

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

Кафедра полупроводниковой электроники и наноэлектроники

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

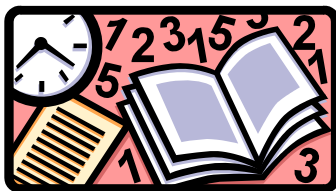
к выполнению лабораторных работ № 1 – 3  
по дисциплине

**«Метрология, стандартизация  
и технические измерения»**

для студентов направления 210100.62

«Электроника и наноэлектроника»,

профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника»  
очной формы обучения



Воронеж 2014

Составитель д-р физ.-мат. наук М.И. Митрохин

УДК 621.382

Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1 – 3 по дисциплине «Метрология, стандартизация и технические измерения» для студентов направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. М.И. Митрохин. Воронеж, 2014. 31 с.

В методические указания включены лабораторные работы по изучению метода поверки технического амперметра магнитоэлектрической системы; приборов и методов измерения токов и напряжений в электрических цепях; изучению параметров электрических сигналов с помощью электронного осциллографа. Приведены вопросы для самопроверки и библиографический список.

Предназначены для студентов второго курса направления 210100.62 «Электроника и наноэлектроника», профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника» очной формы обучения.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD и содержатся в файле Метрол Лаб.rtf.

Ил. 15. Библиогр.: 12 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. Т.В. Свистова

Ответственный за выпуск зав. кафедрой  
д-р физ.-мат. наук, проф. С.И. Рембеза

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014

## **Лабораторная работа № 1**

### **Поверка технического амперметра магнитоэлектрической системы**

**Цель работы:** изучение схемы поверки амперметра; определение класса точности поверяемого амперметра; изучение методов поверки измерительных средств.

**Приборы и оборудование:** технический амперметр магнитоэлектрической системы; стенд для проведения измерений.

#### **Основные теоретические положения**

Для оценки параметров отдельных физических величин используются контрольно-измерительные средства. Качество измерительных средств характеризуется совокупностью показателей, определяющих его работоспособность, точность, надежность и эффективность применения.

Для обеспечения гарантированной точности измерений проводите периодическая поверка измерительной аппаратуры.

Поверка измерительного средства - это определение соответствия действительных характеристик измерительного средства техническим условиям или государственным стандартам. При осуществлении поверки применяются измерительные средства поверки - специально предусмотренные средства повышенной точности по сравнению с поверяемыми измерительными средствами. Методы поверки - совокупность поверочных измерительных средств, приспособлений и способов их применения для установления действительных метрологических показателей поверяемых измерительных средств.

В практике поверки измерительных приборов нашли применение два способа:

- сопоставление показаний поверяемого и образцового приборов;

- сравнение показаний поверяемого прибора с мерой данной вел чины.

При поверке первым способом в качестве образцовых приборов выбираются приборы с лучшими метрологическими качествами.

Для поверки приборов постоянного тока в качестве образцовых принимаются магнитоэлектрические приборы, а для поверки приборов переменного тока - электродинамические. В последнее время используются цифровые приборы.

Верхний предел измерений образцового прибора должен быть таким же, как и поверяемого или не превышать предел измеряемого прибора более чем на 25 %. Допустимая погрешность образцового прибора должна быть 3 - 5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Погрешность выражают в виде абсолютных величин и в виде относительных.

Различают:

а) абсолютную погрешность измерительного прибора:

$$\Delta X = X_n - X_d, \quad (1.1)$$

где  $X_n$  и  $X_d$  - соответственно показание прибора и действительное значение измеряемой величины;

б) относительную погрешность средства измерения, часто выражаемую в процентах:

$$\gamma_0 = \frac{\Delta X}{X_d} \cdot 100 \%, \quad (1.2)$$

где  $\Delta X$  - абсолютная погрешность.

Для оценки многих средств измерений широко применяется приведенная погрешность, выражаемая в процентах:

$$\gamma_{0.л.} = \frac{\Delta X}{X_{н.з.}} 100 \%, \quad (1.3)$$

где  $X_{н.з.}$  - нормирующее значение, т.е. некоторое значение, по отношению к которому рассчитывается погрешность.

Часто в качестве нормирующего значения для приведенной погрешности принимают верхний предел измерения прибора. Для многих средств измерений по приведенной погрешности устанавливают класс точности прибора. Например, прибор класса 0,5 может иметь основную приведенную погрешность, не превышающую 0,5 %.

Измерительные приборы могут быть следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0.

Многопредельные приборы поверяют на одном, двух основных пределах, а на других в некоторых точках.

