

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ  
ХАРЬКОВСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
И ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. А.М. ГОРЬКОГО

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКЕ  
(ПРАКТИКУМ ПО РАДИОФИЗИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ)

для студентов IV курса радиофизического факультета

Рекомендовано  
учебно-методической комиссией радиофизического факультета.  
Протокол № 6 от 21.04.89.

Харьков ХГУ 1990

Учебное издание

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ  
ПО СТАТИСТИЧЕСКОЙ РАДИОФИЗИКЕ  
(ПРАКТИКУМ ПО РАДИОФИЗИКЕ И ЭЛЕКТРОНИКЕ)

для студентов IV курса радиофизического факультета

Составители: ТЫРНОВ Олег Федорович  
ЗИНЧЕНКО Глеб Николаевич  
ПОХИЛЬКО Сергей Николаевич

Ответственный за выпуск В.Т. Розуменко

Редактор Л.И. Сащенко

Технический редактор Т.Ф. Рыжикова  
Корректор Л.Г. Брежнева

План 1990, поз.20

Подп. к печ. 15.01.91. Формат 60x84 1/16. Бумага тип. №  
Печать офсетная. Усл.печ.л 1,16. Усл.кр.-отт. 1,30. Уч.-изд. л.0,98.  
Изд.№ 2293. Тираж 300 экз. Зак.№ 6589. Бесплатно.

---

ХГУ. 310077, Харьков, пл.Дзержинского, 4.

---

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.  
310093, Харьков, ул.Свердлова, 115.

## Лабораторная работа 2

### ПРЕОБРАЗОВАНИЕ СЛУЧАЙНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМАХ

Цель работы – ознакомиться с принципом действия, устройством и основными параметрами радиотехнической системы вертикального доплеровского зондирования ионосферы; ознакомиться с влиянием линейных систем на статистические характеристики случайного сигнала; приобрести навыки по статистической обработке случайных процессов и расчету статистических моментов случайных процессов, прошедших через линейные системы.

Литература: [1, 2, 4, 5, 6, 7].

#### 2.1. Подготовка к работе

Лабораторная работа 2 выполняется на стационарном комплексе вертикального доплеровского радиозондирования ионосферы, входящем в состав радиофизической обсерватории (пос.Гайдары Харьковской области).

Доплеровские изменения частоты радиоволн, отраженных от ионосферы, в используемом диапазоне составляют  $\sim 1$  Гц и в редких случаях достигают значений нескольких Гц. Метод измерений сводится к сравнению частоты сигнала, отраженного от ионосферы, с частотой опорного колебания.

При зондировании монохроматической волной, в диапазоне частот  $\sim 3 \dots 15$  МГц нестационарность невозмущенной ионосферы вызывает уширение спектра отраженного сигнала на величину не менее  $\sim 0,01$  Гц. Этот факт накладывает принципиальное ограничение на погрешность определения доплеровского изменения частоты. По этой причине относительная нестабильность частоты передающей и приемной систем за время измерений должна быть не хуже  $10^{-9}$ .

Результатом измерений являются данные о временных изменениях доплеровского смещения частоты, которые имеют случайный характер. Полученный случайный процесс подвергается преобразованиям с использованием линейных систем.

Воздействие детерминированных сигналов на линейные стационарные системы. В радиотехнических системах используются различные устройства для передачи, приема, преобразования и обработки сигналов, которые могут быть чрезвычайно разнообразны как по принципам внутреннего устройства, так и с точки зрения внешних характеристик. При составлении функциональной схемы систем такие устройства иллюстрируются структурной схемой типа "черного ящика" (рис.2.1).

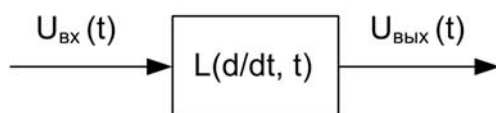


Рис. 2.1

В наиболее простом случае входной  $U_{вх}(t)$  и выходной  $U_{вых}(t)$  сигналы представляют собой одиночные функции времени. Более общим случаем является представление входного сигнала в виде  $m$ -мерного вектора:

а выходного сигнала  $U_{вых}(t)$  – в виде  $n$ -мерного вектора:

Закон связи между сигналами и можно задать посредством системного оператора  $L$ , результатом воздействия которого на  $U_{вх}(t)$  служит сигнал  $U_{вых}(t)$ .

