БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНФОРМАТИКИ ИРАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

Кафедра метрологии и стандартизации

**РЕФЕРАТ**

**На тему:**

**«Измерение характеристик случайных сигналов»**

МИНСК, 2008

Статистические измерения – это методы и средства измерения параметров и характеристик случайных сигналов. Они базируются на общих принципах измерений параметров сигналов, но имеют свою специфику и особенности, вытекающие из теории случайных процессов.

**Вероятностные характеристики случайных сигналов**

Случайным называется сигнал, мгновенные значения которого изменяются во времени случайным образом. Он описывается случайной функцией времени Х(t). Эту функцию можно рассматривать как бесконечную совокупность функций xi(t), каждая из которых представляет собой одну из возможных реализаций X(t). Графически это можно представить следующим образом (рисунок 1):

х

t

tj

xi(tj)овылыволвол)))0))

Рисунок 1

Полное описание случайных сигналов может быть произведено с помощью системы вероятностных характеристик. Любая из этих характеристик может быть определена либо усреднением по совокупности реализации xi(t), либо усреднением по времени одной бесконечно длинной реализации.

Зависимость или независимость результатов таких усреднений определяет следующие фундаментальные свойства случайных сигналов – стационарность и эргодичность.

Стационарным называется сигнал, вероятностные характеристики которого не зависят от времени.

Эргодическим называется сигнал, вероятностные характеристики которого не зависят от номера реализации.

Для стационарных эргодических сигналов усреднение любой вероятностной характеристики по множеству реализаций эквивалентно усреднению по времени одной теоретически бесконечно длинной реализации.

Для практических целей наиболее важными являются следующие вероятностные характеристики стационарных эргодических сигналов, имеющих длительность реализации Т:

- среднее значение (математическое ожидание). Оно характеризует постоянную составляющую сигнала

; (1)



- средняя мощность. Она характеризует средний уровень сигнала

; (2)



- дисперсия, характеризующая среднюю мощность переменной составляющей сигнала:

; (3)



- среднеквадратическое отклонение (СКО)

; (4)



- функция распределения, которая определяется как интегральная вероятность того, что значение xi(tj) в j-й момент времени будут ниже некоторых значений X:

. (5)



Для заданных стационарных эргодичных сигналов Fx характеризуется относительным временем пребывания реализации ниже уровня Х (τi –, i –й интервал пребывания, n – количество интервалов, рисунок 2)

t

x

τi

Δti

Рисунок 2

Δх

х+Δх

x

- одномерная плотность вероятности, называемая дифференциальным законом распределения:

, (6)



где - расстояние между соседними уровнями X(t), называемое дифференциальным коридором;



- i *–*й интервал пребывания реализации в пределах (см. рисунок 1.11).



- корреляционная функция. Она характеризует стохастическую (случайную) связь между двумя мгновенными значениями случайного сигнала, разделенного заданным интервалом времени τ

; (7)



- взаимная корреляционная функция. Она характеризует стохастическую связь мгновенными значениями случайных сигналов x(t) и y(t), разделенными интервалом времени τ

. (8)



Из выражений (1)-(8) видно, что все вероятностные характеристики представляют собой неслучайные числа или функции и определяется по одной реализации бесконечной длительности. Практически же длительность Т, называемая продолжительностью анализа, всегда ограничена, поэтому на практике мы можем определить не сами характеристики, а только их оценки. Эти оценки, полученные экспериментальным путем, называются статическими характеристиками. А раз оценка, значит приближение, которое характеризуется погрешностями, называемыми статистическими погрешностями.

**Измерение среднего значения средней мощности и дисперсии**

Согласно формуле (1) измерение mx сводится к интегрированию случайного сигнала за время Т. Интегрирование можно выполнить с помощью анало-

говых или цифровыхинтегрирующих устройств, применяемых в вольтметрах.

При практическом выборе времени интегрирования Т надо минимизировать статистические погрешности. Это условие соблюдается при Т(τм.к. – максимальный интервал корреляции, за пределами которого выборки сигнала можно считать практически некоррелированными).



Измерение Px характерно тем, что согласно формуле (2) усредняется квадрат сигнала, поэтому измеритель Px содержит в своем составе устройство с квадратичной характеристикой. Задача измерения Px решается с помощью вольтметра среднеквадратичного значения, имеющего открытый вход. Показания такого вольтметра равно . К вольтметрам, измеряющим Px, предъявляются повышенные требования в отношении широкополосности, протяженности квадратичного участка характеристики детектирования и времени усреднения Т.



Для измерения Dx тоже может быть использован вольтметр среднеквадратичного значения, только в соответствии с формулой (3) он должен иметь закрытый вход. Показания такого вольтметра согласно (4) будут соответствовать значениям σх.

**Анализ распределения вероятностей**

Метод измерения по относительному времени пребывания

При измерении этим методом удобнее измерять не значение τi, фигурирующее в формуле (7), а значение τi’, характеризующее время пребывания функции х(t) выше уровня х, поэтому при экспериментальном анализе определяется функция

, (9)



Для определения в соответствии с формулой (7) необходимо образовать дифференциальный коридор ∆х, как показано на рисунке 3, и измерить кроме значений τi’еще и τi’’, характеризующее время пребывания реализации х(t) выше уровня х+∆х, причем



∆t′i=∆t1i+∆t2i= τ′i– τ″i . (10)

Анализаторы, реализующие данный метод, могут быть как аналоговыми, так и цифровыми. Структурная схема аналогового анализатора предоставлена на рисунке 3.

