

**СБОРНИК  
МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО  
ПРАКТИКУМА ПО МЕТРОЛОГИИ  
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ  
ИЗМЕРЕНИЯМ**

**2007**



**САМАРА**

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

**СБОРНИК  
МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО  
ПРАКТИКУМА ПО МЕТРОЛОГИИ  
И РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ  
ИЗМЕРЕНИЯМ**

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета  
в качестве методических указаний*

САМАРА  
Издательство СГАУ  
2007

УДК 621.317  
ББК 32.842



**Инновационная образовательная программа  
"Развитие центра компетенции и подготовка  
специалистов мирового уровня в области аэро-  
космических и геоинформационных технологий"**

Составители: *В.М. Гречишников, А.А. Плот*

Рецензент д-р техн. наук, проф. Н. Д. Семкин

**Сборник методических указаний по выполнению лабораторного практикума по метрологии и радиотехническим измерениям: метод. указания / сост. В.М. Гречишников, А.А. Плот. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. - 56 с. : ил.**

Рассмотрены методы и средства измерения основных электро- и радиотехнических параметров электронных схем, способы оценки получаемой точности при выполнении прямых и косвенных измерений, особенности динамических измерений, приведена методика их измерения.

Методические указания подготовлены кафедрой электротехники и предназначены для студентов радиотехнических специальностей 210302, 210201 по курсам «Метрология и радиоизмерения», «Метрология, технические средства измерения и стандартизация».

УДК 621.317  
ББК 32.842

© Самарский государственный  
аэрокосмический университет, 2007

## Содержание

Введение.....	4
Описание типового комплекта лабораторного оборудования по информационно-измерительной технике.....	5
Лабораторная работа №1. Измерение параметров сигналов в электронных схемах .....	12
Лабораторная работа №2. Измерение переменных напряжений.....	23
Лабораторная работа №3. Измерение сосредоточенных параметров R,L,C электрических цепей.....	31
Лабораторная работа №4. Измерение частоты, фазового сдвига и временных интервалов.....	45

## Введение

Данное пособие представляет собой сборник методических указаний и состоит из технического описания нового лабораторного стенда по информационно-измерительной технике, методических указаний к четырем лабораторным работам, выполненным с помощью этого стенда.

Все работы снабжены подробным описанием и практическими рекомендациями по их выполнению. В приложении даны краткие сведения по расчету погрешностей и необходимый для выполнения работ справочно-информационный материал.

Авторы надеются, что методические материалы окажут реальную помощь студентам при освоении лекционного курса по основам метрологии и радиоизмерений.

# Описание типового комплекта лабораторного оборудования по информационно-измерительной технике

## 1 Назначение

**1.1** Типовой комплект лабораторного оборудования по информационно-измерительной технике (ИИТ) предназначен для проведения лабораторного практикума по дисциплинам «Метрология и измерительная техника», «Электрические измерения». Комплект оборудования ИИТ может использоваться как для иллюстрации основных теоретических положений изучаемого курса, так и для проведения учебно-исследовательской работы студентов.

**1.2** Комплект оборудования ИИТ обеспечивает проведение следующих работ:

- Исследование основных метрологических характеристик электромеханических измерительных приборов.
- Измерение параметров сигналов в электронных схемах.
- Измерение параметров электрических цепей.
- Измерение частоты, периода и фазы электрических сигналов.
- Прямые, косвенные и совместные измерения.
- Динамический режим средств измерений.

**1.3** Комплект оборудования ИИТ предназначен для работы при температуре окружающей среды от +10 до +35°C, относительной влажности воздуха до 80% при 25°C.

## 2 Технические характеристики

### 2.1 Состав оборудования ИИТ:

- измерительный стенд ИИТ, содержащий измерительные приборы, генератор сигналов, измерительные преобразователи и источники электропитания;
- сменные пульты по числу лабораторных работ.

### 2.2 Габаритные размеры, мм, не более:

- измерительный стенд ИИТ 480x320x110
- лабораторный пульт ИИТ 400x300x90

### 2.3 Масса, кг, не более:

5

- измерительный стенд ИИТ 8
- лабораторный пульт ИИТ 1,5

### 2.4 Электрические характеристики:

#### 2.4.1 Вольтметр постоянного тока:

- пределы измерения напряжения, В 0.2-2-20-200
- пределы измерения тока, А 0-2
- входное сопротивление, МОм 1,0
- основная погрешность прибора, не более % 1,0

**Таблица 1. Входное сопротивление амперметра**

Предел измерения	Входное сопротивление, Ом
2 А	0,2
0.2 А	1
20 мА	10
2 мА	100
0.2 мА	1000

#### 2.4.2 Источник питания:

- диапазон регулировки выходного напряжения:
  - грубо, В 0-10
  - точно, В 0-1
- максимальный выходной ток, А, не более 1
- выходное напряжение адаптера, В  $2 \times 15 \pm 10\%$
- выходной ток адаптера, А, не более 1

#### 2.4.3 Генератор сигналов:

- форма сигналов - прямоугольная, треугольная, синусоидальная;
- диапазон частот, кГц 0,01-100
- выходное напряжение, В 0-10
- скважность (для прямоугольных импульсов) 0,1-10

#### 2.4.4 Частотомер:

- пределы измерения частоты, кГц 0,001-1000
- пределы измерения длительности, с 0,1-1
- основная погрешность при измерении частоты, % 0,1
- основная погрешность при измерении длительности, % 0,1
- входное напряжение, В, не менее 2,4

6

### 2.4.5 Измерительные преобразователи:

- основная погрешность измерения, %, не более 2,5

### 2.4.6 Потребляемая мощность, ВА, не более

50

### 2.4.7 Электропитание от сети переменного тока

- напряжение, В  $220 \pm 10\%$
- частота, Гц  $50 \pm 10\%$

## 3 Устройство и принцип работы



Рис.1. Внешний вид универсального лабораторного стенда

**3.1 Стенд** представляет собой набор измерительных приборов и устройств формирования сигналов, необходимых для выполнения лабораторных работ. В состав стенда входят:

- вольтамперметр цифровой (2шт.);
- генератор сигналов;
- частотомер;
- блок питания;
- усилитель;
- измерительные преобразователи.

**3.1.1** Вольтамперметр цифровой выполнен на микросхеме АЦП КР572ПВ2 в типовом включении. Для индикации используются два сдво-

енных светодиодных индикатора. Переключение режимов и пределов измерения осуществляется коммутацией резисторного делителя.

**3.1.2** Генератор построен по аналоговой схеме с использованием интеграторов на ОУ. Прямоугольные импульсы формируются компаратором из сигнала треугольной формы. Изменением порога срабатывания компаратора достигается регулировка скважности прямоугольных импульсов. Переключение диапазонов частот сигналов осуществляется коммутацией времязадающих RC-цепей.

**3.1.3** Частотомер выполнен с использованием микроконтроллера AT89C51FX, осуществляющего индикацию и измерения на всех пределах. Для индикации используются 2 сдвоенных светодиодных семисегментных индикатора. Частота стабилизирована кварцевым резонатором. Измерение частоты сигналов генератора, входящего в стенд, осуществляется через устройство гальванической развязки.

**3.1.4** Блок питания построен с использованием интегральных стабилизаторов напряжения.

**3.1.5** Усилитель и измерительные преобразователи выполнены на ОУ по типовым схемам.

### 3.2 Конструкция стенда

Стенд выполнен в виде настольного блока вертикального типа, обеспечивающего быструю и надёжную установку его на рабочем месте и имеющего достаточную площадь рабочей панели для установки органов управления и индикации. Корпус блока выполнен из металла.

Электроэлементы смонтированы на печатных платах, органы управления и индикации - на лицевой панели.

### 3.3 Конструкция пульта

Пульт выполнен из металла в виде горизонтального блока, располагающегося на столе непосредственно перед измерительным стендом. На лицевой панели пульта расположена мнемосхема лабораторной работы и органы управления, необходимые для её выполнения. Питание пульта осуществляется от блока питания измерительного стенда через адаптерные шнуры.

## 4 Указания мер безопасности

4.1 К работе на оборудовании ИИТ допускаются лица, ознакомленные с его устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведёнными в настоящем разделе.

4.2 Меры безопасности при проведении лабораторных работ соответствуют мерам, которые приняты в документах для средних и высших технических учебных заведений.

4.3 Перед эксплуатацией стенда ИИТ подключите клемму заземления на корпусе стенда, обозначенную знаком «-», к шине заземления лаборатории.

4.4 Запрещается во время работы отключать кабели питания стенда и лабораторных пультов.

4.5 Запрещается работа на оборудовании ИИТ со снятыми крышками.

4.6 Во избежание поломки контактных гнезд и клемм пользуйтесь кабелями, входящими в комплект поставки, или аналогичными.

## 5 Подготовка к работе

5.1 Перед началом работы ознакомьтесь с разделом «Указания мер безопасности» настоящего паспорта.

5.2 Подготовка оборудования к работе заключается в его размещении и установке на рабочем месте.

5.3 Произведите внешний осмотр оборудования и убедитесь в отсутствии внешних повреждений.

5.4 Подключите заземляющий болт на корпусе стенда к контуру заземления лаборатории.

5.5 Подключите стенд к сети 220 В / 50 Гц.

## 6 Порядок работы

6.1 Расставьте всю необходимую аппаратуру для проведения лабораторной работы так, чтобы было удобно собирать схему, снимать показания приборов и пользоваться органами управления.

6.2 При сборке устройства, предусмотренного учебной программой, воспользуйтесь руководством по проведению лабораторных работ.

6.3 Подключите провода, соединяющие лабораторный пульт с блоком питания измерительного стенда, в последнюю очередь.

6.4 Установите органы управления схем в положения, при которых на элементах схемы выделялась бы минимальная мощность (напряжение или ток).

6.5 Установите пределы измерений используемых измерительных приборов стенда в максимальное положение, кроме особо оговоренных случаев.

6.6 Включите переключатель «Сеть» и проведите лабораторную работу.

6.7 При работе с измерительными приборами необходимо обращать внимание на их пределы измерения, выбирая пределы так, чтобы отсчёт производился по возможности ближе к конечному значению шкалы.

6.8 Инструментальная составляющая погрешности измерений определяется классом точности средств измерения (СИ) [1]. *Класс точности* - это обобщённая характеристика средства измерений, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность результатов измерений. Для оценки классов точности наиболее часто используют приведённые и относительные погрешности.

6.9 Для средств измерения, для которых нормируются пределы допускаемых приведённых погрешностей, максимальная абсолютная погрешность оценивается по формуле:

$$\Delta x = K x_N / 100$$
, где  $K$  - показатель класса точности прибора;  $x_N$  - нормирующее значение, которое принимается равным верхнему пределу измерений, если нижний предел равен 0.

## Лабораторная работа № 1

**6.10** Для ряда СИ класс точности записывается в виде двух чисел через косую черту -  $c/d$ , например 0,05/0,02. В этом случае предельная погрешность в процентах оценивается по формуле:

$\delta = [c + d(x_k/x - 1)]$ , где  $x_k$  - верхний предел измерений;  $x$  - показание прибора. Отсюда предельная абсолютная погрешность:

$$\Delta x = \delta x / 100.$$

**6.11** Число значащих цифр численных показателей точности (абсолютных, относительных и приведённых погрешностей) должно быть не более двух. При этом полученные значения показателей точности округляются так, чтобы погрешность округления не превышала 10%. Например, при  $\Delta = 0,823$  В следует при записи результата оставить  $\Delta = 0,8$  В (погрешность округления 2,5%), а при  $\delta = 0,12\%$  округление до  $\delta = 0,1\%$  производить не следует, так как погрешность округления в этом случае будет 20%. При окончательной записи результата измерения необходимо иметь в виду, что числовое значение результата измерений должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности.

В то же время промежуточные результаты вычислений округлять не следует, так как это может привести к накоплению погрешностей.