2.1

В дальнейшем для простоты будем иметь дело с одномерными входным и выходным сигналами.

Стационарной принято называть такую систему, выходная реакция которой не зависит от того, в какой момент времени поступает входной сигнал. Для стационарной системы из равенства (2.1) следует, что при

любом значении  $t_0$ . Стационарные системы называют также системами с постоянными во времени параметрами.

Если же инвариантность свойств системы относительно начала отсчета времени отсутствует, то такая система называется нестационарной (системой с переменными во времени параметрами, или параметрической системой). Теоретическое изучение нестационарных систем, как правило, представляет гораздо более сложную задачу. Если оператор системы таков, что справедливы равенства:

$$(2.2)$$

где  $\alpha$  – произвольное число, то данная система называется линейной. Условие (2.2) выражает принцип суперпозиции.

Строго говоря, все физические системы в той или иной степени нелинейны. Однако существует такой класс систем, для которых линейные модели дают весьма точное описание. Так, практически всегда можно пренебречь нелинейными свойствами обычных резисторов, конденсаторов и некоторых индуктивных элементов. Примером линейной динамической системы является однокаскадный электронный усилитель напряжения с апериодической нагрузкой, если амплитуда переменной составляющей входного напряжения мала по сравнению с так называемым тепловым потенциалом р-п перехода (при использовании в качестве управляемого электронного элемента биполярного транзистора со структурой n-p-n). Наряду с биполярными транзисторами в усилителях применяются разнообразные полевые транзисторы и электронные лампы, которые также при определенных условиях можно считать линейными цепями. Линейные системы замечательны тем, что для них, по крайней мере, теоретически, можно получить решение любой задачи, связанной, с преобразованиями входного сигнала.

Нелинейные радиотехнические устройства содержат обычно такие элементы, как диоды и транзисторы. Их нелинейность проявляется в резком отличии вольт-амперных характеристик от прямолинейных зависимостей.

Импульсной характеристикой системы называется функция  $h(t)$ , являющаяся откликом системы на входной сигнал вида  $\delta(t)$ . Это означает, что  $h(t)$  удовлетворяет следующему уравнению:

$$h(t) = L\delta(t).$$

Из стационарности системы следует, что

$$h(t \pm t_0) = L\delta(t \pm t_0).$$

Импульсная характеристика, как и порождающая ее дельта-функция, – идеализированные понятия. С физической точки зрения импульсная характеристика приближенно отображает реакцию системы на входной импульсный сигнал произвольной формы с единичной площадью при условии, что длительность этого сигнала пренебрежимо мала по сравнению с характерным временем установления стационарного состояния системы.

Частотным коэффициентом передачи системы называется, величина

$$K(i\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} h(t) e^{-i\omega t} dt. \quad (2.3)$$

Из (2.3) следует, что частотный коэффициент передачи и импульсная характеристика линейной стационарной системы связаны между собой преобразованием Фурье. Поэтому можно всегда, зная функцию  $K(i\omega)$ , определить:

$$h(t) = \int_{-\infty}^{\infty} K(i\omega) e^{i\omega t} d\omega.$$

Из приведенного выше следует, что любую линейную стационарную систему можно рассматривать либо во временной области с помощью ее импульсной и переходной характеристик, либо в частотной области, задавая частотный коэффициент передачи системы.

Функция  $K(i\omega)$  имеет простую интерпретацию: если на вход системы поступает гармоническое колебание с известной частотой и комплексной амплитудой  $U_{вх}$ , то комплексная амплитуда выходного сигнала .

Часто пользуются представлением частотного коэффициента передачи в показательной форме:

$$K(i\omega) = |K(i\omega)| e^{i\varphi(\omega)},$$

В этой форме записи  $|K(i\omega)|$  – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ);  $\varphi(\omega)$  – фазочастотная характеристика (ФЧХ).

Одним из методов анализа прохождения радиотехнических сигналов через линейные стационарные системы считается спектральный метод. В основе этого метода лежит использование свойств частотного коэффициента передачи системы. Основные положения спектрального метода свидетельствует о том, что частотный коэффициент передачи служит множителем пропорциональности между спектральными плотностями сигналов на входе и на выходе:

$$S_y(\omega) = S_x(\omega)K(i\omega).$$

Воздействие случайных сигналов на линейные стационарные цепи. Методы анализа прохождения детерминированных сигналов через линейные стационарные цепи могут быть перенесены в статистическую область. Если на вход системы подается колебание  $x(t)$ , представляющее собой некоторую реализацию случайного процесса  $X(t)$  известного вида, то никакой новой задачи не возникает – к сигналу  $x(t)$  можно относиться как к вполне детерминированной, хотя, возможно, очень сложно описываемой функции. Зная частотный коэффициент передачи системы  $K(i\omega)$ , можно найти выходную реакцию  $y(t)$ .