С помощью ВУ обеспечивается уровень сигнала, необходимый для нормальной работы других функциональных узлов измерителя. Компараторы К1 и К2 выполняют функции амплитудных селекторов и имеют уровни срабатывания х и х+∆х соответственно. Эти уровни задаются регулятором уровня (РУ) и могут изменяться при одновременном обеспечении постоянства ширины дифференциального коридора ∆х. Таким образом сигналы на выходе К1 и К2 имеют вид импульсов U1 и U2 (рисунок 3), длительности которых соответственно равны τi’ и τi’’. Формирующие устройства ФУ1 и ФУ2 стандартизируют эти импульсы по форме и амплитуде. Напряжения U1 и U2 позволяют измерить и .



При измерении осуществляется усреднение или интегрирование напряжения U1 (переключатель П в положении «1»), а при измерении с помощью схемы вычитания образуется разностное напряжение U3, которое тоже усредняется. Вид индикаторного устройства (ИУ) определяется назначением анализатора. Например, в панорамных анализаторах управление уровнями срабатывания компараторов К1 и К2 осуществляется синхронно и автоматически с разверткой осциллографа, применяемого в качестве ИУ. Такое ИУ позволяет регистрировать графики функций и .



x

x

x+∆x

U1

U2

U3

t

t

t

t



∆t2i

∆t1i

Рисунок 3

ВУ

РУ

К1

К2

ФУ2

ФУ2

Схема вычитаия



ИУ

х

х+∆х

U2

U1

U3

1

П

2

Рисунок 4

**Измерение корреляционных функций**

**Метод дискретных выборок**

Для измерения корреляционных функций наиболее часто используется метод перемножения. Алгоритм работы аналогового коррелометра, реализующего метод дискретных выборок, вытекает из формул (8) и (9). Этот метод предусматривает выполнение следующих операций:

- задержку исследуемого сигнала или одного из сигналов на время τ;

- перемножение задержанного и незадержанного сигналов;

- усреднение результатов перемножения.

Если коррелометр цифровой, то перечисленным выше операциям должна предшествовать дискретизация по времени и квантование по уровню. Поэтому алгоритм работы цифрового коррелометра будет определяться следующим соотношениями

, (11)



, (12)



где и - квантованные по уровню значения центрированных реализаций X(t) и Y(t) в дискретные моменты времени ;



- интервал сдвига во времени, р = 0,1,2,…;



N – количество выборок.

Коррелометры бывают двух модификаций: последовательного и параллельного действия.

В цифровых коррелометрах последовательного действия сначала по формуле (1.16) вычисляется значение корреляционной функции при р=0, т.е. значение реализации умножается само на себя, затем вводится задержка τ0, (р=1) и определяется значение функции и далее проводятся вычисления при p=2,3,…, до =τм.к.. (τм.к – максимальный интервал корреляции, за пределами которого выборки сигнала можно считать практически некоррелированными).



Цифровой коррелометр параллельного действия позволяет одновременно вычислить все р- значений корреляционной функции, но становится при этом многоканальным прибором. Поэтому на практике чаще всего реализуются коррелометры последовательного действия (рисунок 5).

Работа всех узлов коррелометра синхронизируется устройством управления (УУ). Схема задержки состоит из р регистров сдвига, управляемых тактовыми импульсами УУ. Вместо перемножителя и усреднителя может быть использован микропроцессор. Накопление результатов перемножения производится в течение всего цикла измерения, и в конце цикла мы имеем полную информацию о корреляционной функции. Эта информация воспроизводится на ИУ в виде коррелограммы. Эта схема работает в диапазоне до сотен килогерц.

Рисунок 5

ВУ1

АЦП1

Перемножитель

ИУ

ВУ2

АЦП2

УУ

x(t)

x(t)

y(t)

Схема задержки

Усреднитель

**Анализ распределения вероятностей методом дискретных выборок**

Если с помощью уровней квантования сформировать дифференциальный коридор, а тактовые импульсы УУ использовать в качестве импульсов опроса, то прибор, структурная схема которого приведена на рисунке 5, будет работать как измеритель распределения вероятностей, реализующий метод дискретных выборок.

Суть этого метода та же, что и рассмотренного выше метода измерения по относительному времени пребывания. Однако теперь это сравнение происходит в дискретных точках, которые задаются стробирующими импульсами опроса с периодом следования Т0. Эти импульсы задаются УУ. Значение Т0 определяет шаг дискретизации при преобразовании аналоговой величины х(t) в дискретную.

Если сосчитать число выборок n за интервал пребывания реализации x(t) выше уровня х (при измерении ) или в пределах дифференциального коридора ∆х (при измерении ), то мы получим:



, .



Количество импульсов, соответствующее числу выборок n, накапливается в усреднителе за время Т. Обозначив , получим после подстановки в формулы (1.14) и (1.11) следующие выражения:



. (13)



После обработки значения и воспроизводится на индикаторном устройстве.



Основная погрешность работы прибора во всех режимах не превышает значения ±5 %.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Метрология и электроизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов /А.С. Сигов, Ю.Д. Белик. и др./ Под ред. В.И. Нефедова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005.
2. Бакланов И.Г. Технологии измерений в современных телекоммуникациях. – М.: ЭКО-ТРЕНДЗ, 2007.
3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учеб. пособие для вузов /Под ред. Б.П. Хромого. – М.: Радио и связь, 2006.