### 6.12 Требования к отчёту.

Отчёт по лабораторной работе должен выполняться в соответствии с требованием ЕСКД на листах бумаги формата А4 чернилами (пастой) чёрного или синего цвета. Отчёт должен иметь титульный лист и включать следующие разделы:

1. Цель работы и краткое задание.
2. Схемы экспериментов.
3. Таблицы результатов измерений и расчётов.
4. Расчётные формулы и примеры расчётов.
5. Графики зависимости в соответствии с заданием к работе.
6. Выводы по работе.

**6.13** По окончании работы схемы должны быть разобраны, провода собраны в специальные папки, а используемые средства должны быть аккуратно расставлены на столе.

## Измерение параметров сигналов в электронных схемах

**Цель работы:** изучение методов и средств измерения амплитудных и временных параметров сигналов в электронных цепях и ознакомление с устройством, принципом действия и техническими характеристиками электронных осциллографов.

### Используемое оборудование:

- универсальный лабораторный стенд по информационно-измерительной технике;
- лабораторный модуль №3, содержащий усилитель с RC-связью;
- универсальный электронный осциллограф;
- электронный милливольтметр.

При выполнении работы электронные приборы соединяются между собой при помощи коаксиальных кабелей с разъёмами и соединительных проводов.

## 1 Краткие теоретические сведения

Универсальные электронные осциллографы (ЭО) позволяют наблюдать форму и измерять амплитудные и временные параметры электрических сигналов в диапазоне частот от постоянного тока до десятков гигагерц.

Все осциллографы, независимо от назначения и устройства, имеют общие узлы (рис. 1.1): электронно-лучевую трубку (ЭЛТ) с электростатическим управлением луча и люминесцирующим экраном, канал вертикального отклонения луча (КВО), канал горизонтального отклонения луча (КГО), канал яркости  $Z$  (КЗ), блок питания (БТТ) и блок калибраторов напряжения и времени (БК).

Для преобразования исследуемого сигнала в видимое изображение на экране исследуемый сигнал подаётся на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ. Одновременно на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ подаётся линейно изменяющееся (пилообразное) напряжение  $U_p$ , называемое развёртывающим.

Напряжение  $U_p$  развёртки отклоняет электронный луч на экране ЭЛТ по горизонтали с постоянной скоростью, что позволяет создать масштаб времени по оси  $X$ . По окончании цикла развёртки развёртывающее напряжение принимает первоначальное значение, луч возвращается в исходное состояние и цикл повторяется.

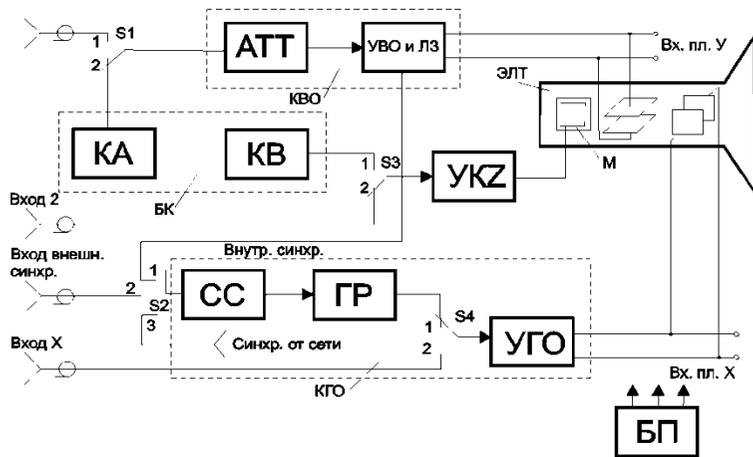


Рис. 1.1. Структурная схема электронного осциллографа

На экране ЭЛТ возникает изображение мгновенных значений сигнала, т.е. его осциллограмма. Так как напряжение исследуемого сигнала и развёртки могут быть малыми, то в ЭО в каждом канале предусмотрены усилители, коэффициент усиления которых можно плавно изменять.

### Канал вертикального отклонения

От входа У (положение «1» переключателя S1) исследуемый сигнал подаётся через аттенюатор (АТТ), усилитель вертикального отклонения (УВО) и линию задержки (ЛЗ) на вертикально отклоняющую систему ЭЛТ. При помощи АТТ дискретно устанавливается необходимое ослабление сигнала, что обеспечивает работу УВО с минимальными нелинейными отклонениями (в линейной области амплитудной характеристики УВО). Усиленный УВО сигнал задерживается ЛЗ на время, необходимое для срабатывания КГО. Это необходимо для того, чтобы движение луча по горизонтали началось раньше, чем сигнал с выхода УВО поступит на пластины У ЭЛТ, что улучшает условия масштабирования и наблюдения одиночных импульсов.

### Канал горизонтального отклонения

Линейно изменяющееся напряжение развёртки  $U_p$ , амплитуда которого достаточна для отклонения луча ЭЛТ на весь экран, формиру-

ется каналом горизонтального отклонения (КГО). Он состоит из схемы синхронизации и запуска (СС), генератора развёртки (ГР), усилителя горизонтального отклонения (УГО).

Устойчивость (неподвижность) изображения на экране достигается синхронизацией частоты сигнала  $f_b$  развёртки с частотой  $f$ , кГц исследуемого сигнала.

При этом должно соблюдаться соотношение:

$$f = f_p \cdot n \quad (1)$$

или

$$T_p = T \cdot n, \quad (2)$$

где  $T_p$  и  $T$  - периоды сигнала развёртки и исследуемого сигнала, мс;  
 $n = 1, 2, 3, \dots$  - целое число,

Запуск схемы синхронизации и ГР может быть осуществлён внешним сигналом «ВХОД ВНЕШ. СИНХР.», исследуемым сигналом «ВНУТР. СИНХР.» и напряжением сети «СИНХР. ОТ СЕТИ» (положения 2, 1 и 3 соответственно).

Для исследования непрерывных периодических сигналов и последовательностей импульсов с малой скважностью используется непрерывный режим работы ГР. При этом поддерживается соотношение:

$$f_p = f / n. \quad (3)$$

При осциллографировании импульсов большой скважности, а также случайных непериодических и однократных сигналов используют «ждущую развёртку». Сущность её заключается в том, что в отсутствие сигнала на входе У напряжение развёртки не вырабатывается: ГР «ждёт» синхронизирующего сигнала и генерирует только один период развёртки при его приходе. Развёртывающий луч на экране ЭЛТ за время  $t_{np}$  отклоняется по горизонтали на всю шкалу. Запускающий ГР импульс опережает исследуемый сигнал. Это достигается задержкой последнего с помощью линии задержки ЛЗ в схеме КВО. Для получения яркостных меток времени в некоторых ЭО имеется канал Z. Внешний модулирующий сигнал подаётся на модулятор (М) ЭЛТ через усилитель канала Z (KZ). Для точного измерения амплитудных и временных параметров исследуемых сигналов в состав ЭО входят калибратор амплитуды (КА) и калибратор времени (КВ), предназначенные для калибровки коэффициентов отклонения КВО и коэффициентов развёртки (длительности) КГО.

## Измерение временных интервалов с помощью калибровочных меток

В этом случае от калибратора времени КВ или от внешнего генератора известной частоты через переключатель S3 калибровочные метки, синхронные с периодом повторения исследуемого сигнала, подаются на вход Z или непосредственно на модулятор ЭЛТ. На осциллограмме появляются яркостные метки (рис.1.2, б). Подсчёт числа их на измеряемом интервале и позволит определить длительность последнего в мс:

$$T = T_0 \cdot n \quad (4)$$

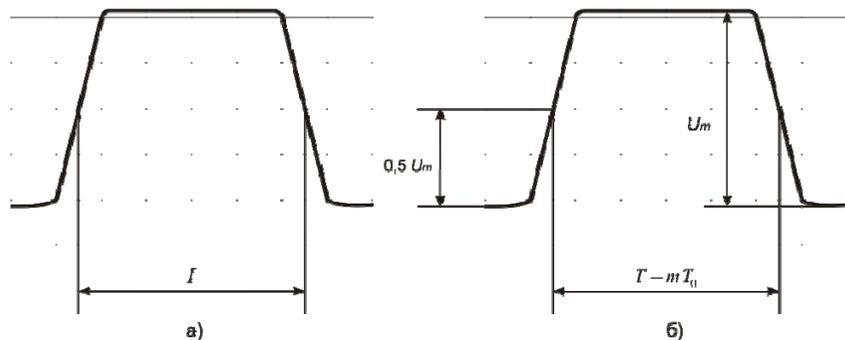


Рис. 1.2. Измерение длительности импульса: а - с помощью калиброванного сигнала типа «Меандр»; б - с помощью калиброванных меток времени

### ЭО характеризуется:

- полосой пропускания каналов вертикального и горизонтального отклонения;
- чувствительностью КГО и КВО;
- амплитудно-частотной характеристикой (АЧХ) обоих каналов;
- диапазоном изменения частоты развёртки;
- входным сопротивлением КВО;
- диапазоном изменения амплитуды входных сигналов;
- основными и дополнительными погрешностями измерения амплитуды и временных параметров исследуемого сигнала.

АЧХ - зависимость коэффициента передачи канала  $U_{вых}/U_{вх}$  от частоты входного синусоидального сигнала:

$$k = U_{вых} / U_{вх} = F(f).$$

Полоса пропускания КВО - диапазон частот, в пределах которого значение АЧХ отличается не более чем на 3 дБ от значения на опорной частоте.

## Основные правила выбора электронно-лучевого осциллографа (ЭЛО)

Выбор типа ЭЛО производится в зависимости от его назначения и измерительных возможностей (предел измерений, частота, амплитуда и длительность входного сигнала, степень точности воспроизведения и погрешности измерения амплитудных и временных параметров сигнала, число одновременно регистрируемых сигналов). Наличие в ЭЛО АЦП позволяет осуществить выдачу результатов в цифровой форме, что упрощает работу с ЭЛО.

Современные ЭЛТ могут воспроизводить сигналы без искажений с частотой до сотен и тысяч МГц, поэтому частота пропускания определяется в основном частотной характеристикой усилителя ВО. Неправильный выбор АЧХ усилителя ВО, а следовательно и ЭЛО в целом, приводит к искажениям при исследовании импульсных и несинусоидальных сигналов. Прямоугольный импульс содержит бесконечно много гармонических составляющих (теоретически), поэтому, чем больше полоса пропускания, тем меньше искажения. Полоса пропускания электронного осциллографа связана с временем нарастания переходной характеристики канала вертикального отклонения  $t_H$  (нс) следующим соотношением:

$f_B = 350 / t_H$ , где  $f_B$  - верхняя граничная частота (МГц) полосы пропускания.

Например: при  $t_H = 50$  нс  $f_B = 350 / 50 = 7$  МГц.

Если необходимо воспроизвести без искажений фронт  $t_\phi$  (нс) прямоугольного импульса длительностью  $t_H$ , то нужно чтобы

$$f_B \geq 350 / t_\phi, t_\phi \approx 0,1 t_H.$$

Например: при  $t_\phi = 10$  нс  $f_B \geq 350 / 10 \geq 35$  МГц.

Если необходимо воспроизвести без искажений амплитуду прямоугольного импульса длительностью  $t_H$  (нс), а неискаженное восприятие фронтов не требуется, то достаточно, чтобы

$$f_B = 700 / t_H.$$

Например: при  $t_H = 50$  нс  $f_B = 700 / 50 = 14$  МГц.

Нижняя граничная частота  $t_H$  (Гц) полосы пропускания, определяющая неравномерность спада плоской вершины импульса  $\Delta U_m$  (В) относительно амплитуды  $U_m$  (В), равна:

$$t_H = \Delta U_m / U_m \cdot 2\pi t_H.$$

При  $t_H = 0,1c$ ,  $\Delta U_m = 0,1U_m \cdot f_H \leq 0,1 \cdot 2\pi \cdot 0,1c = 0,16Гц$ .

