

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. Сашенко

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 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УРОВНЯ КОРОТКОВОЛНОВОГО СИГНАЛА

Цель работы – ознакомиться с принципом действия, устройством и основными параметрами аппаратуры регистрации и измерения характеристик частично отраженных КВ-сигналов; приобретение навыков по статистической обработке случайных временных рядов.

При подготовке к лабораторной работе следует ознакомиться с основными определениями статистических характеристик случайных процессов и изучить алгоритмы расчетов этих характеристик.

Л и т е р а т у р а: [1, 2, 3, 5, 7].

1.1. Подготовка к работе

Лабораторная работа 1 выполняется на стационарном радиотехническом комплексе радиофизической обсерватории (пос. Гайдары Харьковской области). Стационарный радиотехнический комплекс аппаратуры кафедры космической радиофизики предназначен для исследования нижней ионосферы методом частичных отражений.

В данном методе импульсного зондирования используется полное отражение волны при подходе ее к слою ионосферы с плазменной частотой, равной частоте волны. При наличии скачка концентрации, создающего скачок показателя преломления, возможны частичные отражения волны и при значении плазменной частоты, не равном частоте волны. Скачок показателя следует понимать как наличие заметного его изменения на расстоянии, меньшем длины волны. При этом требуется, чтобы скачок по фронту занимал площадь не менее зоны Френеля, расстояния от всех точек которой до точки приема или излучения волны различаются не более чем на $\pi/2$.

Эти условия выполняются в нижней ионосфере, где турбулентный перенос воздушных масс, содержащих различные концентрации электронов, создает контакт течений с различными концентрациями. Различия в концентрации, разумеется, могут быть очень малыми, и соответственно малыми окажутся скачки показателя преломления. Это, однако, не исключает возможность их использования, а лишь предъявляет более жесткие требования к потенциалу установки, к ее мощности и чувствительности.

В процессе зондирования ионосферы в реальных условиях регистрируется аддитивная смесь полезного сигнала и помехи. Для оценки статистических характеристик помехи и учета их при обработке экспериментальных данных организован режим работы, при котором, кроме регистрации смеси сигнала и помехи, производится регистрация амплитуды помехи, принимаемой на данной частоте в момент времени, предшествующий излучению зондирующего импульса.

Статистическая обработка экспериментальных данных (временных изменений E – относительного уровня КВ-сигнала) предполагает, в частности, определение среднего значения флуктуирующего параметра, построение распределения плотности вероятности для него, определение дисперсии, автокорреляционной функции и энергетического спектра.

В процессе выполнения данной работы необходимо провести сравнительный анализ статистических характеристик, полученных независимо для временного ряда E_n , соответствующего исходному процессу $E(t)$, и временных рядов, полученных из исходного ряда усреднением на временных интервалах $T_1 = 2$ с (5 точек) и $T_2 = 4$ с (9 точек).

1.2. Описание лабораторной установки

Функциональная схема стационарного комплекса приведена на рис.1.1. Использованные обозначения: ПУ – передающее устройство; СУ – синхронизирующее устройство; УУ – управляющее устройство; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; ПП – переключатель поляризаций; П – приемник; О – осциллограф; К – кинокамера; РР – регистратор "Радуга"; С – самописец; ЦПУ – цифropечатающее устройство.

Радиотехническая система, используемая в комплексе, оснащена диапазонной антенной, мощным диапазонным передающим

устройством, имеет возможность изменения поляризации излучаемых сигналов. Приемная система позволяет принимать радиоволны как линейной, так и обеих круговых поляризаций. Радиотехническая система сопряжена с ЭВМ. Передающая антенная система комплекса состоит из двух разнесенных антенных решеток, одна из которых предназначена для работы в диапазоне частот 1,5 ... 4,5 МГц, а другая – в диапазоне 4,5 ... 15 МГц. Элементарной ячейкой решетки диапазона 1,5 ... 4,5 МГц является двойная вертикальная ромбическая антенна Айзенберга, а решетки диапазона 4,5 ... 15 МГц – обычная ромбическая антенна. Обе антенные решетки содержат по восемь ячеек. Высота подвеса антенны – 20 м. Размеры антенных полей 300 х 300 м и 60 х 60 м. Расчетный коэффициент усиления по мощности для решетки диапазона 1,5 ..., 4,5 МГц равен 200.

