы № 2 "Формирование и исследование последовательности периодических импульсов", синтезировать сигналы:

- 1) прямоугольные биполярные;
- 2) пилообразные;
- 3) треугольные.

I. Получение прямоугольных биполярных импульсов.

Синтезировать прямоугольное колебание. Зарисовать осциллограммы, соответствующие увеличению числа гармоник, участвующих в формировании сигнала.

1. Загрузить программу.
2. Настроить осциллограф. Для этого установить усиление сигнала 0,5 В/дел и развертку сигнала 0,25 мс/дел.
3. Установить амплитуды и фазы гармоник.
 - 3.1. Выберите номер генератора для установки амплитуды и фазы гармоники. Например - генератор № 1. Для этого нажмите кнопку "1".
 - 3.2. В блоке "Установка амплитуды гармоник" выставьте значение амплитуды 1-ой гармоники, нажмите кнопку "установить".
 - 3.3. В блоке "Установка фазы гармоник" выставьте значение фазы 1-ой гармоники, нажмите кнопку "установить".
 - 3.4. В блоке "Генераторы гармонических сигналов" включить первый генератор. Для этого нажать кнопку "1".
 - 3.5. Повторить пункты 3.1 - 3.4 для всех 10 гармоник.
 - 3.6. Зарисовать полученный сигнал.

II. Получение пилообразных импульсов.

Синтезировать пилообразные импульсы как в п. I.

III. Получение треугольных импульсов.

Синтезировать пилообразные импульсы как в п. II.

Содержание отчета:

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Осциллограммы напряжений и временные диаграммы импульсов.
4. Выводы по результатам исследований.

Контрольные вопросы

1. Как показать, что система функций $\{\cos n\Omega_1 t, \sin n\Omega_1 t\}$ является полной и ортогональной?
2. Как определяются коэффициенты ряда Фурье?
3. Как изменится форма сигнала, если из спектра периодической последовательности прямоугольных импульсов удалить одну из гармоник?
4. Изобразите спектр периодической последовательности радиоимпульсов с прямоугольной огибающей и немодулированным заполнением?
5. Запишите аналитическое выражение АМ колебания?
6. Какой вид имеет спектр АМ колебания при тональной модуляции и модуляции сложного сигнала?
7. Изобразите спектр сигнала с гармонической несущей и АМ периодической последовательностью прямоугольных импульсов. В чем его отличие от спектра периодической последовательности радиоимпульсов с прямоугольной огибающей и немодулированным заполнением?
8. Изобразите спектр сигнала с тональной амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ).
9. Изобразите спектр сигнала с амплитудно-импульсной модуляцией периодической последовательности прямоугольных импульсов.
10. Как связаны фаза и мгновенная частота колебаний?
11. Запишите аналитическое выражение ЧМ колебания при гармонической модуляции и в общем случае?
12. Запишите аналитическое выражение ФМ колебания при гармонической модуляции и в общем случае?
13. В чем различие между ЧМ и ФМ колебаниями?
14. Какой физический смысл имеют понятия "девиация" частоты и "индекс" модуляции?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Цель работы: экспериментальное изучение гармонических и дискретных сигналов импульсной модуляции.

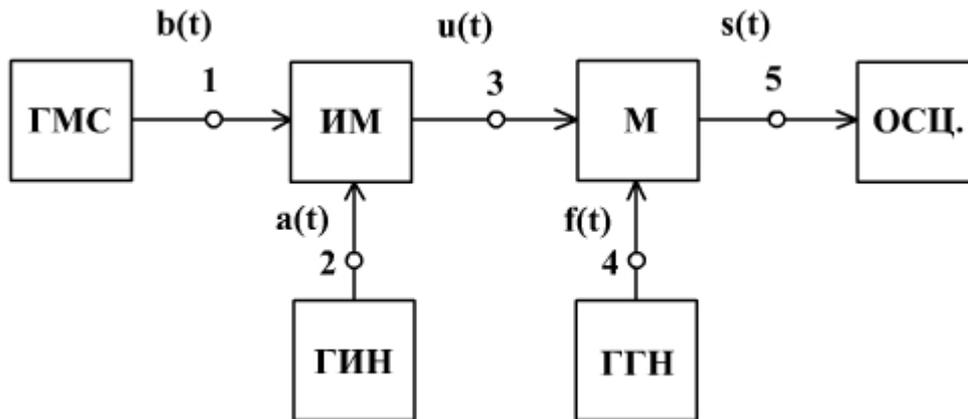


Рис. 4.1. Структурная схема виртуального лабораторного макета

Лабораторное задание

1. Исследование гармонических сигналов.
2. Исследование дискретных сигналов.

Методические указания

I. Исследование гармонических сигналов.

1. Исследование сигнала АИМ-АМ.
 - 1.1. Загрузить программу и настроить осциллограф. Для этого установить усиление сигнала в обоих каналах 1 В/дел. и развертку 2,5 мс/дел.
 - 1.2. На «Генераторе модулирующих сигналов» выбрать «гармонический сигнал».
 - 1.3. На «Блоке модуляторов» выбрать «АИМ-АМ». В канале №1 выбрать контрольную точку №1.
 - 1.4. В канале №2 поочередно выбрать контрольные точки № 2; 3; 4; 5. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать, с выхода какого устройства был получен сигнал.

2. Исследование сигнала ШИМ-АМ.

2.1. На «Блоке модуляторов» выбрать «ШИМ-АМ». В канале №1 выбрать контрольную точку №1.

2.2. В канале №2 поочередно выбрать контрольные точки №2; 3; 4; 5. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать, с выхода какого устройства был получен сигнал.

3. Исследование сигнала ЧИМ-АМ.

3.1. На «Блоке модуляторов» выбрать «ЧИМ-АМ». В канале №1 выбрать контрольную точку №1.

3.2. В канале №2 поочередно выбрать контрольные точки №2; 3; 4; 5. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать, с выхода какого устройства был получен сигнал.

4. Исследование сигнала ФИМ-АМ.

4.1. На «Блоке модуляторов» выбрать «ФИМ-АМ». В канале №1 выбрать контрольную точку №1.

4.2. В канале №2 поочередно выбрать контрольные точки №2; 3; 4; 5. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать, с выхода какого устройства был получен сигнал.

II. Исследование дискретных сигналов.

1. Оставить настройку осциллографа. На «Генераторе модулирующих сигналов» выбрать «дискретный сигнал».

2. Выполнить п.п. 1.3. – 4.3. предыдущего параграфа для дискретного сигнала.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурную схему исследований.
3. Полученные осциллограммы сигналов.
4. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Сформулируйте теорему Котельникова о дискретизации.
2. Нарисуйте графики функции отсчета для нескольких значений $s(k\Delta t) \cdot \Psi(k\Delta t)$.
3. Нарисуйте графики функции отсчета.
4. Нарисуйте форму сигнала на входе идеального ФНЧ при подаче на его вход одиночного видеоимпульса.
5. Поясните при помощи графиков принцип восстановления дискретизированного сигнала через их отсчетные значения.
6. Нарисуйте временные диаграммы сигналов ШИМ-АМ, ЧИМ-АМ, ФИМ-АИ, АИМ-АМ при модуляции сигналом треугольной формы.