Однако специфика статистической теории состоит в том, что столь полная информация о входном сигнале недоступна – вместо детерминированного описания входного сигнала мы располагаем лишь сведениями об усредненных статистических характеристиках случайного процесса  $X(t)$ . Такими характеристиками могут быть одномерная и многомерные плотности вероятности, а также различные моментные функции, прежде всего математическое ожидание и функция автокорреляции. Спектральный метод анализа прохождения случайных сигналов через линейные стационарные системы позволяет установить связь между свойствами процессов  $X(t)$  и  $Y(t)$  на основе частотного коэффициента передачи системы: энергетический спектр выходного случайного сигнала связан с аналогичным спектром сигнала на входе

$$S_y(\omega) = S_x(\omega) |K(i\omega)|^2$$

## 2.2. Описание лабораторной установки

В стационарном комплексе реализован принцип параллельного излучения, приема и обработки зондирующих сигналов на двух когерентных частотах. Это достигнуто применением двойного комплекта приемо-передающей аппаратуры с двумя задающими генераторами высокой стабильности и общим высокостабильным опорным генератором.

Блок-схема комплекса двухчастотного зондирования представлена на, рис.2.2.

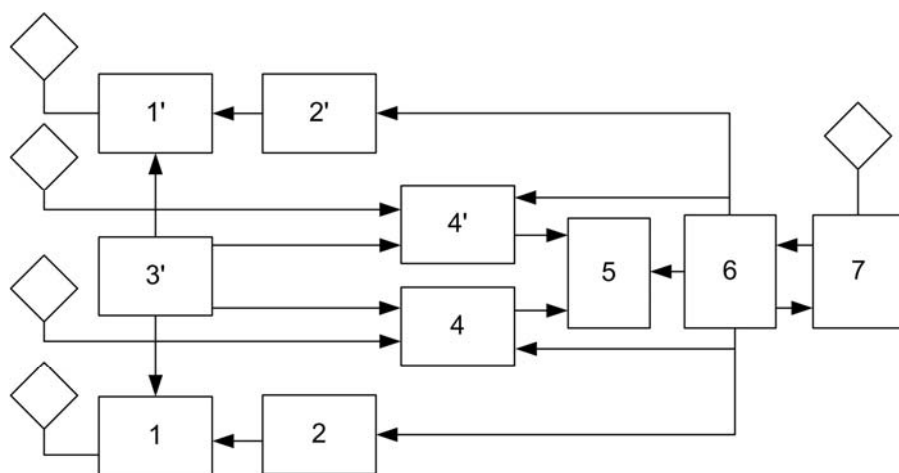


Рис. 2.2

В состав комплекса входят: двухканальная передающая система (состоящая из передатчиков 1 и 1'; генераторов несущей частоты 2 и 2' и двух передающих антенн), двухканальная приемная система (приемники 4 и 4' с высокостабильными гетеродинами), система управления и стробирования приемо-передающих трактов 3, система обработки и регистрации 5, высокостабильный опорный генератор 6 и вспомогательная система калибровки опорного генератора 7.

Основные характеристики комплекса представлены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Характеристика	Значение параметра	Примечание
Частотный диапазон, МГц	1,5...30	
Мощность излучения, кВт	1,0	
Длительность импульса, мс	0,2...1,0	
Период повторения, мс	20,0...5,0	

Относительная нестабильность частоты	$10^{-9}$	После часового прогрева
Полоса пропускания системы, кГц	0,3...20	
Погрешность определения доплеровских смещений частоты, Гц	$2 \times 10^{-2}$	

Передающая система обеспечивает излучение линейно поляризованного импульсного сигнала с высокой стабильностью частоты заполнения. Отраженный от ионосферы сигнал принимается приемной антенной с линейной поляризацией и после ряда линейных последовательных преобразований поступает на систему обработки и регистрации. Выделенный системой обработки сигнал инфранизкой частоты несет информацию об изменении частоты зондирующего сигнала при отражении от ионосферы.