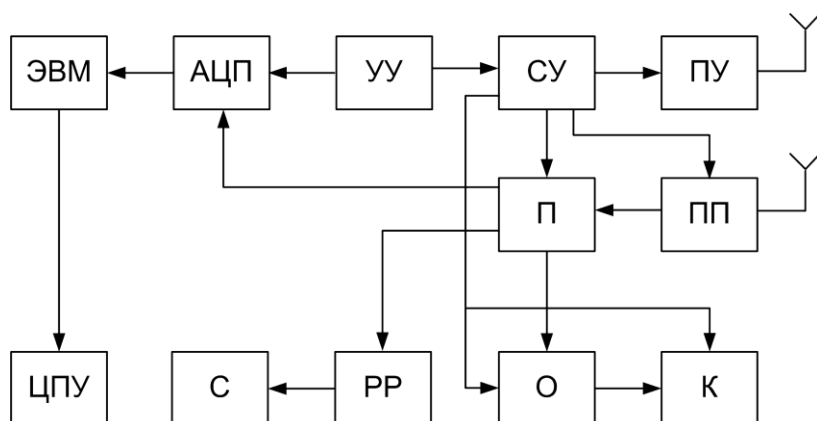


Рис. 1.1

Для приема сигналов диапазона частот 1,5 ... 4,5 МГц используются два ортогональных двойных ромба, а в диапазоне 4,5 ... 15 МГц – два ортогональных ромба. Конструкция антенного поля позволяет достаточно оперативно изменять соединение его элементов.

Радиопередающая система комплекса включает два радиопередающих устройства. Одно из них предназначено для работы в непрерывном и в импульсном режиме, что позволяет использовать его в экспериментах, как для нагрева, так и для зондирования ионосферы. Другое радиопередающее устройство работает только в

импульсном режиме, однако обеспечивает большую выходную мощность. Оба устройства выполнены с использованием двухканальных широкополосных усилителей мощности. В качестве задающего генератора несущей частоты использован синтезатор частот Ч6-31 с высокой стабильностью частоты выходного сигнала и возможностью дистанционного управления частотой. Наличие двух каналов в передатчиках позволяет при работе на ортогональные антенны излучать радиоволны с круговой поляризацией. При этом в один из каналов вводится сдвиг фаз $\pi/2$. Основные технические характеристики радиопередающего устройства, предназначенного для работы в непрерывном и импульсном режимах: выходная мощность – до 200 кВт, длительность импульса – 25 ... 500 мкс, диапазон рабочих частот – 1,5 ... 15 МГц. Импульсный передатчик обеспечивает следующие параметры: выходная мощность – до 400 кВт, длительность импульса – 20 ... 500 мкс, частота повторения импульсов – до 100 Гц, скважность – не менее 1000, диапазон рабочих частот – 1,5 ... 6 МГц.

Радиоприемная система стационарного комплекса создана на базе модернизированного приемника Р-250 и кроме собственно приемника включает широкополосную (1 ... 10 МГц) схему выделения поляризаций и антенный коммутатор. Схема выделения поляризаций включена на входе приемника. При использовании ортогональных антенн она обеспечивает одновременное выделение сигналов обеих поляризаций. Радиоприемное устройство имеет диапазон рабочих частот 1,5 ... 10 МГц и полосу пропускания по промежуточной частоте 60 кГц.

С выхода радиоприемной системы сигнал поступает в систему регистрации и обработки экспериментальных данных, где подается на одно из устройств регистрации непосредственно или после предварительной обработки.

Регистрация результатов с помощью специализированных устройств или с помощью ЭВМ может осуществляться на магнитную ленту, жесткие и гибкие магнитные диски, перфоленту, ленту самописца, рулонную бумагу, фотопленку. Для большей части регистрирующих устройств стационарного комплекса сигнал предварительно оцифровывается с помощью аналого-цифрового преобразователя. Шаг дискретизации сигнала по высоте и интервал высот, с которых производится регистрация, задаются системой синхронизации.

Для обработки экспериментальных данных в реальном масштабе времени применяется ЭВМ СМ-1420 и микроЭВМ "Электроника 60М". Ввод данных в ЭВМ СМ-1420 осуществляется через КАМАК, а в "Электронику 60М" – в режиме прямого доступа к памяти.