7. В каких устройствах и системах используются сигналы с импульсной модуляцией?
 8. Как выбирается частота повторения немодулированных импульсов?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕЛЬТА-МОДУЛЯЦИИ

Цель работы: экспериментальное изучение процессов цифровой передачи и восстановление непрерывных сигналов.

Описание лабораторной установки

В работе используются блоки "Источник сигналов"; "Модулятор-дискретизатор"; "Вспомогательные устройства" универсальной лабораторной установки и внешний генератор импульсов. Наблюдение процессов ведётся с помощью осциллографа.

Аналого-цифровому преобразованию подвергается "сложный сигнал", представляющий собой сумму двух гармонических колебаний с частотами $f_1 = 4800 \text{ Гц}$ и $f_2 = 6400 \text{ Гц}$, а также из этих колебаний в отдельности. В лабораторной работе исследование процесса цифровой передачи производится на примере дельта-модуляции (ДМ). С этой целью в составе блока "Модулятор-дискретизатор" содержится дельта-модулятор. Для исследования ДМ переключатель этого блока устанавливается в положение ДМ.

Структурная схема исследований изображена на рис. 5.1.

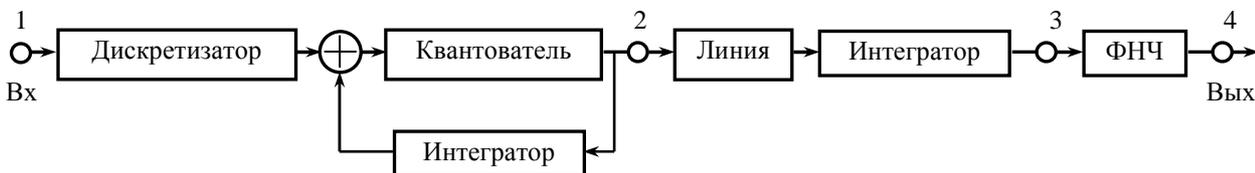


Рис. 5.1. Структурная схема исследований

Последовательность импульсов на выходе дельта-модулятора формируется по следующему правилу: в отчетный момент времени в компараторе K сравниваются значения входного сигнала в данный момент $S(t_k)$ и ступенчатой аппроксимации этого сигнала $S^*(t_{k-1})$ в предыдущий момент времени, сформированного на выходе интегратора. Если $S(t_k) < S^*(t_{k-1})$, то в канал связи посылается положительный импульс, иначе при $S(t_k) > S^*(t_{k-1})$ - отрицательный импульс. Таким образом, положительные импульсы двоичной последовательности соответствуют увеличению входного непрерывного сигнала во времени, а отрицательные - уменьшению. В результате интегрирования положительного импульса напряжение на выходе интегратора увеличивается на одну положительную ступень ϵ . В случае же отрицательного импульса - напряжение уменьшается на одну отрицательную ступень ϵ . В связи с тем, что

напряжение на выходе интегратора с погрешностью до $\pm \epsilon$ может отличаться от входного сигнала, то в процессе формирования сигнала ДМ возникают искажения квантования. Другим видом искажений, специфическим для ДМ, является перегрузка по наклону. Этот эффект возникает в том случае, если крутизна входного сигнала превышает максимально возможную крутизну ступенчатого сигнала на выходе интегратора ϵf_t (f_t - частота взятия отсчётов).

Для уменьшения искажений квантования следует правильно выбрать параметры ϵ и f_t . В условиях отсутствия перегрузки по наклону мощность искажений квантования пропорциональна ϵ^2 и обратно пропорциональна f_t . В связи с тем, что при ДМ в отчетный момент определяется только знак направления изменения входного сигнала, то частота отсчётов f_t берется в несколько раз больше, чем по теореме Котельникова. Частота отсчётов определяется частотой внешнего генератора импульсов.

На приёмной стороне информационное сообщение восстанавливается из сигнала ДМ с помощью последовательно соединенных интегратора и ФНЧ (практически достаточно одного ФНЧ второго порядка). В лабораторной установке для этой цели используются фильтры ФНЧ1 и ФНЧ2, расположенные в блоке "Вспомогательные устройства".

Лабораторное задание

1. Выбор частоты тактового генератора дельта-модулятора.
2. Исследовать работу дельта-модулятора при передаче различных сигналов.

Методические указания

1. Выбор частоты тактового генератора дельта-модулятора.

1.1. Включить компьютер, загрузите программу. Установить усиление 1В/дел. Развертку сигнала 0,2 мс/дел.

1.2. В канале №1 подключить контрольную точку 1 (сложный сигнал) установить частоту ГТИ 10000Гц. В канале №2 подключить контрольную точку 2, полученные осциллограммы зарисовать одну под другой.

2. Исследование работы дельта-модулятора при передаче различных сигналов.

2.1. Для этого необходимо установить контрольную точку №3 в канале 2 и зарисовать полученные осциллограммы. Увеличивая частоту ГТИ с 10000 Гц до 50000 Гц через 10000Гц, зарисуйте осциллограммы и запишите частоту.

3. Исследуйте работу дельта-модулятора при передаче сигнала на вход ФНЧ

3.1. Для этого необходимо подключить контрольную точку 4 в канале 2 и, увеличивая частоту ГТИ с 10000 Гц до 50000 Гц через 10000Гц, зарисовать полученные осциллограммы.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурная схема исследований.
2. Осциллограммы, полученные экспериментально, по всем пунктам.
3. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. В чём заключаются основные преимущества цифровых методов передачи непрерывных сообщений?
2. Составьте структурную схему цифровой системы передачи с ИКМ и ДМ. Поясните назначение отдельных узлов.
3. Поясните принцип действия АЦП и ЦАП. Сформулируйте требования, предъявляемые к ним.
4. Изобразите временные диаграммы формирования и восстановления сигналов при ИКМ и ДМ.
5. Поясните принципиальное различие между искажениями квантования и помехами в канале передачи.
6. Что такое перегрузка по наклону при ДМ?
7. В чём заключаются преимущества цифровой передачи с компандированием?
8. Поясните принцип действия цифровых систем передачи с ИКМ и ДМ.
9. Сравните достоинства и недостатки систем передачи с ИКМ и ДМ.
10. Поясните принцип действия, преимущества и недостатки систем передачи с ДИКМ и адаптивной дельта - модуляцией.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ

Цель работы: изучить законы распределения различных случайных процессов. Овладеть методом фотометрического измерения распределения плотности вероятности.

Описание фотометрического метода

Определение плотности вероятности случайных процессов путем фотометрирования основано на измерении яркости свечения экрана электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). Яркость точки экрана, бомбардируемой электронами, пропорциональна числу электронов, попадающих в эту точку в единицу времени.

Рассмотрим осциллограмму отрезка случайного напряжения, изображенную на рис. 6.1.