При любых измерениях необходимо учитывать влияние ёмкости входной цепи (входное сопротивление  $\approx 1$  МОм зашунтировано ёмкостью 40-50 пФ, а с учётом соединительного кабеля - порядка 100 пФ) на источник исследуемого сигнала. Поэтому при исследовании прямоугольных импульсов с крутыми фронтами выбирают осциллограф с малой входной ёмкостью, т.е. с большой полосой пропускания. Большая ёмкость увеличивает длительность фронта из-за длительного времени заряда конденсатора.

При исследовании одиночных и импульсных сигналов большой скважности, а также при тщательном исследовании отдельных участков несинусоидальных сигналов применяют ждущую развёртку с внутренней и внешней синхронизацией. При работе в ждущем режиме длительность развёртки должна быть согласована с частотой повторения исследуемых сигналов. В остальных случаях используют автоколебательную развёртку.

## 2 Экспериментальная часть

### 2.1 Основные требования к объёму лабораторной работы

**2.1.1** Ознакомиться с составом универсального лабораторного стенда по информационно-измерительной технике и лабораторным модулем №3 (рис.1.3).

**2.1.2** Изучить устройство, принцип работы и ознакомиться с техническими характеристиками электронного осциллографа (ЭО).

**2.1.3** Получить практические навыки при работе с осциллографом.

**2.1.4** Научиться с помощью ЭО измерять параметры электрического сигнала и оценивать погрешности их измерения.

**2.1.5** Для выполнения лабораторной работы студентам кроме настоящего описания выдаются технические описания и инструкции по эксплуатации (ТО) приборов, используемых в лабораторной работе.

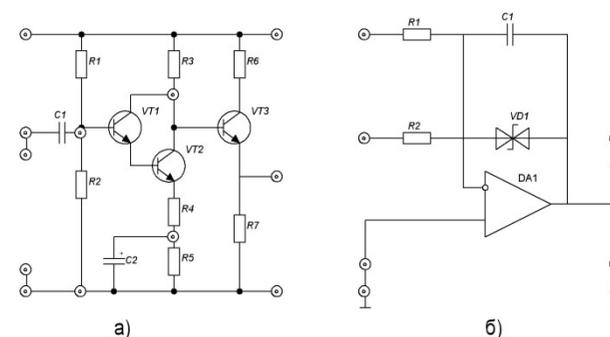


Рис. 1.3. Схема электрическая принципиальная модуля №3

### 2.2 Рабочее задание и методические указания по проведению эксперимента

#### 2.2.1 Лабораторное задание.

**2.2.1.1** Подключить лабораторный модуль №3 к универсальному лабораторному стенду с помощью проводов, соблюдая полярность питающего напряжения.

**2.2.1.2** Ознакомиться с назначением органов управления ЭО и получить практические навыки в работе с ним.

**2.2.1.3** Измерить частоту и амплитуду синусоидального сигнала и определить погрешности измерения этих параметров с помощью ЭО.

**2.2.1.4** Измерить параметры импульсного сигнала.

#### 2.2.2 Методические указания к работе

**2.2.2.1** В соответствии с техническим описанием необходимо изучить назначение органов управления ЭО и подготовить его к работе.

**2.2.2.2** Включите ЭО и лабораторный стенд. Подайте на вход У ЭО от низкочастотного генератора лабораторного стенда синусоидальное напряжение частотой порядка 1 кГц. Изучите работу генератора развёртки осциллографа и схемы его запуска. При этом входной сигнал должен быть без

видимых искажений. «Поиграйте» с основными органами управления, относящимися к группам «усилитель», «синхронизация», «развёртка», чтобы знать, как выглядит изображение на экране ненастроенного осциллографа.

**2.2.2.3** Определение погрешности измерения частоты синусоидального сигнала с помощью ЭО проводится по схеме рис. 1.4 в соответствии с указаниями ТО. Относительные погрешности  $\delta_f$  измерения ЭО частоты  $f$  исследуемого сигнала определяются по формуле:

$$\delta_f = (f - f_0) / f_0 \cdot 100\% , \quad (5)$$

где  $f$  — значение частоты сигнала, измеренное ЭО;  $f_0$  — значение частоты сигнала, установленное на лимбе генератора либо измеряемое ЭСЧ и принимаемое за образцовое. Оценку погрешностей измерения частоты провести в нескольких (3-4 значения) точках частотного диапазона. Сравнить значения погрешностей измерения частоты с паспортными данными ЭО.

**2.2.2.4** Определение погрешности ЭО при измерении амплитуды (рис.1.4) проводится по следующей методике. В этом опыте образцовым прибором является электронный вольтметр (ЭВ). При измерениях размер изображения должен составлять не менее 3-6 делений по шкале ЭО. Относительная погрешность измерения ЭО амплитуды синусоидального напряжения выражается формулой:

$$\delta_u = (U_{m1} - U_{0m}) / U_{0m} \cdot 100\% , \quad (6)$$

где  $U_{m1}$  и  $U_{0m}$  - напряжения, измеренные ЭО и ЭВ соответственно.

Следует иметь в виду, что показания ЭВ  $U_0$  соответствуют среднеквадратическому значению измеряемого напряжения, которое связано с его амплитудой  $U_{0m}$  следующим выражением:

$$U_0 = U_{0m} / \sqrt{2} . \quad (7)$$

Эксперимент провести для нескольких значений амплитуды измеряемого сигнала, в том числе при наличии искажений, которые возникают при снижении питающего напряжения (при разных положениях аттенюатора). Сравнить значения погрешностей измерения напряжения с паспортными данными ЭО.

**2.2.2.5** Измерение параметров импульсного сигнала (рис.1.5) проводится при подаче на вход ЭО сигнала с выхода импульсного генератора лабораторного стенда.

При измерении амплитуды  $U_m$  и длительности  $t$  импульс должен занимать не менее половины экрана.

Определите погрешность измерения  $\delta_u$  амплитуды  $U_m$  импульса по формуле (6) и длительности импульса по формуле:

$$\delta_H = (t - t_0) / t_0 \cdot 100\% . \quad (8)$$

При вычислении  $\delta_u$  импульсного сигнала  $U_{m1}$  - напряжение, измеренное осциллографом;  $U_0$  - амплитуда, отсчитанная по шкале ГИ.

При вычислении  $\delta_H$   $t_0$  - длительность импульса, отсчитанная по шкале ГИ либо частотомера.

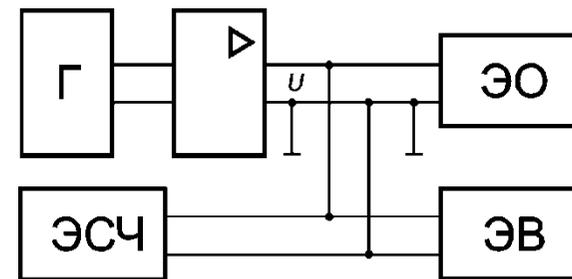


Рис. 1.4. Определение погрешности измерения амплитудных и временных параметров синусоидальных сигналов

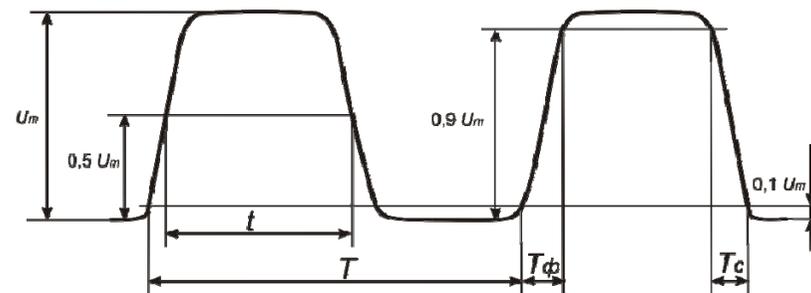


Рис. 1.5. Определение параметров импульсного сигнала



Рис. 1.6. Определение постоянной составляющей импульсного сигнала

При измерении фронта  $T_\phi$  и среза  $T_c$  нужно их «растянуть» на весь экран, для чего используется режим ждущей развертки (см. ТО).

При наблюдении и измерении фронта  $T_\phi$  импульса переключатель «синхронизация» должен быть поставлен в положение «+», а при наблюдении среза и измерения среза  $T_c$  - в положение «-».

Для растяжки фронтов удобно также пользоваться переключателем в блоке развертки, установив его в положение «0,2».

**2.2.2.6** Определение постоянной составляющей импульсного сигнала проводят следующим образом.

На вход ЭО подаётся импульсный сигнал с выхода усилителя. Сначала переключатель на входе ЭО ставят в положение « $\cong$ » (открытый вход), а затем переводят в положение « $\sim$ » (закрытый вход) и наблюдают, есть ли смещение сигнала (рис.1.6).

Если изображение импульсного сигнала сместится по вертикали, то наряду с импульсной имеется постоянная составляющая этого сигнала -  $U_ =$ .

Оценить величину постоянной составляющей сигнала  $U_ =$ , используя калибровку канала КВО по методике, изложенной в ТО.

### 2.3 Содержание отчёта. Отчёт должен содержать:

- структурную схему ЭО;
- основные технические характеристики используемых приборов;
- схемы включения средств измерения и объекта измерения;
- результаты измерений  $f$ ,  $U_m$ ,  $U_ =$ ,  $T_\phi$ ,  $T_c$  и заключение о величинах погрешностей  $\delta_{и}$ ,  $\delta_U$ ,  $\delta_f$  по сравнению с паспортными данными.
- выводы о соответствии изучаемого ЭО техническим характеристикам в ТО.

## 3 Контрольные вопросы

1. Объясните работу ЭЛТ, принцип действия и характеристики.
2. Какие блоки входят в состав канала усилителя вертикального отклонения и каково назначение схемы задержки?
3. Зачем нужна «ждущая» развертка у ЭО?
4. Зачем нужна синхронизация изображения в ЭО? Какие схемы синхронизации используются в изучаемом ЭО? Расскажите об их работе по структурной схеме.
5. Как определяются погрешности  $\delta_f$  и  $\delta_u$  измерения параметров синусоидального сигнала ЭО?
6. Назовите параметры импульсного сигнала. Как они измеряются с помощью ЭО?
7. Почему ЭО имеет невысокую точность измерения?
8. Какую форму имеет напряжение развертки?
9. Как осуществить синхронизацию изображения на экране ЭО внешним сигналом?
10. Как осуществить балансировку УВО и для чего она производится?

## Список литературы

1. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. - 526с.
2. Осциллограф двулучевой С1-96. Краткое техническое описание и инструкция по эксплуатации.
3. Осциллограф сервисный универсальный ОСУ-20. Руководство по эксплуатации.

## Лабораторная работа № 2

### Измерение переменных напряжений

**Цель работы** - ознакомление с методами и средствами измерения переменных напряжений, изучение принципов действия и метрологических характеристик измерителей переменных напряжений, приобретение практических навыков в работе с ними.

**Аппаратура:** вольтметры ВЗ-38 и В7-16, генератор ГЗ-112/1, осциллограф С1-96 (С 1-98), универсальный лабораторный стенд по информационно - измерительной технике, два коаксиальных разветвителя.

#### 1 Предварительная подготовка к работе

Изучить материал по литературе и техническим описаниям применяемых приборов и ответить на контрольные вопросы.

[1] - с. 63-6, 123-138; [2] - с. 199, 207-210; [3] - с. 25-30, 75-86; [4] - с. 39-40, 107-108, [5] - с. 176-212.

#### 2 Содержание лабораторной работы

**2.1** Определить входное сопротивление  $R_{вх}$  вольтметра ВЗ-38 и его зависимость от частоты.

**2.2** Произвести измерение напряжения синусоидальной и несинусоидальной форм и определить коэффициенты формы и амплитуды.

#### 3 Методические указания к работе

**3.1** Измерение  $R_{вх}$  вольтметра ВЗ-38 осуществляется по схеме, изображенной на рис.2.1 в следующей последовательности.