Последовательность работы устройств, входящих в состав комплекса, задается системой синхронизации, собранной на базе делителей частоты – Ф5093. Система синхронизации обеспечивает высокую стабильность формируемых временных интервалов. Основные технические характеристики: период повторения импульсов запуска радиопередающего устройства – 1 мс ... 999 с, относительная нестабильность частоты повторения – $+6 \cdot 10^{-7}$ шаг выборок – 20 мкс, количество выборок в одном цикле – 1 ... 10^5 .

Для выполнения лабораторной работы используется режим накопления информации на жестком магнитном диске с последующей обработкой в реальном масштабе времени.

1.3. Лабораторное задание

1.3.1. Подготовить к включению и включить радиотехнический комплекс.

1.3.2. Провести регистрацию временных изменений сигнала и предварительную обработку полученных результатов на ЭВМ. Обработка данных производится "Задачей обработки данных", которая обеспечивает следующий алгоритм получения результатов:

- запрос установки времени начала обработки данных;
- поиск указанных данных на диске и в случае успешного завершения поиска считывание данных в оперативную память ЭВМ;
- распечатка первых ста значений сигнала на печатающем устройстве;
- усреднение полученного временного ряда по 5 и 9 точкам и формирование двух дополнительных временных рядов;

1.3.3. Рассчитать средние значения, дисперсии, автокорреляционные функции и энергетические спектры для трех временных рядов $E_n^{1,2,3}$. Построить графики

1.3.4. Построить гистограммы для трех временных рядов $E_n^{1,2,3}$.

1.3.5. Для усредненных рядов $E_n^{2,3}$ провести сравнение результатов расчета дисперсии, полученных тремя способами: а) из числовых массивов; б) интегрированием полученных для этих рядов энергетических спектров в бесконечных пределах; в) графическим

определением результата интегрирования в конечной полосе частот энергетического спектра, соответствующего исходному статистическому ряду.

1.3.6. Сформулировать выводы по работе.

Выполнение пп.1.3.3 ... 1.3.5 провести в соответствии с методическими указаниями по работе.

1.4. Методические указания к выполнению работы

1.4.1. В соответствии с полученными экспериментальными значениями относительного уровня КВ-сигнала построим статистический ряд вида:

$t, \text{ с}$	0,5	1	1,5	...	50
$E, \text{ отн.ед.}$	E_1	E_2	E_3	...	E_{100}

1.4.2. При усреднении методом скользящего среднего на интервале T получаем новую зависимость (статистический ряд) $E(t)$.

Для интервала усреднения $T_1 = 2 \text{ с}$ (5 точек) каждый член нового ряда вычисляем по формуле:

$$E_{T_1}(t_n) = \frac{1}{5} \sum_{k=n-2}^{n+2} E_k,$$

где $n = 3, 4, 5, \dots, 98$.

Для интервала $T_2 = 4 \text{ с}$ (9 точек)

$$E_{T_2}(t_n) = \frac{1}{9} \sum_{k=n-4}^{n+4} E_k,$$

где $n = 5, 6, 7, \dots, 96$.

Обозначим исходный ряд как $E(t) \equiv E^1(t)$, а два ряда, полученных усреднением, как $E_{T_1}(t) \equiv E^2(t)$, $E_{T_2}(t) \equiv E^3(t)$. Для удобства дальнейших вычислений сведем их в табл. 1.1.

1.4.3. Вычисленные математические ожидания и дисперсии для каждого из рядов сравним между собой.

1.4.4. Вычисленные центрированные величины для каждого ряда также сведем в табл.1.1 ($\dot{E}^1 = E^1 - \bar{E}$, $\dot{E}^2 = E^2 - \bar{E}$, $\dot{E}^3 = E^3 - \bar{E}$).