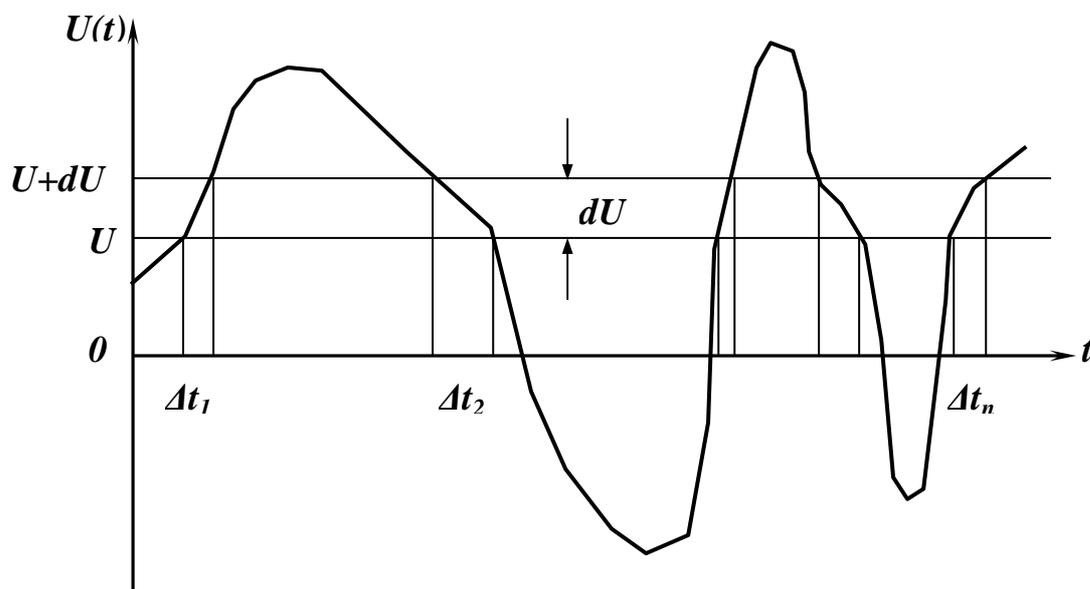


Рис. 6.1. Попадание значений напряжения в заданный интервал dU .

Выделим на рис. 6.1 горизонтальную полосу шириной dU – элемент возможных мгновенных значений напряжения от U до $U+dU$. Из рассмотрения рисунка следует, что электронный луч находится в выделенной полосе в течение отрезков времени $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_n, \dots$. Суммарное время пребывания в заданном интервале $\sum_n \Delta t_n$ составляет некоторую часть от всего интервала наблюдения T .

Отношение суммарного времени $\sum_n \Delta t_n$ к длительности T интервала наблюдения (при достаточно большом T) определяет вероятность пребывания электронного луча в заданном интервале шириной dU .

$$\omega(u)du = \frac{1}{T} \sum_n \Delta t_n \quad (6.1)$$

Здесь в левой части выражения записана вероятность как произведения плотности вероятности $\omega(U)$ на ширину dU элементарного интервала.

Синхронизировать развертку осциллографа со случайным процессом принципиально невозможно. Поэтому, в отличие от рис.6.1 на экране осциллографа произойдет наложение друг на друга нескольких отрезков колебаний, попадающих в интервал dU в разные моменты времени Δt . Если сократить длину горизонтальной развертки, то осциллограммы сольются в одно сплошное свечение. Яркость свечения B каждой горизонтальной полосы

осциллограммы шириной dU пропорциональна относительному времени пребывания луча в этом интервале:

$$B = \alpha_1 \frac{1}{T_n} \sum \Delta t_n ; \quad (6.2)$$

где α_1 – коэффициент пропорциональности.

Сравнивая (6.1) и (6.2), можно убедиться, что плотность вероятности пропорциональна яркости свечения экрана. Измеряя фотометром яркость осциллограммы на различных высотах, получим распределение $B(U)$, которое пропорционально искомому распределению плотности вероятности.

Для измерения яркости свечения в центре экрана осциллографа укреплен фоторезистор, заключенный в светонепроницаемую коробочку. Световой поток проходит на фоточувствительный слой через щель шириной 2 мм. Под действием света меняется сопротивление фоторезистора, при этом меняется значение протекающего через него тока. Ток, протекающий через фоторезистор, измеряется микроамперметром. Таким образом, показания микроамперметра пропорциональны яркости участка экрана, прилегающего к щели фоторезистора:

$$i = \alpha_2 B . \quad (6.3)$$

Лабораторное задание

Исследовать законы распределения значений:

- двухстороннего процесса с большой дисперсией;
- двухстороннего процесса с малой дисперсией;
- одностороннего процесса;
- гармонического колебания со случайной начальной фазой.

Методические указания

1. Настроить осциллограф. Для этого установить усиление 1В/дел. и развертку сигнала 1,25 мс/дел.

2. Исследовать закон распределения двустороннего случайного процесса с большой дисперсией.

2.1. Подготовить таблицу для записей результатов измерений.

Таблица 6.1

Тип процесса							
Номер измерения	1	2	3	4	15	16
Показания прибора							

В графе "Тип процесса" напишите название исследуемого процесса.

- 2.2. При помощи кнопки перемещения осциллограммы по вертикали совместите горизонтальную линию хода луча с самой нижней горизонтальной линией сетки шкалы экрана осциллографа.
- 2.3. На генераторе случайного сигнала выбрать тип исследуемого процесса, а затем нажать кнопку "вкл." Показание микроамперметра занести в таблицу.
- 2.4. На лицевой панели «Генератора случайных сигналов» нажать кнопку "выкл." Переместить горизонтальную линию хода луча вверх на 0,5 клетки сетки шкалы экрана осциллографа.
- 2.5. Повторите действия по пунктам 2.3. и 2.4. Всего надо выполнить 16 измерений.
- 2.6. После заполнения таблицы установите осциллограмму в средней части экрана и зарисуйте ее.

3. Исследовать закон распределения двухстороннего случайного процесса с малой дисперсией.

- 3.1. Подготовить таблицу для записей результатов измерений (таблица 6.1). В графе "Тип процесса" напишите название исследуемого процесса.
- 3.2. Выполните наблюдения и измерения по методике пунктов 2.2 - 2.6.

4. Исследовать закон распределения одностороннего случайного процесса.

- 4.1. Подготовить таблицу для записей результатов измерений (таблица 6.1). В графе "Тип процесса" напишите название исследуемого процесса.
- 4.2. Выполните наблюдения и измерения по методике пунктов 2.2 - 2.6.

5. Исследовать закон распределения значений гармонического колебания со случайной начальной фазой.

- 5.1. Подготовить таблицу для записей результатов измерений (таблица 6.1). В графе "Тип процесса" напишите название исследуемого процесса.
- 5.2. Выполните наблюдения и измерения по методике пунктов 2.2 - 2.6.

6. Построение графиков.

- 6.1. Начертите систему координат, в которой по горизонтальной оси откладывается номер измерения, а по вертикальной - показания микроамперметра. Выберите масштаб.
- 6.2. По результатам измерений начертите все графики в одной системе координат.
- 6.3. Определите на графиках номер измерения, который соответствует нулевому значению процесса.

Флуктуационный шум имеет нулевое среднее значение, график плотности его вероятности симметричен относительно вертикальной оси. Поэтому максимальному значению плотности его вероятности W должно соответствовать нулевое значение напряжения. Примерный вид графика плотности вероятности

двустороннего шума показан на рис. 6.2. Графики плотностей вероятностей W двухстороннего шума с большой и малой дисперсией следует изобразить в одной общей системе координат.