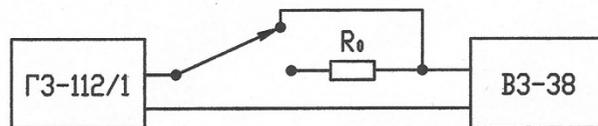


Рис. 2.1. Схема для измерения входного сопротивления вольтметра

Установить на генераторе частоту 15кГц и выходное напряжение  $U_{вых}$  таким, чтобы вольтметр указывал напряжение  $U_1 = 0,1В$  (на пределе 0,1В).

Не изменяя  $U_{вых}$  генератора, подключить внешнее сопротивление  $R_0 = 1МОм$  и снять показания вольтметра  $U_2$ .

Входное сопротивление  $R_{вх}$  определяется по формуле:

$$R_{вх} = U_2 R_0 / (U_1 - U_2), \text{ МОм.}$$

Так как измерение  $R_{вх}$  вольтметра проводится косвенным методом, то возникает погрешность измерения, относительное значение которой может быть найдено по формуле:

$$\delta_{R_{вх}} = \frac{1}{R_{вх}} \sqrt{\left(\frac{\partial R_{вх}}{\partial U_1} \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{вх}}{\partial U_2} \Delta U_2\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{вх}}{\partial R_0} \Delta R_0\right)^2} \cdot 100\%,$$

где  $\Delta U_1, \Delta U_2$  - абсолютные погрешности вольтметра ВЗ-38, определяемые по значению его приведенной погрешности  $\gamma_U$  на данном поддиапазоне измерения  $U_{max i}$  как  $\Delta U = \gamma_U U_{max i} / 100$ ; а  $\Delta R = \gamma_{R_0} R_0 / 100$ ,

где  $\gamma_{R_0}$  - относительная погрешность изготовления резистора  $R_0$  ( $\gamma_{R_0} = 1\%, R_0 = 1МОм$ ).

**3.2** Для измерения коэффициентов формы и амплитуды можно воспользоваться встроенными в установку преобразователями переменного напряжения в постоянное и вольтметрами постоянного тока. Чтобы собрать вольтметр действующего значения (или среднего выпрямленного, или амплитудного значений) сигнала следует выход соответствующего преобразователя соединить с входом вольтметра постоянного тока; вход преобразователя при этом становится входом вольтметра действующего значения (или иного). Составленный таким образом вольтметр обладает следующими характеристиками: пределы допускаемой приведенной (к пределу измерения 20 В) основной погрешности измерения  $\gamma = \pm 1\%$ , в диапазоне входных напряжений  $\pm 7 В$ , в диапазоне частот от 20 Гц до 50 кГц.

Для измерения коэффициента формы (или амплитуды) собрать схему, изображенную на рис.2.2, используя универсальный лабораторный стенд.

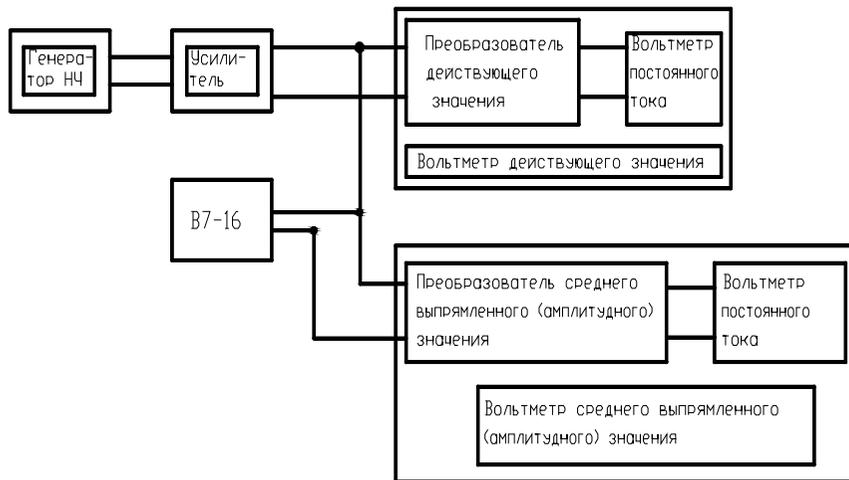


Рис. 2.2. Схема структурная для измерения коэффициентов амплитуды

Коэффициенты формы  $\kappa_\phi$  и амплитуды  $\kappa_a$  определяются отношениями:

$$\kappa_\phi = \frac{U_{\text{д.з.}}}{U_{\text{с.в.з.}}}, \kappa_a = \frac{U_{\text{А.з.}}}{U_{\text{д.з.}}}, \text{ где } U_{\text{д.з.}}, U_{\text{с.в.з.}}, U_{\text{А.з.}} - \text{показания (соответственно) вольтметров действующего значения, среднего выпрямленного и амплитудного значений. Для идеальной синусоиды значения коэффициентов равны } \kappa_a = 1.41; \kappa_\phi = 1.11.$$

## 4 Экспериментальная часть

**4.1** Определить зависимость входного сопротивления вольтметра ВЗ-38 от частоты, для чего собрать схему согласно рис.2.1.

**4.1.1** Измерить вольтметром ВЗ-38 напряжение генератора ГЗ-109 на частотах  $10^2, 10^3, 10^5, 10^6, 10^7$  Гц без сопротивления  $R_0$  и с последовательно включенным сопротивлением  $R_0$ , значение которого будет указано преподавателем. Данные измерений и вычислений занести в табл. 2.1 и отобразить графически.

Таблица 2.1. Результаты измерения входного сопротивления

$f, \text{Гц}$	$10^2$	$10^3$	$10^5$	$10^6$	$10^7$
$U_1, \text{В}$					
$U_2, \text{В}$					
$R_{\text{вх}} = \frac{U_2 R_0}{U_1 - U_2}$					

**4.1.2** Для каждого значения частоты рассчитать относительную погрешность измерения входного сопротивления вольтметра ВЗ-38  $\gamma_{R_{\text{вх}}}$  по формуле вычисления погрешностей косвенных измерений:

$$\gamma_{R_{\text{вх}}} = \pm \frac{1}{R_{\text{вх}}} \sqrt{\left(\frac{\partial R_{\text{вх}}}{\partial U_1} \Delta U_1\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{вх}}}{\partial R_0} \Delta R_0\right)^2 + \left(\frac{\partial R_{\text{вх}}}{\partial U_2} \Delta U_2\right)^2},$$

где  $\Delta U_1, \Delta U_2$  абсолютные погрешности вольтметра ВЗ-38, определяемые по значению его приведенной погрешности  $\gamma_U$  на данном поддиапазоне измерения  $U_{\text{max}}$  ( $\Delta U = \gamma_U U_{\text{max}} i$ )/100;  $\Delta R_0 = \gamma_{R_0} R_0$  /100;  $\gamma_{R_0}$  - относительная погрешность изготовления резистора  $R_0$  ( $\gamma_{R_0} = 1\%$ ;  $R_0 = 1 \text{ МОм}$ );  $R_{\text{вх}}$  - расчетное значение входного сопротивления на заданной частоте (табл.1).

Результаты вычислений  $R_{\text{вх}}, \gamma_{R_{\text{вх}}}$  отобразить графически в виде функции от частоты  $f$ .

**4.2** Определить зависимость показаний вольтметра ВЗ-38 от частоты измеряемого напряжения.

**4.2.1** Подсоединить вольтметры ВЗ-38 и В7-16 к выходным клеммам генератора ГЗ-112 и установить напряжение, указанное преподавателем. Изменяя частоту генератора в диапазоне  $10^3 + 10^6$  Гц и поддерживая выходное напряжение генератора  $U_0$  постоянным, при помощи вольтметра В7-16 произвести измерения напряжения  $U_1$  вольтметром ВЗ-38, результаты которых занести в табл. 2.2.

**Таблица 2.2. Зависимость показаний вольтметра от частоты**

$f, \text{Гц}$	1000	10000	50000	100000
$U_f, \text{В}$				
$\Delta U = U_f - U_0, \text{В}$				
$\delta_f = \frac{\Delta U}{U_0} \cdot 10^2\%$				

**4.2.2** Определить относительную погрешность и построить график зависимостей  $\delta_f = F(f)$  этой погрешности от частоты.

**4.3** Измерить коэффициенты формы и амплитуды синусоидального и несинусоидального напряжений, для чего собрать схему согласно рис.2.3.

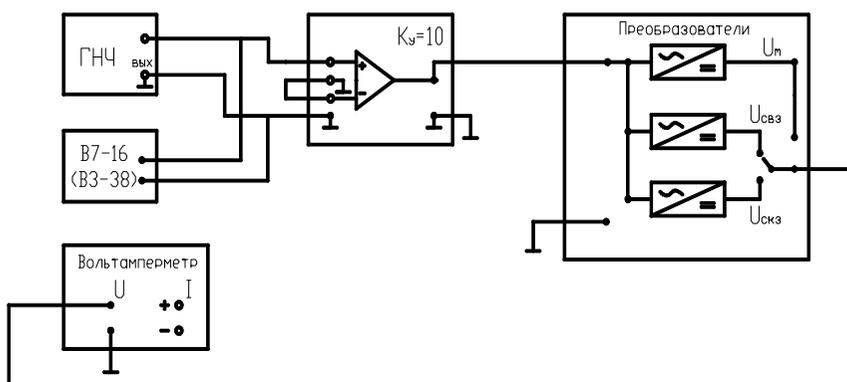


Рис. 2.3. Схема для измерения коэффициентов формы и амплитуды

**4.3.1** Установить с помощью переключателя коэффициент усиления усилителя 10.

**4.3.2** Устанавливая последовательно значения выходного напряжения встроенного генератора 0,1, 0,5, 0,6 В по эталонному прибору В7-16 или В3-38, меняя частоту выходного сигнала в диапазоне частот 100 Гц - 100 кГц, провести измерения для синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы сигнала. Результаты измерений занести в табл. 2.3.

**Таблица 2.3. Зависимость показаний приборов от частоты и формы сигнала**

Форма сигнала	f, кГц	U <sub>вх.</sub> , В, U <sub>вых.</sub> , В						K <sub>ф</sub>	K <sub>а</sub>
		0,1 В		0,5 В		0,6 В			
		U <sub>изм.</sub> , В	δU, %	U <sub>изм.</sub> , В	δU, %	U <sub>изм.</sub> , В	δU, %		
	0,1	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	10	U <sub>скз</sub>						*	*
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	50	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	0,1	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	10	U <sub>скз</sub>						*	*
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	50	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	0,1	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	10	U <sub>скз</sub>						*	*
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							
	50	U <sub>скз</sub>							
		U <sub>свз</sub>							
		U <sub>м</sub>							

**4.3.3** Определение погрешностей измерения синусоидального напряжения с помощью собранных вольтметров действующего, средневыпрямленного и амплитудного значений проводится по формулам:

- для действующего значения  $\delta U_{\delta} = \frac{U_{изм.д} - U_{\delta}}{U_{\delta}} 100$ , где  $U_{\delta}$  - действительное значение напряжения на входе преобразователя, измеренное образцовым прибором В7-16(В3-38), а  $U_{изм.д}$  - выходное напряжение преобразователя, измеренное вольтамперметром стенда;

- для средневыпрямленного значения  $\delta U_{свз} = \frac{U_{изм.свз} - U_{свз}}{U_{свз}} 100$ ,

где  $U_{свз} = U_{\delta} / k_{\phi} = U_{\delta} / 1.11$ ;

- для амплитудного значения  $U_A = 1.41 \cdot U_{\delta}$ .

**4.3.4** Определение погрешностей измерения несинусоидальных напряжений с помощью универсального стенда проводится по тем же формулам, что в п. 4.3.3, с тем отличием, что значения коэффициентов принимаются равными для прямоугольных импульсов  $K_a = K_{\phi} = 1$ , а для треугольных  $K_{\phi} = 1,155$ , а  $K_a = 1,733$ . **Внимание! При смене формы выходных сигналов генератора требуется регулировка уровня выходного сигнала.**

**4.3.5** Значения коэффициентов  $K_a$ ,  $K_{\phi}$ , найденные экспериментально, занести в графы, помеченные\*. Расчет проводить по формулам:  
 $k_A = U_{изм.А} / U_{изм.д}$ ,  $k_{\phi} = U_{изм.д} / U_{изм.СВЗ}$ .