1.4.5. Для построения гистограммы дискретного случайного процесса E_n весь диапазон значений E делим на l интервалов и вычисляем количество значений m_i , приходящихся на каждый i -й

интервал. По этому количеству определяем частоту наблюдений, соответствующую данному интервалу:

$$P_i = \frac{m_i}{n_{max}}, \Delta E = (E_{max} - E_{min})/l; n_{max}^{1,2,3} = 100; 96; 92.$$

Таблица 1.1

n	1	2	3	4	5	...	96	97	98	99	100
$E^1(t_n)$	E_1^1	E_2^1	E_3^1	E_4^1	E_5^1	...	E_{96}^1	E_{97}^1	E_{98}^1	E_{99}^1	E_{100}^1
$E^2(t_n)$			E_3^2	E_4^2	E_5^2	...	E_{96}^2	E_{97}^2	E_{98}^2		
$E^3(t_n)$					E_5^3	...	E_{96}^3				
$\dot{E}^1(t_n)$	$\dot{E}_1^1$	$\dot{E}_2^1$	$\dot{E}_3^1$	$\dot{E}_4^1$	$\dot{E}_5^1$	...	$\dot{E}_{96}^1$	$\dot{E}_{97}^1$	$\dot{E}_{98}^1$	$\dot{E}_{99}^1$	$\dot{E}_{100}^1$
$\dot{E}^2(t_n)$			$\dot{E}_3^2$	$\dot{E}_4^2$	$\dot{E}_5^2$	...	$\dot{E}_{96}^2$	$\dot{E}_{97}^2$	$\dot{E}_{98}^2$		
$\dot{E}^3(t_n)$					$\dot{E}_5^3$	...	$\dot{E}_{96}^3$				

Сведем полученные значения ΔE_i , и P_i в табл. 1.2.

Таблица 1.2

ΔE_i	ΔE_1	ΔE_2	ΔE_3	...	ΔE_{l-1}	ΔE_l
P_i	P_1	P_2	P_3	...	P_{l-1}	P_l

Если случайная величина приходится точно на границу двух интервалов, то данное значение можно считать принадлежащим в равной мере к обоим интервалам; при этом прибавляем к числам обоих интервалов по 1/2.

Выберем число интервалов $l = 10$.

Построим гистограммы для всех статистических рядов.

При увеличении числа опытов $n_{\max}$ можно выбирать все более мелкие интервалы, при этом гистограмма будет приближаться к кривой, представляющей собой график распределения плотности вероятности измеряемой случайной величины.

1.4.6, Автокорреляционная функция может быть вычислена как

$$R_E(\tau) = \frac{1}{n-k} \sum_{n=1}^{n-k} \dot{E}_n \dot{E}_{n+k},$$

где $\tau = k\Delta t$.

Вычисление корреляционных функций проведем для $k = 1, 2, \dots$ вплоть до таких значений k , при которых $R_E(\tau)$ существенно меньше дисперсии. При вычислении $R_E(\tau)$ центрированные величины $\dot{E}_n$ брать из табл. 1.1.

1.4.7. Для каждой из трех корреляционных функций определим радиус корреляции τ_0 , исходя из условия:

$$R_E(\tau_0) = e^{-1} R(0).$$

Аппроксимируем функции $R_E(\tau)$ для каждого ряда функциями:

$$R_E(\tau) = \sigma_E^2 e^{-\tau^2/\tau_0^2} \quad (1.1)$$

или

$$R_E(\tau) = A(\tau) \cos \omega_0 \tau, \quad (1.2)$$

где: $A(\tau) = \sigma_E^2 e^{-\beta \tau} \cos \Omega \tau_0$.

В качестве аппроксимирующей функции выбирается фикция (1.1) или (1.2) в зависимости от вида графика $R_E(\tau)$, построенного по экспериментальным данным. $\sigma_E^2, \tau_0, \beta, \Omega$ — свои для каждого ряда. В случае усредненных рядов следует положить $\Omega = 0$.

1.4.8. Для каждого ряда с использованием (1.1) или (1.2) рассчитаем энергетический спектр по формуле Винера-Хинчина:

$$S_E(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} R_E(\tau) e^{-i\omega \tau} d\tau$$

и определим эффективную ширину спектра $\Delta\omega$ из условия:

$$S_E(\Delta\omega) = e^{-1} S_E(0).$$

1.4.9. Помимо вычислений σ_E^2 на основе данных о статистическом ряде, эта величина может быть определена еще двумя способами:

а) интегрированием найденных энергетических спектров в бесконечных пределах

$$\sigma_E^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S_E(\omega) d\omega;$$

б) графическим определением результата интегрирования в конечной полосе частот спектра, соответствующего исходному статистическому ряду. Полосы частот, в которых производится интегрирование, могут быть вычислены как $\Delta\omega_{1,2} = 4\pi/T_{1,2}$ (здесь $T_{1,2}$ – интервал усреднения); центр полосы соответствует величине $\omega=0$.