Построение графика плотности вероятности W одностороннего шума поясняется на рис.6.3, а графика плотности вероятностей гармонического процесса со случайной фазой на рис. 6.4. Последний симметричен относительно вертикальной оси и нулевому значению напряжения соответствует минимальное значение плотности.

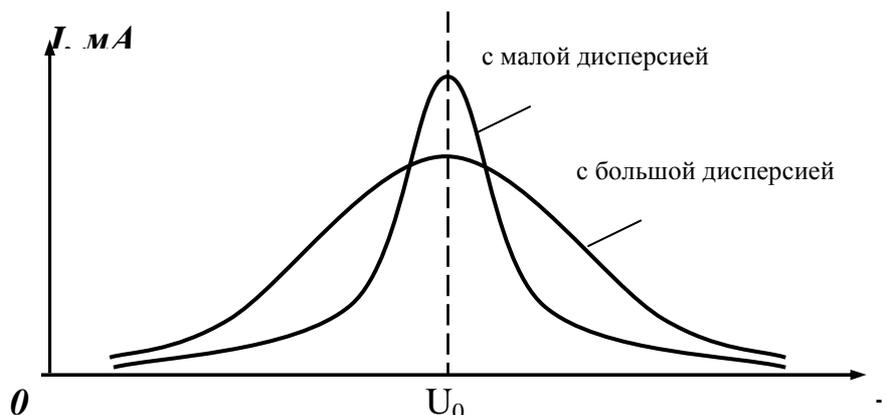


Рис. 6.2. Примерный вид плотности вероятности двухстороннего флуктуационного шума

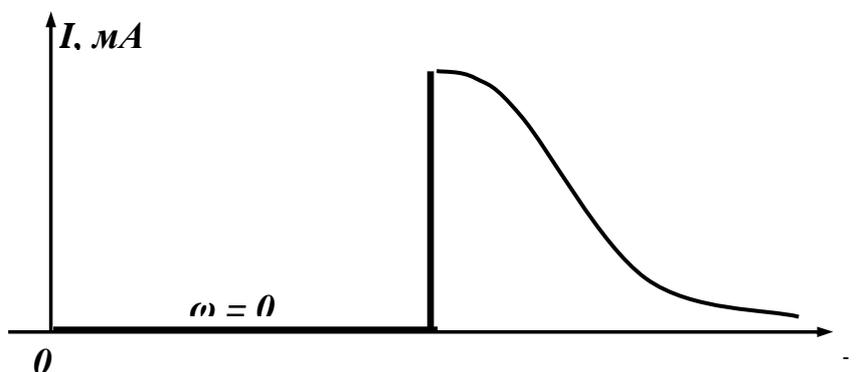


Рис. 6.3. Примерный вид плотности вероятности одностороннего шума

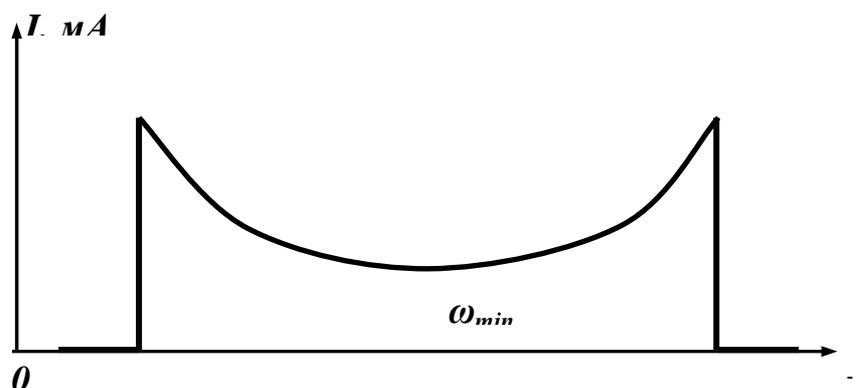


Рис. 6.4. Примерный вид плотности вероятности гармонического колебания со случайной фазой

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурная схема исследований.
3. Таблицы измерений.
4. Осциллограммы всех четырех процессов
5. Графики законов распределения.

Контрольные вопросы

1. Что называется плотностью вероятности? Какие случайные события характеризуются плотностью вероятности?
2. Какова единица измерения плотности вероятности?
3. Как связана плотность вероятности с интегральной функцией распределения?
4. Как определить вероятность нахождения значений случайной величины в заданном интервале, если известна плотность вероятности?
5. Что называют математическим ожиданием и дисперсией случайного процесса? Объясните их физический смысл?
6. Поясните принцип фотометрического способа измерения плотности вероятности. Почему свет пропускают к фоторезистору через узкую щель?
7. Почему для имитации случайного характера фазы гармонического сигнала следует отключать синхронизацию осциллографа?
8. С помощью какого устройства (схемы) из двустороннего шума можно получить односторонний шум?
9. Напишите формулу плотности вероятности нормального распределения.
10. Дайте физическое объяснение, почему нулевому значению гармонического процесса со случайной фазой соответствует минимум плотности вероятности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

ПРОХОЖДЕНИЕ СЛУЧАЙНЫХ СИГНАЛОВ ЧЕРЕЗ БЕЗЫНЕРЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ

Цель работы: 1. Исследование основных закономерностей преобразования одномерных законов распределения случайных сигналов с помощью безынерционных элементов.

2. Выработка навыков экспериментального исследования процессов в электрических цепях, находящихся под воздействием случайных сигналов.

Основные характеристики случайного сигнала

Сигналом называют любой физический процесс, с помощью которого передают сообщения. В настоящей работе предполагается, что передача сообщений осуществляется путем изменений одного из параметров $u(t)$. Все основные выводы остаются правильными и в тех случаях, когда сигналы являются токами, зарядами конденсаторов и другими электрическими величинами. Случайным называют сигнал, значения напряжения которого во все последующие моменты времени заранее неизвестны.

Для предсказания поведения случайного сигнала изучают большое количество – «ансамбль» аналогичных сигналов. По этому ансамблю реализаций определяют среднее значение представляющих интерес параметров, а затем предполагают, что те же средние значения будут иметь параметры еще неизвестных случайных сигналов. Примером является определение законов распределения сигналов. Для точного предсказания необходимо располагать бесконечным количеством известных реализаций.

Математической моделью случайных сигналов являются случайные процессы $W(t)$, изучаемые в теории вероятностей. На рис. 7.1.-7.5. приведены законы распределения случайных процессов на входе и на выходе исследуемой схемы.

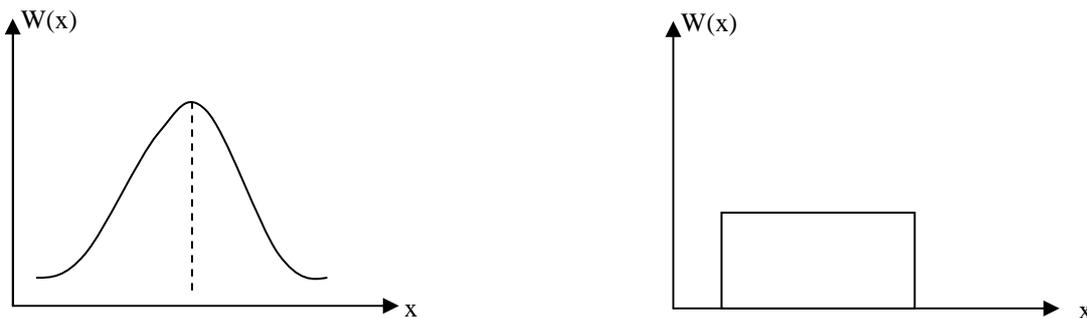


Рис. 7.1.