## 5 Требования к отчету

Отчет должен содержать:

1. Краткое задание.
2. Спецификацию используемых средств измерения.
3. Схемы включения средств измерения и объекта.
4. Результаты измерений, примеры расчетов и графики.
5. Выводы по проделанной работе.

## 6 Контрольные вопросы

1. Метрологические характеристики применяемой в работе измерительной аппаратуры (диапазон измерения, частотный диапазон,  $R_{ex}$ , класс точности и др.).
2. Принцип действия цифрового вольтметра (В7 - 16) – времяимпульсного преобразования.
3. Факторы, определяющие порог чувствительности применяемого вольтметра В7-16.
4. Каким образом и для чего осуществляется калибровка и установка нуля в цифровом вольтметре В7-16?
5. В чем сущность погрешности квантования, погрешности воспроизведения уровня квантования, погрешности датирования отсчетов в цифровых вольтметрах?
6. Правила обозначения классов точности измерительных приборов.
7. Правила нормирования класса точности вольтметров для трех случаев:  
1- при наличии только аддитивной составляющей; 2 - при наличии только

мультипликативной составляющей; 3 - при наличии аддитивной и мультипликативной составляющих.

8. Объясните частотные свойства вольтметра ВЗ - 38 с помощью эквивалентной схемы его входной цепи.

9. Выведите формулу для расчета  $R_{ex}(f)$ .

10. Факторы, определяющие погрешности электронного вольтметра ВЗ - 38.

11. Правила пользования логарифмической шкалой вольтметра ВЗ - 38.

12. Чем определяется динамический и частотный диапазоны вольтметра ВЗ - 38?

13. Как по результатам обработки экспериментальных данных определить аддитивную и мультипликативную составляющие поверяемых вольтметров и определить их класс точности?

14. Функциональные схемы электронных вольтметров переменного тока.

15. Назовите причины, вызывающие погрешности амплитудных вольтметров, вольтметров среднего и действующего значений.

16. Чему равно напряжение, измеренное ЭВ, если он указывает 12дБ?

17. Показание ЭВ равно 15 В. Выразите это напряжение в логарифмических единицах (дБ).

18. Что такое коэффициент амплитуды  $K_a$  и коэффициент формы  $K_{\phi}$ ? Каково их влияние на результаты измерений напряжения несинусоидальной формы?

## Список литературы

1. Кукуш, В. Д. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов / В.Д. Кукуш. – М.: Радио и связь, 1985.
2. Курзенков, Г.Д. Основы метрологии в авиационной приборостроении / Г.Д. Курзенков. - М.: Изд-во МАИ, 1990.
3. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Ф.В. Кушнир. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1983. - 320с.
4. Алиев, Т.М. Измерительная техника: учеб. пособие для вузов / Т.М. Алиев. - М.: Высш. шк., 1991.
5. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. - 526с.
6. Милливольтметр ВЗ - 38. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
7. Универсальный цифровой вольтметр В7-16. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.

## Лабораторная работа № 3

### Измерение сосредоточенных параметров $R$ , $L$ , $C$ электрических цепей

**Цель работы:** ознакомиться с методами и средствами измерения сосредоточенных параметров  $R$ ,  $L$ ,  $C$  электрических цепей и способами оценки погрешности таких измерений.

**Аппаратура:** универсальный лабораторный стенд, лабораторный модуль №4 универсального лабораторного стенда, цифровой измеритель  $R$ ,  $L$ ,  $C$  E7-8, мультиметр (омметр) любого типа.

#### 1 Предварительная подготовка к работе

Изучить материал по литературе и техническим описаниям применяемых приборов и ответить на контрольные вопросы.

[1] – с. 251-263; [2] – с. 51-61,116-121,191-203,385-394,420-429; [3] – с. 249-263.

#### 2 Содержание лабораторной работы

**2.1** Измерить сопротивления резисторов  $R1$  –  $R6$  лабораторного модуля №4 с помощью цифрового измерителя E7-8.

**2.2** Измерить сопротивления резисторов  $R1$  и  $R2$  способом амперметра и вольтметра.

**2.3** Измерить сопротивления резисторов  $R3$  и  $R4$  методом замещения с использованием вольтамперметра универсального лабораторного стенда.

**2.4** Измерить ёмкости и тангенсы углов потерь конденсаторов  $C1$  –  $C6$  лабораторного модуля №4 с помощью цифрового измерителя E7-8.

**2.5** Измерить индуктивности катушек индуктивности  $L1$  –  $L4$  и взаимную индуктивность трансформатора  $T1$ , находящихся в лабораторном модуле №4, определить добротность катушек индуктивности.

#### 3 Методические указания к работе

##### 3.1 Общие сведения.

Методы измерения электрических параметров цепей с сосредоточенными параметрами  $R$ ,  $L$ ,  $C$  очень разнообразны, а приборный состав включает в себя в основном электронные приборы.

В зависимости от вида измеряемой величины, требуемой точности результата, диапазона рабочих частот и других условий для измерения параметров элементов применяют метод амперметра-вольтметра, мостовой метод, метод замещения, резонансный и цифровой.

Для измерения сопротивления  $R$  используют метод амперметра-вольтметра, замещения и измерительные мосты на постоянном токе. В этом случае в одно из плеч включается исследуемый элемент, а в другое смежное плечо моста включается образцовый элемент, представляющий собой набор квантованных образцовых мер, соответствующих весовым коэффициентам разрядов используемого цифрового кода.

Как известно, исследуемые элементы  $R$ ,  $L$ ,  $C$  характеризуются основными и паразитными (сопутствующими) параметрами.

Для резистора (рис. 3.1) основным параметром является сопротивление электрическому току  $R$ , а паразитными - индуктивность  $L_R$  выводов и емкость  $C_R$  между выводами. Для конденсаторов основным параметром является ёмкость  $C$ , а паразитными служат индуктивность  $L_C$  пластин и выводов и сопротивление  $R_C$  - сопротивление потерь в диэлектрике. У большинства конденсаторов  $L_C$  пренебрежимо мала. В этом случае эквивалентная схема упрощается и может быть представлена как последовательное или параллельное соединение  $R_C$  и  $C$  (рис.3.2).



Рис.3.1. Эквивалентная схема замещения резистора

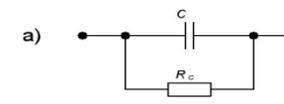


Рис.3.2. Эквивалентная схема замещения конденсатора: а - параллельная; б - последовательная

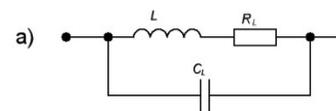


Рис.3.3. Эквивалентная схема замещения катушки: а - полная; б - на низких частотах

При параллельной схеме комплексное сопротивление конденсатора:

$$\dot{Z}_C = \frac{R_C}{1 + j\omega R_C C}, \text{ а тангенс угла потерь: } \operatorname{tg} \delta = \frac{1}{\omega R_C C}.$$

При последовательной схеме замещения:

$$r_C = \frac{1}{\omega^2 C^2 R_C}, \quad Z_C = r_C + \frac{1}{j\omega C}, \quad \operatorname{tg} \delta = r_C \omega C.$$

Комплексное сопротивление катушки индуктивности  $\dot{Z}_L = R_L + j\omega L$ .

Для катушки индуктивности (рис. 3.3, а) основным параметром является индуктивность  $L$ , паразитными – сопротивление потерь  $R_L$  и собственная ёмкость  $C_L$ . Важными характеристиками катушки являются: её собственная резонансная частота  $f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_L}}$  и добротность  $Q = X_L / R$ .

3.2 При измерении сопротивления комбинированным прибором мультиметром или омметром требуется, как правило, предварительная регулировка « $\theta$ » или «чувствительности», либо того и другого.

3.3 Цифровой измеритель  $R, L, C$  E7-8 служит для автоматического измерения параметров конденсаторов, катушек индуктивности и резисторов с цифровым отсчётом измеряемых величин. Так как прибор работает на частоте 1кГц, то физическая структура конденсаторов соответствует параллельной схеме замещения, а катушек индуктивностей – последовательной.

В основе измерения прибором E7-8 лежит мостовой метод с фазочувствительными детекторами уравнивания. Структурная схема прибора показана на рис. 3.4.

Питание моста осуществляется от генератора 1000 Гц. Напряжение разбаланса мостовой схемы через усилитель сигнала поступает на входы фазовых детекторов активной (АС) и реактивной (РС) составляющих. Опорные напряжения фазовых детекторов снимаются с мостовой схемы и выбираются такими, чтобы связь контуров уравнивания была минимальной. Выходные напряжения разбаланса с фазовых детекторов подаются на ревер-

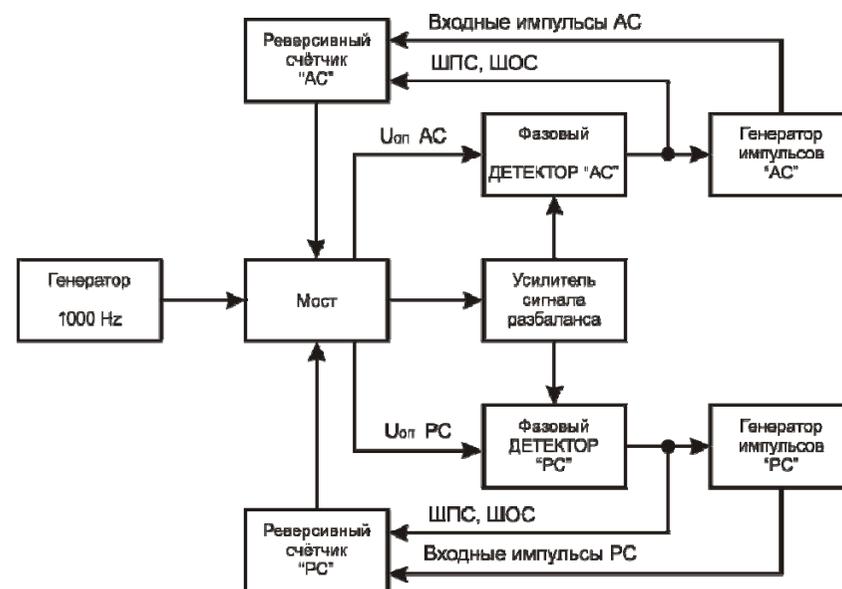


Рис. 3.4. Структурная схема прибора E7-8

сивные счётчики, управляющие состоянием органов уравнивания мостовой схемы, и на генераторы импульсов, задающие скорость счёта реверсивных счётчиков. Направление счёта реверсивных счётчиков определяется знаком напряжения разбаланса фазового детектора, скорость счёта – величиной этого напряжения. Чем дальше мост от состояния равновесия, то есть больше напряжение разбаланса, тем больше частота следования импульсов от генераторов АС и РС, тем больше скорость счёта реверсивного счётчика и, следовательно, быстрее процесс уравнивания моста. По мере приближения к балансу напряжение разбаланса уменьшается, вследствие чего замедляется скорость уравнивания моста. Для пуска и остановки системы дискретного уравнивания имеется вспомогательная система аналогового уравнивания (САУ), плавно уравнивающая мост в пределах  $\pm 0,6$  единицы дискретности. При наличии разбаланса большего 0,5 единицы дискретности, САУ находится в состоянии ограничения и происходит дискретное уравнивание моста. По достижении разбаланса, не превышающего  $\pm 0,6$  единицы дискретности, САУ выходит из состояния ограничения и останавливает работу схемы дискретного уравнивания моста.

Более подробные сведения о приборе Е7-8 приведены в техническом описании и инструкции по эксплуатации [4], либо в приложении №3 методических указаний.

Погрешности измерения прибором Е7-8 следует определять по формулам и таблицам, приведённым в техническом описании Е7-8.