Регистрация сигналов производится на самописец и на магнитную ленту накопителя ЕС 9002.

### 2.3. Лабораторное задание

2.3.1. Подготовить к включению и включить радиотехнический комплекс.

2.3.2. Провести запись экспериментальных данных на магнитную ленту.

2.3.3. Провести обработку данных на ЭВМ ДВК-2, которая обеспечивает следующий алгоритм получения результатов:

– запрос установки времени начала обработки данных;

– поиск указанных данных на ленте и в случае успешного завершения поиска считывание данных в оперативную память ЭВМ; формирование исходного временного ряда;

– формирование цифровых фильтров низких и высоких частот и фильтрация исходных данных; формирование двух выходных временных рядов;

– вычисление энергетических спектров для каждого ряда методом быстрого преобразования Фурье;

– вывод результатов вычислений в виде графиков на графопостроитель.

2.3.4. Рассчитать дисперсии исходного процесса и процессов на выходе фильтров низких и высоких частот.

2.3.5. Определить передаточные функции  $K(\omega)$  для обоих фильтров. Построить их графики.

2.3.6. Найти аппроксимирующие функции для каждой из зависимостей  $K(\omega)$ . Построить графики.

2.3.7. Определить полосу пропускания интегрирующей цепи. Вычислить дисперсию процесса на выходе этого фильтра с использованием энергетического спектра процесса на его входе.

2.3.8. Сформулировать выводы по работе.

### 2.4. Методические указания к выполнению работы

2.4.1. Ознакомиться с техническим описанием приемной и регистрирующей аппаратуры.

2.4.2. При выполнении п.2.3.4 предполагается численное интегрирование энергетических спектров с использованием любой ЭВМ или микрокалькулятора типа МК-61.

2.4.3. При выполнении п.2.3.5 используем связь между энергетическими спектрами процессов на входе и выходе линейных систем. Для уменьшения погрешности расчетов  $K(\omega)$  следует оцифровывать мощности наиболее ярко выраженных на графиках  $S(\omega)$  спектральных компонент. Общее число экспериментальных значений  $S$ , полученных из энергетических спектров  $S(\omega)$  исследуемых процессов, должно составлять 20 ... 30 в зависимости от ширины спектра.

2.4.4. Выполнение п.2.3.6 предполагает использование метода наименьших квадратов. Аппроксимацию экспериментальных зависимостей  $K(\omega)$  проведем с использованием любой ЭВМ.

2.4.5. При определении полосы пропускания интегрирующей цепи определим граничную частоту фильтра по уменьшению  $K$  в 2 раза в сравнении со значением этой характеристики при  $\omega = 0$ . При определении дисперсии процесса на выходе этого фильтра по энергетическому спектру процесса на его входе используем численное интегрирование.

### Контрольные вопросы

1. Каким образом производится измерение доплеровского смещения частоты радиоволн, отраженных от ионосферы?

2. Что называется относительной нестабильностью частоты?

3. Какие статистические характеристики случайных процессов вы знаете? Приведите их определения.

4. Сформулируйте определение линейных систем. Приведите примеры таких систем.

5. Как связаны между собой энергетические спектры случайных процессов на входе и выходе линейных систем?
6. Что называется импульсной характеристикой системы?
7. Как связан частотный коэффициент передачи с импульсной характеристикой системы?
8. Приведите примеры радиотехнических устройств, которые можно считать линейными или нелинейными системами в зависимости от их режима работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере. – М.: Мир, 1973. – 502 с.
2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1962. – 576 с.
3. Фукс И.М. Статистическая радиофизика и теория информации: Текст лекций. – Харьков: ХГУ, 1965. – Ч.1. – 60 с.
4. Фукс И.М. Статистическая радиофизика и теория информации: Текст лекций. – Харьков: ХГУ, 1969. – Ч.2. – 87 с.
5. Методические указания к решению задач по курсу "Статистическая радиофизика и теория информации" // Сост. О.Ф.Тырнов, Г.Н.Зинченко. – Харьков: ХГУ, 1964. – 72 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. – М. : Сов.радио, 1974. – Кн.1. – 550 с.
7. Мак-Кракен Д., Дорн У. Численные методы и программирование на Фортране. – М.: Мир, 1977. – 584 с.