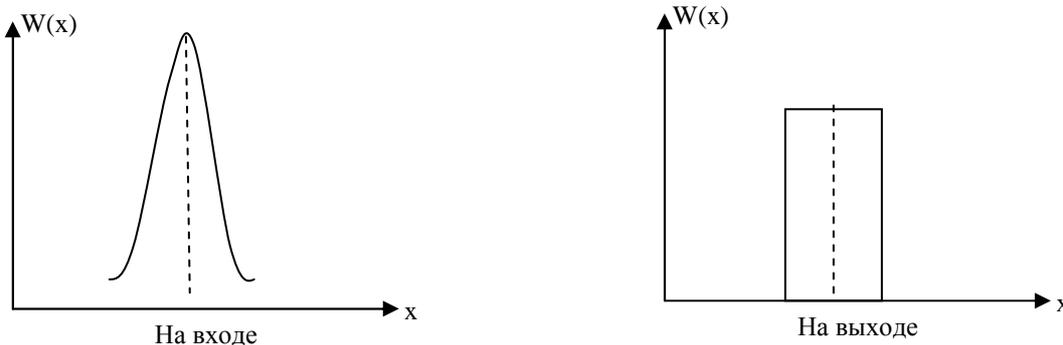


Рис. 7.2 Для схемы Т-образного резистивного четырехполюсника.

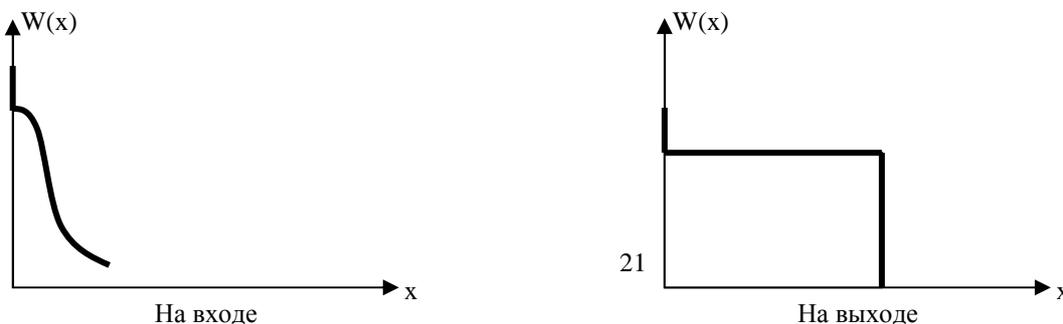


Рис. 7.3. Для схемы безынерционного линейного детектора

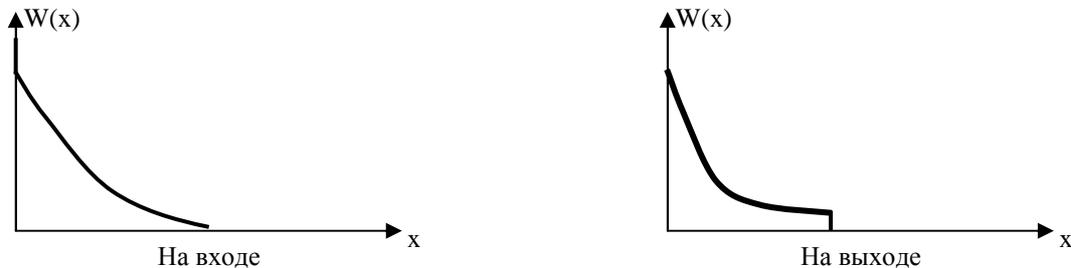


Рис. 7.4. Для схемы безынерционного двухполупериодного детектора

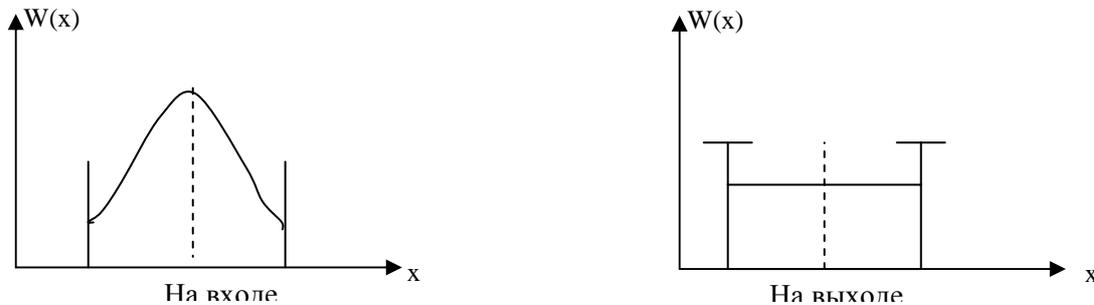


Рис. 7.5. Для схемы двустороннего ограничителя.

Лабораторное задание

1. Исследовать двусторонний процесс с нормальным распределением на входе и выходе следующих схем: T-образный резистивный четырехполюсник; безынерционный линейный детектор; безынерционный двухполупериодный детектор; двусторонний ограничитель.
2. Исследовать широкополосный закон с равномерным распределением с использованием на входе и выходе следующих схем: T-образный резистивный четырехполюсник; безынерционный линейный детектор; безынерционный двухполупериодный детектор; двусторонний ограничитель.

Методические указания

I. Исследование двухстороннего процесса с нормальным распределением

1. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на входе схемы Т-образного резистивного четырехполюсника.

1.1. Настроить осциллограф. Для этого необходимо установить усиление сигнала в канале 0,8В/дел., развертку сигнала 1,5 мс/дел. (в ходе дальнейших исследований развертка сигнала и усиление во всех пунктах остаются постоянными).

1.2. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.».

1.3. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему Т-образный резистивный четырехполюсник (схема №1), затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к входу исследуемой схемы».

1.4. Заполнить таблицу 7.1. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.1

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

2. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на выходе схемы №1 Т-образный резистивный четырехполюсник.

2.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

2.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему Т-образный резистивный четырехполюсник (схема №1), затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к выходу исследуемой схемы».

2.3. Заполнить таблицу 7.2. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.2

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

3. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на входе схемы безынерционного линейного детектора.

3.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

3.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «безынерционный линейный детектор (схема №2)», затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к входу исследуемой схемы».

3.3. Заполнить таблицу 7.3. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.3

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

4. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на выходе схемы безынерционного линейного детектора.

4.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

4.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «безынерционный линейный детектор (схема №2)», затем нажать кнопку «да», тем

самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к выходу исследуемой схемы».

4.3. Заполнить таблицу 7.4. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.4

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

5. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на входе схемы безынерционного двухполупериодного детектора.