**3.4** В качестве примера определим погрешность измерения индуктивности, значение которой по данным измерения равно  $L_{ИЗМ} = 3001,2 \mu H$ . Значение тангенса угла потерь  $tg\delta = 2793 \cdot 10^{-4}$ . Для определения погрешности измерения  $\Delta L$  используем формулу пункта 2.7 технического описания:

$$\Delta L = \pm \left[ 1 \cdot 10^{-3} (1 + tg\delta) L_{ИЗМ} + 0,1 \mu H + 1 \cdot 10^{-4} L_K \right]$$
, где  $L_{ИЗМ}$  - измеренное значение индуктивности,  $L_K$  - предел измерения. Тогда

$$\Delta L = \pm \left[ 1 \cdot 10^{-3} (1 + 2793 \cdot 10^{-4}) 3001,2 + 0,1 + 0,001 \right] = 3,94 \mu H.$$

Аналогичные расчёты проводятся при определении погрешности измерения сопротивления  $R$ . Результаты измерения  $R_{ИЗМ} = 9,99$  Ом,  $L_{ИЗМ} = 0,001 mH$ .

Определим тангенс угла потерь:

$$tg\varphi = \frac{\omega L_{ИЗМ}}{R_{ИЗМ}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{10} = 6 \cdot 10^{-4}.$$

Погрешность измерения  $\Delta R$  составит:

$$\Delta R = \pm \left[ 1 \cdot 10^{-3} (1 + tg\varphi) R_{ИЗМ} + 1 \cdot 10^{-4} R_K \right] = \pm \left[ 1 \cdot 10^{-3} (1 + 6 \cdot 10^{-4}) 9,99 + 1 \cdot 10^{-3} \right] = \pm 0,01 \text{ Ом}.$$

**3.5** Измерение сопротивления способом амперметра и вольтметра можно выполнять по двум схемам включения: в одном случае измеряется сумма напряжений на объекте и амперметре, в другом – измеряется ток через объект и вольтметр (см. рис. 3.5).

Данный способ относится к косвенным методам измерения, при которых получение результата требует вычислений по принятой модели физической связи искомой величины с величинами, измеренными прямым методом. Модель связи может учитывать или игнорировать влияние приборов

на результат измерения. Игнорирование влияния приборов упрощает расчёт, но требует контроля возникающей при этом погрешности и учёта её в виде поправки результата (в случае необходимости).

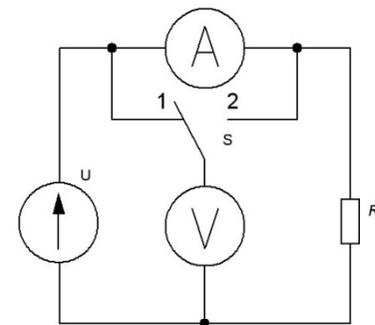


Рис. 3.5. Схема для измерения сопротивления методом амперметра-вольтметра

При включении переключателя  $S$  в положение 1 результат измерения  $R_X$  определяется по формуле:

$$R_X = U_X / I_X \text{ с методической погрешностью } \delta_M = 100 R_A / R_X (\%),$$

$$\text{либо } R_X = U_X / I_X - R_A \text{ с методической погрешностью } \delta_M = 0,$$

где  $U_X$  и  $I_X$  показания соответственно вольтметра (V) и амперметра (A),

$R_A$  - сопротивление амперметра.

При включении переключателя  $S$  в положение 2 результат измерения  $R_X$  определяется по формулам:

$$R_X = U_X / I_X \text{ с методической погрешностью}$$

$$\delta_M = -100 \left[ R_X / (R_X + R_V) \right] (\%)$$

$$\text{либо } R_X = U_X / (I_X - U_X / R_V) \text{ с методической погрешностью } \delta_M = 0,$$

где  $R_V$  - сопротивление вольтметра.

Значение входного сопротивления вольтметра  $R_V = 1 \text{ МОм}$ , а значение входного сопротивления амперметра  $R_A$  зависит от предела измерения, определяется из табл. 3.1.

**Таблица 3.1. Значения сопротивления амперметра**

Предел измерения	2 А	200 мА	20 мА	2 мА	0,2 мА
Значение входного сопротивления	0,2 Ом	1 Ом	10 Ом	100 Ом	1000 Ом

При необходимости в результат измерения вносят поправку, равную абсолютной методической погрешности с обратным знаком. Скорректированный результат при этом:

$$R_{XC} = R_X + c, \text{ где } c = \delta_M \cdot R_X / 100.$$

Окончательный результат измерения записывается в виде:

$R_{ИЗМ} = R_{XC} \pm \Delta R_X$ , где  $\Delta R_X$  – абсолютная погрешность измерения сопротивления. Значение этой погрешности находится следующим образом.

Так как измерения косвенные и  $R_X = U_X / I_X$ , то

$$\Delta R_X = \sqrt{\left(\frac{\partial R_X}{\partial U_X} \Delta U_X\right)^2 + \left(\frac{\partial R_X}{\partial I_X} \Delta I_X\right)^2}, \text{ где } \Delta U_X = \frac{\gamma_V U_M}{100},$$

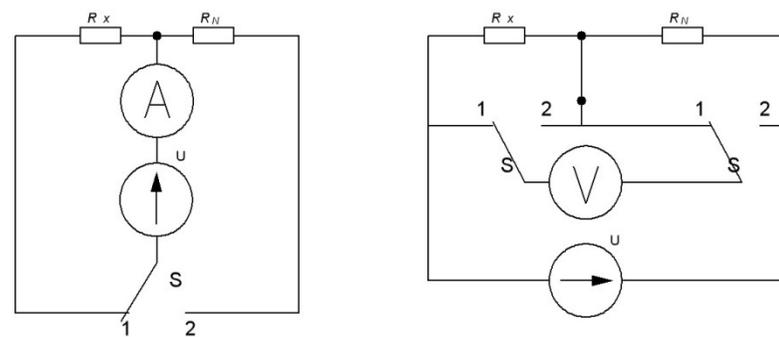
$\Delta I_X = \frac{\gamma_A I_M}{100}$ . Здесь  $\gamma_A, \gamma_V$  – класс точности амперметра и вольтметра, равный 0,5, а  $I_M, U_M$  – пределы измерения амперметра и вольтметра соответственно.

Если при выполнении измерений поправки в результат  $R_X$  не вводились, то  $R_{ИЗМ} = R_X \pm \Delta R_X$ , где  $\Delta R_X$  находится по той же формуле, но  $\Delta U_X$  и  $\Delta I_X$  определяются как сумма инструментальной погрешности прибора  $\Delta U_X, \Delta I_X$  и методической  $\Delta U_M$  и  $\Delta I_M$ . Последние можно найти по формулам:

$$\Delta U_M = I_X R_A, \quad \Delta I_M = U_X / R_V.$$

**3.6 Метод замещения** – метод измерения, при котором объект измерения и известная величина поочередно измеряются одним и тем же средством. Результат измерения рассчитывается по паре измеренных значений. Метод позволяет существенно повысить точность измерений при линейной характеристике преобразования измерительного средства.

Измерение сопротивления методом замещения может быть выполнено по схемам, приведённым на рис. 3.6, а, б.



а) б)  
Рис.3.6. Измерение сопротивления методом замещения

В качестве образцовых сопротивлений применить резисторы из набора элементов  $R_{N1}, R_{N2}, R_{N3}$ , имеющих разброс в 0,5%.

Результаты измерений вычисляются по формулам:

для схемы а):  $R_X = R_N I_N / I_X$ , где  $I_N$  и  $I_X$  – токи в образцовом и измеряемом сопротивлениях соответственно;

для схемы б):  $R_X = R_N U_X / U_N$ , где  $U_N$  и  $U_X$  – напряжения на образцовом и измеряемом сопротивлениях соответственно.

Предельное значение основной относительной погрешности измерения при неизвестной форме статической характеристики преобразования измерительного средства:

для схемы а):  $\delta_X = \sqrt{\delta_N^2 + [\delta_{I0} (1 - I_N / I_X)]^2}$ , %, где  $\delta_N$  – относительная погрешность значения образцового сопротивления (в процентах),

$\delta_{I_0} = k I_K / I_N$ , % – относительная погрешность измерения тока в образцовом сопротивлении,  $k$  – класс точности прибора.

для схемы б):  $\delta_X = \sqrt{\delta_N^2 + [\delta_{U_0} (U_N / U_X - 1)]^2}$ , %;  $\delta_{U_0}$  – относительная погрешность измерения напряжения на образцовом сопротивлении (в процентах) – определяется аналогично величине  $\delta_{I_0}$ .

При известной статистической характеристике преобразования, в частности при использовании встроенных в лабораторную установку цифровых приборов, предел относительной погрешности результата можно оценить по формуле:

$$\delta_X = \sqrt{\delta_N^2 + [\delta_{ИН} Y_K / Y_N | Y_N / Y_X - 1 |]^2 + 2\delta_{ДН}^2 + 2\delta_{КВ}^2},$$

где  $\delta_{ИН} = 0,15\%$  – интегральная нелинейность цифрового преобразователя, встроенного в установку;  $\delta_{ДН} = 0,05\%$  – его дифференциальная нелинейность;  $\delta_{КВ} = 0,05\%$  – погрешность квантования;  $Y$  – символ, обозначающий ток или напряжение.

### 3.7 Измерение параметров реактивных элементов

**3.7.1** Измерение ёмкости и тангенса угла потерь производить с помощью универсального моста Е7-8. Перед измерением мост необходимо подготовить к работе в соответствии с инструкцией по его применению.

**3.7.2** Процесс измерения индуктивности катушек индуктивности, их добротности, взаимной индуктивности трансформатора с помощью универсального моста схож с измерением величин пункта 3.7.1.

Измерение взаимной индуктивности  $M$  трансформатора способом согласного и встречного включения двух обмоток (начало каждой обмотки помечено звёздочкой). В этом случае измеряется индуктивность согласно включённым обмоткам  $L_C$  и индуктивность встречно включённых обмоток  $L_B$ . Взаимная индуктивность  $M = (L_C - L_B) / 4$ . Абсолютная погрешность измерения взаимной индуктивности  $\Delta M = (\Delta L_C - \Delta L_B) / 4$ , где  $\Delta L_C$  и  $\Delta L_B$  – абсолютные погрешности измерения  $L_C$  и  $L_B$ .

Определение погрешностей измерений по пунктам 3.7.1 и 3.7.2 производить в соответствии с рекомендациями нормативно-технической документации применённого средства измерения.

## 4 Содержание эксперимента

**4.1** Перед включением приборов в сеть необходимо ознакомиться с их техническим описанием, инструкцией по эксплуатации, расположением и назначением органов управления. Лабораторный модуль №4 показан на рис. 3.7.

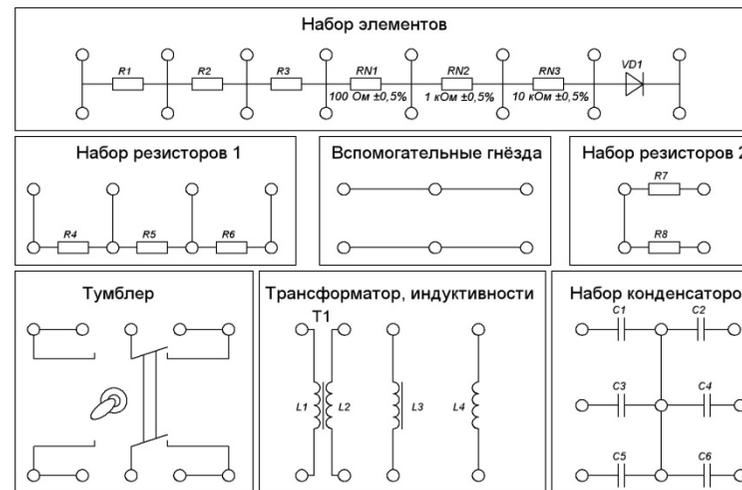


Рис. 3.7. Лабораторный модуль №4

**4.2** Для измерения сопротивлений  $R1 - R6$  лабораторного модуля №4 (см. рис. 3.7) с помощью цифрового измерителя Е7-8 выполнить:

**4.2.1** Подключить к прибору кабель питания.

**4.2.2** Заземлить прибор с помощью клеммы защитного заземления.

**4.2.3** Установить тумблер СЕТЬ в нижнее положение и включить в сеть кабель питания прибора.

**4.2.4** Установить переключатель  $U_{\text{поляр}} I_{\text{подм}}$  в положение ВЫКЛ, переключатель ПРЕДЕЛЫ ИЗМЕРЕНИЯ – в АВТ., переключатель ЗНАК L, C – в положение АВТ.