Справедливость такого подхода следует из того, что усреднение исходного случайного процесса на интервале времени T эквивалентно пропуску его через фильтр с частотной характеристикой

$$G_T(\omega) = \left| \frac{\sin \frac{\omega T}{2}}{\frac{\omega T}{2}} \right|^2$$

Полоса пропускания этого фильтра (расстояние между первыми нулями $\pm 2\pi/T$) равна $4\pi/T$.

Контрольные вопросы

1. Каковы статистические характеристики случайных процессов вы знаете? Приведите их определения.
2. Как связаны между собой автокорреляционная функция и энергетический спектр случайного процесса?
3. Как определяется интервал корреляции и ширина энергетического спектра?
4. Какими функциями можно аппроксимировать автокорреляционные функции широкополосного и узкополосного процессов?
5. Для чего используется статистическая обработка случайных процессов?

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 ~ 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).

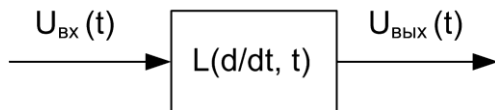


Рис. 2.1

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

$$\vec{U}_{\text{вх}}(t) = \{U_{\text{вх}1}(t), U_{\text{вх}2}(t), \dots, U_{\text{вх}m}(t)\},$$

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

$$\vec{U}_{\text{вых}}(t) = \{U_{\text{вых}1}(t), U_{\text{вых}2}(t), \dots, U_{\text{вых}n}(t)\}.$$

Закон связи между сигналами $\vec{U}_{\text{вх}}(t)$ и $\vec{U}_{\text{вых}}(t)$ можно задать посредством системного оператора L , результатом воздействия которого на $\vec{U}_{\text{вх}}$ служит сигнал $\vec{U}_{\text{вых}}$

$$\vec{U}_{\text{вых}}(t) = L \vec{U}_{\text{вх}}(t). \quad 2.1$$

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 $U_{\text{вых}}(t + t_0) = L U_{\text{вх}}(t + t_0)$ 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:

$$\begin{aligned} L(U_{\text{BX}1} + U_{\text{BX}2}) &= LU_{\text{BX}1} + LU_{\text{BX}2}, \\ L(\alpha U_{\text{BX}}) &= \alpha LU_{\text{BX}}, \end{aligned} \quad (2.2)$$

где α – 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 $\dot{U}_{вх}$, то комплексная амплитуда выходного сигнала $\dot{U}_{вых} = K(i\omega) \dot{U}_{вх}$.

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 с помощью соотношения $S_y(\omega) = S_x(\omega)|K(i\omega)|^2$.

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.

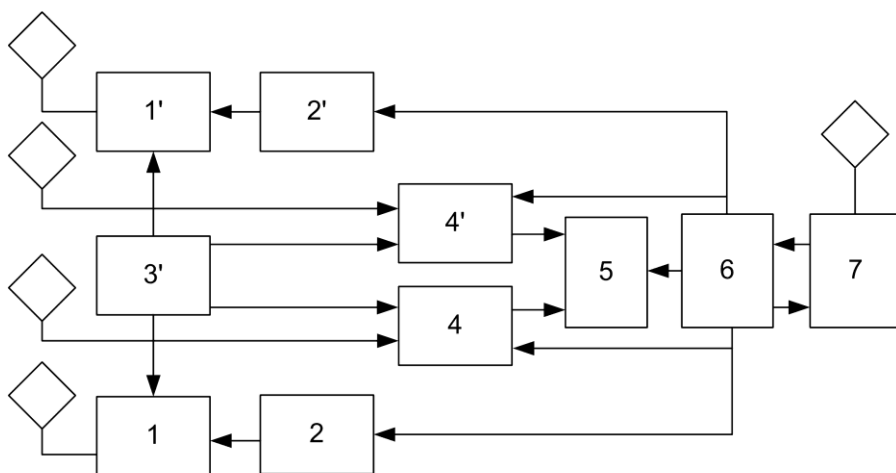


Рис. 2.2

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	2×10^{-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 **не** 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 $|K(i\omega)|$ 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 $|K(i\omega)|$ 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.