5.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

5.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «безынерционный двухполупериодный детектор (схема №3)», затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к входу исследуемой схемы».

5.3. Заполнить таблицу 7.5. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.5

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

6. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на выходе схемы безынерционный двухполупериодный детектор.

6.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

6.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «безинерционный двухполупериодный детектор (схема №3)», затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к выходу исследуемой схемы».

6.3. Заполнить таблицу 7.6. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.6

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

7. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на входе схемы двусторонний ограничитель.

7.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

7.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «двусторонний ограничитель (схема №4)», затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к входу исследуемой схемы».

7.3. Заполнить таблицу 7.7. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.7

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра,									

мА									
----	--	--	--	--	--	--	--	--	--

8. Исследовать двухсторонний процесс с нормальным распределением на выходе схемы двусторонний ограничитель.

8.1. На блоке «Генератор случайных процессов» выбрать тип процесса «Двухсторонний с нормальным распределением» и нажать кнопку «вкл.»

8.2. На блоке «Органы управления коммутации» выбрать схему «двусторонний ограничитель (схема №4)», затем нажать кнопку «да», тем самым подключив генератор к исследуемой схеме, затем подключить осциллограф «к выходу исследуемой схемы».

8.3. Заполнить таблицу 7.8. , для этого необходимо на осциллографе опустить луч в низ экрана, полученные показания микроамперметра записать в таблицу под номером измерения 1, а затем поднять луч осциллографа на 0,5 клетки и записать второе показание. Всю процедуру повторить 16 раз. По полученным данным построить график (по оси (X) номер измерения, а по оси (Y) показание микроамперметра).

Таблица 7.8

Номер измерения	1	2	3	4	5	6	...	15	16
Показания микроамперметра, мА									

II. Исследование широкополосного процесса с равномерным распределением

Для наблюдения этого исследования необходимо на «Генераторе случайных процессов» выбрать тип процесса «Широкополосный с равномерным распределением». Затем повторить пункты: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 и 8.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Принципиальную схему исследований.
3. Полученные экспериментально характеристики по всем пунктам.
4. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение случайного процесса.

2. Поясните, в чем состоит эргодическое свойство случайных процессов, привести примеры.
3. Разъясните физический смысл математического ожидания и дисперсии эргодического случайного сигнала.
4. Объясните, как изменяется закон распределения дискретного случайного сигнала при прохождении через линейную резистивную цепь.
5. Объясните, как изменяется плотность вероятности случайного сигнала при прохождении через линейную резистивную цепь.
6. В чем состоит явление нормализации при прохождении случайного сигнала через линейную цепь с реактивными элементами?
7. Объясните причину нормализации закона распределения случайных законов при прохождении через линейные цепи с реактивными элементами. Во всех ли таких цепях имеет место нормализация? Привести примеры.
8. Как преобразуются законы распределения дискретных сигналов при их прохождении через нелинейные резистивные цепи?
9. Изложите графический метод определения дискретного отклика нелинейной резистивной цепи.
10. Как изменяется плотность вероятности случайного сигнала при его прохождении через нелинейную резистивную цепь?
11. Какую форму имеет закон распределения отклика безынерционного квадратичного детектора при воздействии нормального белого шума?
12. Известно, что мгновенные значения случайного узкополосного сигнала распределены по нормальному закону. По какому закону распределена его огибающая (амплитуда)?
13. Начертите структурную схему устройства для получения сигнала, распределенного по закону Рэлея из нормального белого шума.
14. Приведите график и формулу закона Рэлея.
15. Поясните, наблюдается ли нормализация законов распределения случайных сигналов при их прохождении через нелинейную цепь. Приведите примеры.
16. При каком входном сигнале линейный детектор имеет отклик, распределенный по обобщенному закону Рэлея?
17. Начертите графики обобщенного закона Рэлея для большого и малого значений отношения мощностей сигнала и помехи.
18. Дайте определение узкополосного случайного сигнала. Объяснить, как можно сформировать такой сигнал из белого шума.

19. Объясните, как изменится закон распределения отклика линейного амплитудного детектора при замене широкополосным нормальным шумом.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №8

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ФИЛЬТРАЦИИ ФАЗО-МАНИПУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ

Цель работы: Экспериментальное исследование влияния шума на оптимальную фильтрацию фазо-манипулированных сигналов.

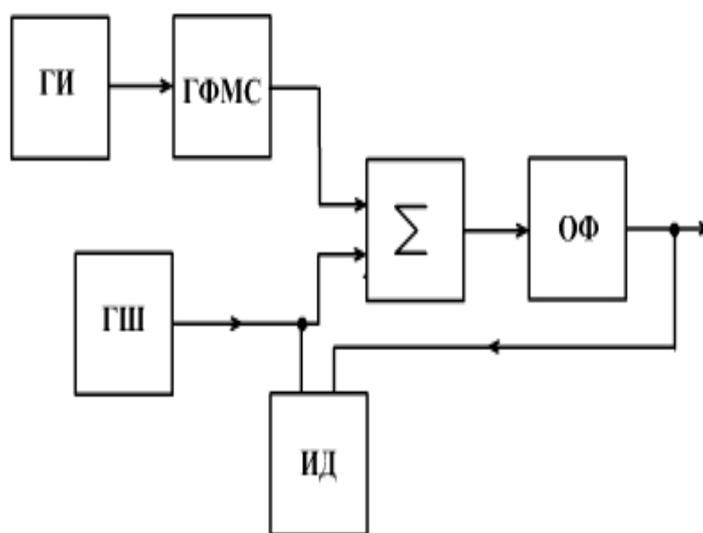


Рис. 8.1. Структурная схема исследований

Лабораторное задание

1. Исследование оптимальной фильтрации фазо-манипулированных сигналов без влияния шума.
2. Исследование влияние шума на оптимальную фильтрацию фазо-манипулированных сигналов.

Методические указания

1. Исследование оптимальной фильтрации фазо-манипулированных сигналов без влияния шума.
 - 1.1. Настроить осциллограф. Для этого установить усиление сигнала в обоих каналах 1 В/дел. и развертку сигнала 0,22 мс/дел. Подключить оба канала.
 - 1.2. Подключить в канал №1 «Выход генератора».

1.3. В канал №2 поочередно подключать сигнал с выхода каждого устройства. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать, с выхода какого устройства был получен сигнал.

2. Исследование влияния шума на оптимальную фильтрацию фазоманипулированных сигналов.

2.1. Оставить настройки осциллографа в соответствии с п.1.1.

2.2. На «Генераторе шума» установить дисперсию шума 0,1.

2.3. Подключить в канал №1 «Выход генератора».

2.4. В канал №2 поочередно подключать сигнал с выхода каждого устройства. Зарисовать полученные осциллограммы. Записать с выхода какого устройства был получен сигнал.

2.5. На «Генераторе шума» установить дисперсию шума 0,5. Повторить п.2.4.