**4.2.5** Включить тумблер СЕТЬ и дать прибору прогреться в течение 1 минуты.

### 4.3 Проведение измерений.

**4.3.1** При измерении параметров двухполюсников, какими являются  $R$ ,  $L$ ,  $C$  выходы соединительного кабеля прибора Е7-8 присоединяются к выводам измеряемого элемента модуля №4 с помощью переходных штекеров. Если измеряемый элемент заключён в экран, соединённый с одним из его выводов, то этот вывод должен быть присоединён к выводу кабеля прибора Е7-8, включённому в гнезда  $I$ ,  $U$  (рис. 3.8).

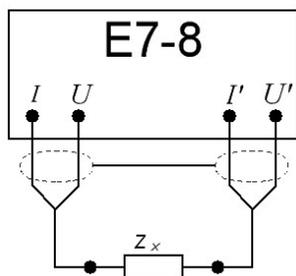


Рис. 3.8. Схема подсоединения исследуемых элементов

**4.3.2** При измерении сопротивления резистора  $R$  установить переключатель ЗНАК L, C в положение АВТ, переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ в положение YR для  $YR \leftrightarrow tg\delta$ ; CY или LR для переключателя  $C, Y \leftrightarrow L, R$ . Следует помнить что при измерении проводимости  $Y$  реактивная составляющая будет измерена прибором в виде параллельной «+» или «-» ёмкости, а при измерениях сопротивления в форме «+» или «-» индуктивности. Провести измерения  $R1 - R6$  модуля №4.

**4.3.3** Определение погрешности измерения сопротивлений  $R1 - R6$  производить согласно указаниям инструкции по эксплуатации Е7-8 либо пункта 3.4 методических указаний.

### 4.4 Измерение параметров реактивных элементов L, C.

**4.4.1** При измерении значения параметров реактивных элементов  $C1 - C6$ ,  $L1 - L4$  и взаимной индуктивности трансформатора  $T1$  модуля №4 положения переключателей прибора Е7-8 можно оставить в том же состоянии, что и в пункте 4.3.2. Для получения желаемой формы результата измерения установить переключатели ВИД ИЗМЕРЕНИЯ и ЗНАК C, L в соответствии с табл. 3.2.

Таблица 3.2. Положение переключателей при измерении

Характер измеряемой реактивности	Желаемая форма результата измерения	Положение переключателей		
		ЗНАК L, C	$C, Y \leftrightarrow L, R$	$YR \leftrightarrow tg\delta$
Ёмкость, C	C, Y	(+) или АВТ	C, Y	Y, R
	$C, tg\delta$	(+)	C, Y	$tg\delta$
	-L, R	(-) или АВТ	L, R	Y, R
	$-L, tg\delta$	(-)	L, R	$tg\delta$
Индуктивность, L	L, R	(+) или АВТ	L, R	Y, R
	$L, tg\delta$	(+)	L, R	$tg\delta$
	-C, Y	(-) или АВТ	C, Y	Y, R
	$-C, tg\delta$	(-)	C, Y	$tg\delta$

**4.4.2** Оценку погрешностей измерения  $L$  и  $C$  произвести аналогично п. 4.3.3.

**4.5** Измерить значения сопротивлений  $R_1$  и  $R_2$  способом амперметра и вольтметра.

**4.5.1** Собрать схему согласно рис. 3.5, где роль амперметра  $A$ , вольтметра  $V$  и источника напряжения  $U$  играют встроенные в универсальный лабораторный стенд вольтметры и блок питания.

**4.5.2** Включить стенд и провести измерения согласно указаниям п. 3.5.

**4.5.3** Оценить погрешность измерений.

**4.6** Измерить сопротивления  $R_3$  и  $R_4$  модуля №4 методом замещения.

**4.6.1** Собрать схему (рис. 3.6) для проведения эксперимента. Здесь сопротивления  $R_X$ ,  $R_N$ , переключатель  $S$  расположены в модуле №4, а источник напряжения и измерительные приборы - в лабораторном стенде.

**4.6.2** Провести измерения согласно указаниям п. 3.6 по схемам рис.3.6,а и 3.6, б и оценить погрешности измерений.

**4.6.3** Сопоставить результаты оценки точности измерений сопротивлений различными методами.

## 5 Требования к отчёту

Отчёт должен содержать:

- Краткое задание.
- Спецификацию применённых средств измерений.
- Схемы включения средств измерений и объектов.
- Примеры расчётов.
- Результаты измерений.
- Выводы по полученным результатам.

## 6 Контрольные вопросы

1. Какие параметры электрических цепей считаются сосредоточенными, а какие распределёнными?
2. Перечислить методы измерения активных сопротивлений и дать краткую характеристику этим методам.
3. Мостовые методы измерения на переменном и постоянном токе. Чем отличаются условия равновесия четырёхплечего моста на переменном токе от условий равновесия на постоянном?
4. Приведите схемы мостов для измерения параметров  $R$ ,  $L$ ,  $C$  и  $tg\delta$ .
5. Как строятся цифровые мостовые измерители  $R$ ,  $L$ ,  $C$ ?

6. Нарисуйте структурную схему измерителя  $RLC$  E7-8 и объясните его работу.

7. Как оцениваются погрешности измерения сопротивления:

а) мостовым методом с помощью E7-8?

б) методом амперметра и вольтметра?

в) методом замещения?

8. Как оцениваются погрешности измерения параметров реактивных элементов  $L$ ,  $C$  с помощью измерителя  $RLC$  E7-8?

## Список литературы

1. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Ф.В. Кушнир. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1983. – 320с.
2. Основы метрологии и электрические измерения / под ред. Е.М. Душина. – Л.: Энергоатомиздат, 1987.
3. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. - 526с.
4. Измеритель  $RLC$  E7-8. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. 1988.

## Лабораторная работа № 4

### Измерение частоты, фазового сдвига и временных интервалов

**Цель работы:** изучение методов и средств измерения частоты, фазового сдвига, временных интервалов и методики оценки погрешностей результатов измерения.

**Аппаратура:** универсальный лабораторный стенд по информационно-измерительной технике, лабораторный модуль №2, коаксиальные разветвители, цифровой электронно-счётный частотомер ЧЗ-33, электронный двухлучевой осциллограф С1-98, цифровой вольтметр В7-16 или милливольтметр ВЗ-38.

#### 1 Предварительная подготовка к работе

1.1 Изучить материалы по литературе [1] – с. 192-215, [2] – с. 251-267, [3] – Приложение [2], [4] – с. 279-292, техническое описание используемых приборов и стенда.

1.2 Ответить на вопросы:

1.2.1 Каково назначение блока умножителей частоты кварцевого генератора прибора ЧЗ-33?

1.2.2 Что определяет диапазон частот, измеряемых прибором ЧЗ-33?

1.2.3 В чём преимущество цифровых измерительных приборов перед аналоговыми?

1.2.4 Каковы назначение и принцип действия прибора ЧЗ-33?

1.2.5 Каковы методы измерения частоты?

1.2.6 Каковы достоинства и недостатки аналоговых и цифровых частотомеров?

1.2.7 Каковы технические характеристики частотомера, встроенного в универсальный лабораторный стенд?

#### 2 Содержание лабораторной работы

2.1 Измерить частоту периодических сигналов синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы, получаемых с генератора сигналов универсального лабораторного стенда, с помощью двух частотомеров при различных положениях переключателя «время измерения». Оценить погрешность результатов измерения.

2.2 Измерить длительность и период тех же сигналов, оценить погрешность измерения.

2.3 Определить нестабильность частоты генератора, встроенного в универсальный лабораторный стенд, работающего в режиме генерирования синусоидального сигнала частотой 10 кГц.

2.4 С помощью двухлучевого осциллографа измерить фазовый сдвиг между синусоидальными напряжениями на входе и выходе фазосдвигающего устройства 1, 2, 3 (вариант 1, 2, 3 – указывается преподавателем), находящегося в лабораторном модуле №2 для различных частот и построить график зависимости фазового сдвига от частоты.

2.5 Снять фазочастотную характеристику полосового фильтра (вариант 4 модуля №2).

#### 3 Методические указания к работе

3.1 Цифровой частотомер позволяет измерять период и частоту периодических сигналов, временные параметры импульсных сигналов. Относительная погрешность (в процентах) измерения частоты определяется по формуле:

$$\delta_X = \pm \delta_T \pm 100 / t_H f_X, \text{ где } t_H - \text{ время усреднения (измерения); } f_X -$$

измеряемая частота сигнала, Гц;  $\delta_T$  - погрешность кварцевого генератора частотомера, которую для ЧЗ-33 можно принять равной 0,001%.

Относительная погрешность (в процентах) измерения периода  $T_X$  равна:

$$\delta_T = \pm 100 / T_X f_0, \text{ где } f_0 = 1 / T_0 - \text{ частота квантующих импульсов,}$$

Гц,  $T_0$  - период квантующих импульсов («метки времени»).

3.2 Для выполнения пунктов 2.1 – 2.3 лабораторной работы необходимо собрать схему установки согласно рис. 4.1.



Рис. 4.1. Схема лабораторной установки для измерения частоты, длительности и периода

**3.3** Встроенный в универсальный лабораторный стенд цифровой частотомер имеет ряд особенностей, которые следует учитывать при выполнении работы.

**3.3.1** Частотомер имеет коаксиальный и штекерный входы, которые служат для работы в области высоких и низких частот соответственно, что определяется положением переключателя ВЧ↔НЧ.

**3.3.2** Входное напряжение, подаваемое на встроенный частотомер от встроенного генератора, должно быть не менее 2,6 В.

**3.3.3** При использовании штекерного входа в режиме измерения низких частот используется гнездо «старт», а тумблер режима измерения ставится в положение НЧ.

**3.3.4** При использовании коаксиального входа тумблер режима измерения ставится в положение ВЧ.

**3.4** Фазовый сдвиг измеряется на примере прохождения синусоидального сигнала через RL или RC цепочки, расположенные в лабораторном модуле №2 (рис. 4.2).

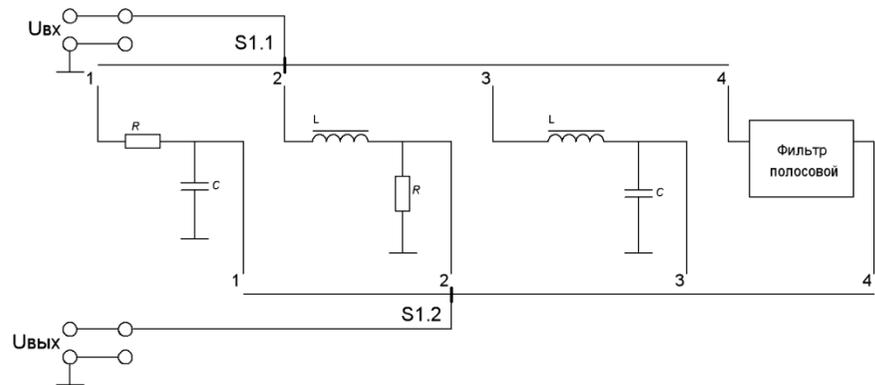


Рис.4.2. Лабораторный модуль №2

**3.5** Для выполнения пунктов 2.4 – 2.5 лабораторной работы необходимо собрать схему установки согласно рис. 4.3.

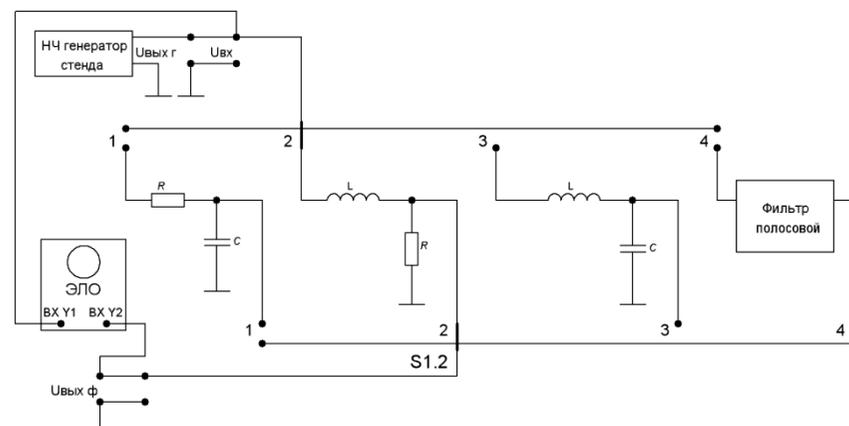


Рис. 4.3. Схема лабораторной установки для снятия фазочастотной характеристики

**3.6** Измерение фазового сдвига между входными и выходными напряжениями какого-либо устройства с помощью двулучевого осциллографа производится следующим образом.