2.6. На «Генераторе шума» установить дисперсию шума 1. Повторить п.2.4.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурную схему исследований.
3. Полученные осциллограммы сигналов.
4. Выводы по проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Приведите аналитическое выражение ФМп сигнала.
2. Приведите временные диаграммы ФМп и ОФМп сигналов.
3. Какой фильтр называется оптимальным согласованным фильтром?
4. Приведите выражение для СФ с ФМп сигналом по спектру.
5. Приведите структурную схему для СФ с ФМп сигналом по спектру.
6. Объясните принцип работы СФ с ФМп сигналом.
7. Приведите выражение для отношения с/п на выходе СФ.
8. В чем преимущество сигнала с ОФМп по отношению к сигналу с ФМп?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

ОПТИМАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ СИГНАЛОВ

Цель работы: экспериментальное исследование процессов оптимальной фильтрации сигналов известной формы с помощью цифровых согласованных фильтров.

Описание лабораторной установки

Различают оптимальную фильтрацию сигналов известной и неизвестной формы. Используемые для этой цели фильтры называют оптимальными для сигналов неизвестной формы и согласованными для сигналов известной формы.

Следует подчеркнуть, что задачей оптимального фильтра является восстановление формы сигнала, искаженного помехой, в то время как задачей согласованного фильтра является получение отсчета, по которому можно судить о присутствии или отсутствии на входе фильтра сигнала известной формы.

В процессе выполнения работы используются блоки «Источник сигналов» и «Согласованные фильтры», а также осциллограф.

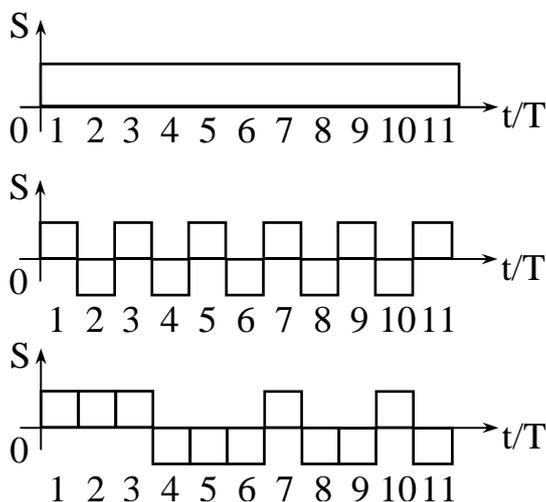


Рис. 9.1. Временные диаграммы исследуемых дискретных сигналов.

Блок «Источник сигналов» содержит генераторы сигналов одинаковой длительности:

- а) одиночный прямоугольный импульс;
- б) последовательность импульсов;
- в) одиннадцатизначный код Баркера;
- г) дельта-импульс.

Вид сигналов показан на рисунке 9.1.

В блоке «Согласованные фильтры» размещены фильтры для перечисленных сигналов, оптимальных по критерию максимума отношения пикового значения сигнала $S(t)$ в некоторый момент времени t_0 к среднеквадратичному значению помехи δ :

$$\delta: \frac{|S(t_0)|}{\delta} = \max .$$

Лабораторное задание

1. Наблюдать исследуемые сигналы.
2. Наблюдать импульсные характеристики всех исследуемых согласованных фильтров.
3. Наблюдать форму сигналов на выходе фильтров при подаче на их вход различных сигналов.

Методические указания

1. Наблюдать исследуемые сигналы.

1.1. Для этого установить усиление в канале №1 1В/дел., развертку 0,22 мс/дел. Выбрать контрольную точку №1 в канале 1.

1.2. На блоке «управление макетом» на источнике входных сигналов поочередно выбрать исследуемые сигналы и зарисовать полученные осциллограммы. При этом необходимо рисовать все сигналы в одинаковом масштабе, располагая рисунки один под другим и подписать их.

2. Наблюдать импульсные характеристики всех исследуемых согласованных фильтров.

2.1. Для этого установить в канале №2 усиление 1 В/дел. Выбрать контрольную точку №2 в канале 2.

2.2. На источнике входных сигналов включить дельта-импульс, подаваемых на вход согласованных фильтров. Полученные осциллограммы зарисовать в одинаковом масштабе и обязательно подписать.

3. Наблюдать форму сигналов на выходе фильтров при подаче на вход фильтров различных сигналов.

3.1. Для этого поочередно каждый вид импульса подавать на согласованные фильтры и зарисовать их.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурную схему исследуемой виртуальной лабораторной модели.
3. Осциллограммы по всем пунктам исследований, полученные экспериментально.
4. Анализ полученных результатов и выводы.

Контрольные вопросы

1. Какие фильтры называют согласованными и оптимальными?
2. Какие параметры сигнала и помехи должны быть известны для синтеза оптимальных согласованных фильтров?
3. Напишите выражения для АЧХ и ФЧХ: а) согласованных фильтров; б) оптимальных фильтров. Объясните их физический смысл.
4. Какой вид имеет импульсная характеристика согласованного фильтра?
5. Каковы условия физической реализуемости характеристик согласованного фильтра?
6. Какова форма сигнала на выходе согласованного фильтра?
7. Чем определяется отношение сигнал/помеха на выходе согласованного фильтра?

8 Синтезируйте фильтр, согласованный с сигналом в виде прямоугольного видеоимпульса.

9 Поясните назначение кодов Баркера.

10. Чем определяется среднеквадратичная ошибка восстановления сигнала оптимальным фильтром Винера-Колмогорова?

11. Чем принципиально отличаются импульсные характеристики рекурсивных и нерекурсивных фильтров?

12. В чем состоят характерные отличия передаточных функций рекурсивных и нерекурсивных цифровых фильтров?

13. Поясните процедуру синтеза нерекурсивных цифровых фильтров по методу «оконных» функций».

14. Поясните процедуру синтеза рекурсивных цифровых фильтров на основе дискретизации дифференциального уравнения аналоговой цепи.

15. Изобразите канонические схемы цифровых фильтров и укажите достоинства этих схем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОГЕРЕНТНОГО ДЕМОДУЛЯТОРА

Цель работы: Ознакомление со структурной схемой оптимального когерентного демодулятора. Изучение преобразований сигналов функциональными узлами этого устройства.

В работе используются блоки «Источник сигналов», «Канал связи», «Источник помех», генераторы Г1 и Г2, «Вычитающее устройство», «Квадратор», «Интегратор», «Решающее устройство».

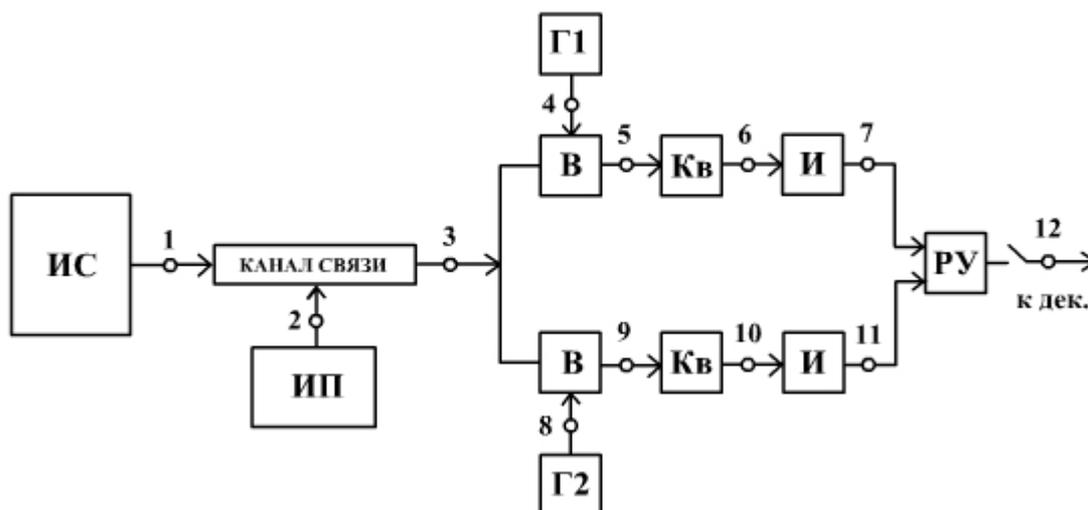


Рис. 10.1. Оптимальный когерентный демодулятор

Демодулятор представляет собой когерентный приемник, оптимальный по критерию максимального правдоподобия. Для системы двоичных сигналов алгоритм его работы записывается в виде:

$$\int_0^T z(t)s_1(t)dt - 0,5E_1 > \int_0^T z(t)s_2(t)dt - 0,5E_2,$$

где $s_i(t)$ - копии передаваемых сигналов (опорные сигналы);

$z(t) = s_i(t) + n(t)$ - аддитивная смесь сигнала и помехи на входе демодулятора;

$E_i = \int_0^T s_i^2(t)dt$ - энергия сигналов.

Лабораторное задание

1. Провести исследование демодулятора двоичных сигналов без помех в канале связи.
2. Провести исследование работы демодулятора в условиях действия помех в канале связи.

Методические указания

1. Исследование демодулятора двоичных помех в канале связи.

1.1. Загрузить программу и настроить осциллограф. Для этого установить усиление в первом и втором каналах 1 В/дел; развертку сигнала – 0,16 мс/дел.

1.2. Подключить канал № 1 осциллографа. В канале №1 поочередно выбрать контрольные точки № 1; 2; 3. Зарисовать полученные осциллограммы. Рядом с осциллограммами записать, с выхода какого устройства были получены сигналы.

1.3. Подключить канал № 2 осциллографа. Канал № 1 отключить. В канале № 2 поочередно выбрать контрольные точки № 4-10. Зарисовать полученные осциллограммы. Рядом с осциллограммами записать, с выхода какого устройства были получены сигналы.

2. Исследование работы демодулятора в условиях действия помех в канале связи.

2.1. Подключить оба канала осциллографа. На блоке «Источник помехи» нажать кнопку «Да» под надписью «Подключить источник помехи к каналу связи».

2.2. Установить значение дисперсии помехи 0,2.

2.3. Повторить п.п. 1.2. и 1.3. для установленных параметров.

2.4. Увеличивать дисперсию помехи до тех пор, пока сигнал на выходе не будет принят с ошибкой, т.е. когда сигнал в контрольной точке № 12 не будет совпадать с сигналом в контрольной точке № 1.

2.4. Повторить п.п. 1.2. и 1.3. для установленных параметров.

Содержание отчета

Отчет по выполненной работе должен содержать:

1. Название и цель работы.
2. Структурную схему оптимального когерентного демодулятора.
3. Осциллограммы наблюдаемых процессов во всех точках устройства.
4. Выводы по результатам исследований.

Контрольные вопросы

1. Объясните алгоритм работы демодулятора.
2. Поясните принцип оптимального приема дискретных сигналов на фоне помех.
3. Дайте геометрическую интерпретацию задачи оптимального приема.
4. Перечислите критерии оптимальности при приеме дискретных сигналов, поясните связь между ними.
5. Приведите количественные характеристики для оценки качества оптимального приема. Как они определяются?
6. Как оценивается помехоустойчивость когерентного приема при различных видах модуляции?
7. Запишите алгоритм работы оптимального когерентного демодулятора по критерию максимального правдоподобия.
8. Запишите алгоритм работы оптимального когерентного демодулятора для двоичной системы АМ и нарисуйте его функциональную схему.
9. Запишите алгоритм работы оптимального когерентного демодулятора для двоичной системы ЧМ и нарисуйте его функциональную схему.
10. Запишите алгоритм работы оптимального когерентного демодулятора для двоичной системы ФМ и нарисуйте его функциональную схему.

Список литературы

1. Кловский Д.Д., Назаров М.В., Зюко А.Г. Теория электрической связи. – М., Радио и связь, 1998.
2. Яковлев А.Н. Радиотехнические цепи и сигналы. – М., Высшая школа, 2002.
3. Яковлев А.Н. Радиотехнические цепи и сигналы. Задачи и упражнения. – М., Высшая школа, 2003.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М., Радио и связь, 1998.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М., Радио и связь, 1998.
6. Каганов В.И. Радиотехника+компьютер+MathCAD. – М., Горячая линия-Телеком, 2001.
7. Иванов М.Т., Сертиенко А.Б., Ушаков В.Н. Теоретические основы радиотехники. – М., Высшая школа, 2002.
8. Радиотехнические цепи и сигналы: учебное пособие для вузов. Васильев Д.В., Витоль М.Р., Горшенков Ю.Н. и др. под ред. Самойло К.А. – М., Радио и связь, 1982.
9. Зюко А.Г., Кловский Д.Д., Назаров М.В., Финк Л.М. Теория передачи сигналов. – М., Радио и связь, 1986.
10. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы (Руководство по решению задач). – М., Высшая школа, 1987.
11. Кловский Д.Д., Шилкин В.А. Теория передачи сигналов в задачах. – М., Связь, 1978.
12. Зиновьев А.Л., Филлипов Л.И. Введение в теорию сигналов и цепей. Учебное пособие для вузов. – М., Высшая школа, 1975.
13. Теория электрической связи. Методическое пособие для выполнения виртуальных лабораторных работ. ч-1. Абдуазизов А.А., Фазилжанов И.Р., Ярмухамедов А.А. и др., ТУИТ, Ташкент, 2004.

Оглавление

Предисловие.....	3
Лабораторная работа № 1 Исследование спектров непериодических сигналов.....	4
Лабораторная работа №2 Формирование и исследование последовательности периодических импульсов.....	7
Лабораторная работа № 3 Синтез сигналов по Фурье.....	9
Лабораторная работа № 4 Исследование сигналов импульсной модуляции.....	11
Лабораторная работа № 5 Исследование дельта модуляции.....	13
Лабораторная работа № 6 Исследование законов распределения случайных процессов.....	15
Лабораторная работа №7 Прохождение случайных сигналов через безынерционные элементы.....	20
Лабораторная работа №8 Исследование оптимальной фильтрации фазоманипулированных сигналов.....	29
Лабораторная работа № 9 Оптимальная цифровая фильтрация сигналов	30
Лабораторная работа № 10 Исследование оптимального когерентного демодулятора.....	33
Список литературы.....	36

МЕТОДИЧЕСКОЕ УКАЗАНИЕ
к выполнению виртуальных
лабораторных работ по курсу
"Теория электрической связи"
часть 2

рассмотрено на заседании кафедры
«Телекоммуникации»
(протокол № 1 от 27.08.2010)
и рекомендовано к печати

Составители:
Жураев Н.М.
Искандаров У.У.