**3.6.1** Получают на экране ЭЛО изображения двух напряжений (рис. 4.4), что даёт возможность определить фазовый сдвиг (в градусах) по формуле:

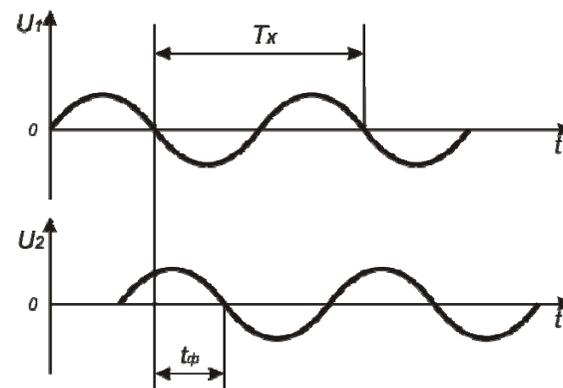


Рис. 4.4. Измерения фазового сдвига

$\varphi_X = 360 \cdot t_\phi / T_X$ , где  $t_\phi$  - временной сдвиг между напряжениями  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ ,  $T_X$  - период  $U_1(t)$  и  $U_2(t)$ .

Относительная погрешность измерения

$\delta_\phi = \sqrt{\delta_t^2 + \delta_T^2}$ , где  $\delta_t$  и  $\delta_T$  - относительные погрешности измерения  $t_\phi$

и  $T_X$ , которые определяются по формуле

$\delta_t = \delta_T = \sqrt{\delta_{KP}^2 + \delta_H^2 + \delta_{ВД}^2}$ , где  $\delta_{KP}$  - погрешность коэффициента раз-

вёртки, равная для С1-96 5%;  $\delta_H$  - погрешность нелинейности развёртки,

равная для С1-96 2%;  $\delta_{ВД}$  - визуальная погрешность измерения длительности (в процентах), определяемая выражением:

$\delta_{ВД} = 100(0,4 \cdot b/l)$ , где  $b$  - толщина линии изображения на экране осциллографа;  $l$  - линейный размер изображения по оси  $X$ .

#### 4 Экспериментальная часть

**4.1** Для измерения частоты периодического сигнала синусоидальной, треугольной и прямоугольной формы собрать схему, показанную на рис. 4.1. Подключить приборы и стенд к сети и включить их. По электронному вольтметру установить выходное напряжение генератора не менее 2,6 В. Провести измерения частоты с помощью образцового (ЧЗ-33) и встроенного в стенд частотомера, занося данные в табл. 4.1. Время измерения  $t_1$  и  $t_2$  задаются преподавателем.

Погрешность измерения частоты определить по формуле

$$\delta_X = \frac{f_{СТ.ЧАСТ.} - f_{ЧЗ-33}}{f_{ЧЗ-33}} 100,$$

принимая показания частотомера ЧЗ-33 как образцового прибора, за истинное значение.

При измерении частоты прибором ЧЗ-33 ручка «Род Работ» должна стоять в положении «Частота». Положение ручки «Время счёта» определяется по заданию точности измерения и номиналу. Сигнал, частоту которого необходимо измерить, поступает на вход «А», проходит через аттенюатор, усилитель-формирователь. Сформированные остроконечные импульсы поступают на вход схемы «И», на другой вход которой поступают импульсы с длительностью, соответствующей времени счёта. Определённое число им-

**Таблица 4.1. Измерение погрешности определения частоты**

Тип сигнала	f, Гц ЧЗ-33 Показания приборов	1000		10000		50000		100000	
		$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$	$t_{изм1}$	$t_{изм2}$
	станд. част. $\delta_{ИЗМ}$								
	станд. част. $\delta_{ИЗМ}$								
	станд. част. $\delta_{ИЗМ}$								

пульсов искомой частоты проходит в счётчик прибора ЧЗ-33. На табло «Размерность» при этом постоянно светится «kHz».

При измерении частоты  $f = 100 \text{ кГц}$  с погрешностью, например,  $10^{-6}$ , будем иметь следующее: результат измерения ЧЗ-33 должен быть представлен показателем, число значащих цифр которого

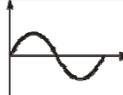
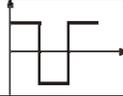
$$K \geq \lg \frac{1}{\delta} = 6, \text{ следовательно, } N \geq 10^6, \text{ при этом время счёта:}$$

$$T_{от} = T_X \cdot N = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6 = 10 \text{ с.}$$

На индикаторе прибора запятая будет располагаться между 4-м и 5-м разрядами.

**4.2** Измерить длительность и период тех же сигналов, используя схему рис. 4.1, установив частоту генератора 10 кГц, а время измерения 10 мкс и 1с. Результаты эксперимента занести в табл. 4.2.

**Таблица 4.2. Измерение длительности и периода сигналов**

Тип сигнала	Параметры измерения					
	$f_{ИВМ} = 10 \text{ кГц}, t_{ИВМ} = 10 \text{ мкс}$			$f_{ИМ} = 10 \text{ кГц}, t_{ИМ} = 1 \text{ с}$		
	ЧЗ-33	Частотомер стенда	$\delta_{ИЗМ}$	ЧЗ-33	Частотомер стенда	$\delta_{ИЗМ}$
						
						
						

При измерении периода и длительности импульсов положение переключателей рода работ, ручек регулировки и соединительных кабелей должно соответствовать указаниям технического описания и руководства по эксплуатации приборов.

**4.3** Определить нестабильность частоты встроенного генератора для синусоидального сигнала частотой  $f = 10 \text{ кГц}$ .

**4.3.1** Измерения проводить по схеме рис. 4.1.

**4.3.2** Установить выходное напряжение генератора 3 В частотой 10 кГц.

**4.3.3** Провести 20 измерений частоты частотомером ЧЗ-33 с интервалом времени 15 с. Результаты занести в табл. 4.3.

**Таблица 4.3. Измерение частоты**

показания ЧЗ-33	№ отсчёта			
	1	2	...	20
ЧЗ-33				
$\delta_{ИЗМ}$				

**4.3.4** Оценка нестабильности частоты генератора осуществляется по значению погрешности  $\delta_{ИЗМ}$ , найденной по рекомендованной в техническом описании. Показания частотомера ЧЗ-33 принимаются за показания образцового прибора.

**4.4** Определить фазовый сдвиг между напряжениями синусоидальной формы на входе и выходе фазосдвигающего устройства с помощью двулучевого осциллографа. Для проведения эксперимента собрать схему в соответствии с рис. 4.3. Номер исследуемого варианта указывает преподаватель.

**4.4.1** Установить на выходе генератора напряжение  $U = 3 \text{ В}$ ,  $f = 1000 \text{ Гц}$  и измерить фазовый сдвиг  $\varphi$  согласно рекомендациям п. 3.6.1. Меняя частоту выходного сигнала в диапазоне 1000 Гц – 100 кГц, провести измерения  $\varphi$  и данные занести в табл. 4.4.

**Таблица 4.4. Измерение фазового сдвига**

$\varphi, \text{ }^\circ$ \ $f, \text{ Гц}$	$10^3$	$5 \cdot 10^3$	$10 \cdot 10^3$	$50 \cdot 10^3$	$100 \cdot 10^3$
$\varphi_{ИЗМ}$					
$\Delta\varphi$					

**4.4.2** Погрешность измерения фазового сдвига определяется по рекомендациям п. 3.6.1.

**4.5** Снять фазочастотную характеристику полосового фильтра и построить график зависимости фазового сдвига от частоты. Схема и порядок эксперимента соответствуют п. 4.4.1.

## 5 Требования к отчёту

Отчёт должен содержать:

- Краткое задание.
- Спецификацию применённых средств измерения и их краткие технические характеристики.
- Схемы включения.
- Результаты измерения, примеры расчёта и графики.
- Выводы по полученным результатам.

## 6. Контрольные вопросы

1. Какова будет абсолютная погрешность при измерении частоты частотомером ЧЗ-33 (1000, 50000, 100000 Гц)?

2. Как связана заданная точность измерения частоты с количеством значащих цифр на блоке индикатора?

3. Как связаны между собой время счёта, время индикации и время измерения?

4. Чем ограничивается точность измерения длительности коротких импульсов?

5. Объясните нониусный принцип действия измерителя временных интервалов.

6. Объясните работу цифрового частотомера при измерении:

- частоты;
- периода;
- интервала времени;
- отношения частот.

7. Что такое ошибка квантования? Почему она называется методической?

8. Назовите составляющие инструментальной погрешности цифрового частотомера.

9. Можно ли использовать цифровой частотомер в режиме счёта импульсов? В режиме делителя импульсов? Как?

10. Что такое чувствительность частотомера? От чего она зависит? Как её измерить?

11. От чего зависит основная относительная погрешность измерения:

- частоты  $\delta_f$ ;
- периода  $\delta_T$ ;
- отношения частот  $\delta_{fB} / \delta_{fH}$ ;
- интервалов времени  $\delta_{II}$ ?

12. Как изменится величина погрешности квантования при измерении частоты, если время измерения увеличить в 10 раз?

13. Как изменится величина погрешности квантования при изменении длительности импульса, если частота квантуемых импульсов уменьшится в 10 раз?

14. Какой порядок имеет погрешность измерения фазового сдвига ЭЛО?

## Список литературы

1. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения: учеб. пособие для вузов / Ф.В. Кушнир. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд., 1983. - 320с.
2. Атамалян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э.Г. Атамалян. - М.: Высш. шк., 1989.
3. ЧЗ-33. – Частотомер электронносчётный. Техническое описание и инструкция по эксплуатации.
4. Метрология и радиоизмерения: учебник для вузов / В.И. Нефёдов, В.И. Ханин, В.К. Бирюков [и др.]; под ред. проф. В.И. Нефёдова. – М.: Высш. шк., 2003. - 526с

Учебное издание

**СБОРНИК МЕТОДИЧЕСКИХ УКАЗАНИЙ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА  
ПО МЕТРОЛОГИИ И РАДИОТЕХНИЧЕСКИМ ИЗМЕРЕНИЯМ**

*Методические указания*

Составители: *Гречишников Владимир Михайлович*  
*Плют Александр Андреевич*

Технический редактор Ю. Ф. Широков  
Редакторская обработка Т. К. Кретьнина  
Корректорская обработка Ю. Н. Литвинова  
Доверстка Т. Е. Половнева

Подписано в печать 20.12.07. Формат 60x84 1/16.  
Бумага офсетная. Печать офсетная.  
Печ. л. 3,5  
Тираж 120 экз. Заказ . ИП-17/2007

Самарский государственный  
аэрокосмический университет.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

---

Изд-во Самарского государственного  
аэрокосмического университета.  
443086 Самара, Московское шоссе, 34.