В результате поверки устанавливают приведенную погрешность и по ней класс точности прибора.

Амперметры магнитоэлектрической системы применяются для измерений токов в цепях постоянного напряжения. Магнитная цепь прибора состоит из постоянного магнита, полюсных наконечников, неподвижного цилиндра. В воздушном зазоре между поверхностями полюсных наконечников и цилиндра создается радиальное поле, которое в силу малости воздушного зазора можно считать равномерным. Рамка с обмоткой крепится на полуосях и может поворачиваться в зазоре.

В результате взаимодействия магнитного поля и тока обмотки создается вращающий момент, пропорциональный току:

$$M_{вр.} = \Psi_0 I, \quad (1.4)$$

где  $\Psi_0$  - постоянная прибора, зависящая от числа витков и площади обмотки и от индукции в зазоре.

Противодействующий момент:

$$M_{пр.} = W a, \quad (1.5)$$

где  $W$  - удельный противодействующий момент пружины.

Уравнение шкалы прибора:

$$\alpha = \frac{\Psi_0}{W} I = S_I I, \quad (1.6)$$

где  $S_I$  - чувствительность прибора.

Магнитоэлектрические приборы работают только на постоянном токе. Они отличаются высокой чувствительностью, высокой точностью, равномерностью шкалы, выполняются в виде амперметров и вольтметров постоянного тока.

### **Общие правила работы в лаборатории**

При работе в лаборатории студенты должны:

- строго соблюдать установленные правила внутреннего распорядка и техники безопасности;
- бережно обращаться с оборудованием и измерительными приборами;
- соблюдать следующие правила обращения с измерительными приборами:
  - а) при включении в схему приборов постоянного тока следить за полярностью включения;
  - б) до включения напряжения коммутирующее устройство и ручки управления прибора установить в нужное положение согласно инструкции;
  - в) после включения напряжения необходимо выдержать установленную для данного прибора норму времени прогрева прибора согласно инструкции;
- сообщить преподавателю или лаборанту о неисправностях оборудования или измерительных приборов.

## **Подготовка студентов к лабораторным работам**

Объем каждой лабораторной работы можно выполнить в отведенное время только при условии предварительной подготовки, в процессе которой студенты должны:

а) изучить теоретический материал по лабораторной работе, пользуясь методическими указаниями и литературой, приведенной в их библиографическом списке;

б) уяснить цель работы и порядок ее выполнения;

в) выяснить основные правила работы и порядок включения измерительных приборов;

г) изучить методику выполнения измерений и проведения вычислений.

Лабораторные работы выполняют с соблюдением следующих требований:

1. На одном рабочем месте допускается к работе не более 2 – 3 студентов. Каждый член бригады должен вести рабочую тетрадь.

2. Перед проведением лабораторной работы преподаватель проверяет степень готовности студентов к выполнению работы.

3. Сборку схемы студенты выполняют самостоятельно; правильность соединения элементов схемы проверяет преподаватель до включения схемы. Студенты не имеют права включать схему в сеть без проверки ее преподавателем или лаборантом.

4. Первоначальное включение схемы и измерительных приборов под напряжение производится только в присутствии преподавателя или лаборанта.

5. После проведения измерений сделать оценочные расчеты величин или построить предварительные графики, отражающие ход изучаемых зависимостей, и показать их преподавателю. Измерительную схему при этом не выключать! При

необходимости по указанию преподавателя провести измерения заново.

6. После выполнения работы выключить приборы из сети, схему соединений разобрать, навести порядок на рабочем месте и доложить об этом лаборанту.

### **Порядок оформления отчета**

Отчет о проделанной работе составляется каждым студентом самостоятельно. Отчет должен содержать:

- наименование и цель работы;
- используемое оборудование;
- методику измерений в данной лабораторной работе;
- краткие сведения об объектах измерения (материал, форма и размеры образца, тип электродов и т.п.);
- результаты измерений и расчетов (таблицы, графики, осциллограммы);
- краткие выводы и заключения, а также оценку общей погрешности измеряемых и расчетных параметров, определяемых в данной лабораторной работе.

### **Указания по технике безопасности**

При выполнении лабораторных работ необходимо соблюдать следующие правила техники безопасности:

1. Перед началом работы следует ознакомиться с источниками электропитания, способами их включения, эксплуатации и выключения.

2. При сборке схемы все имеющиеся реостаты, автотрансформаторы и потенциометры устанавливаются в положения, указанные в описании к работе.

3. Сборку схемы необходимо производить соединительными проводами с исправной изоляцией.



4. После окончания сборки схемы преподаватель или лаборант должен ее проверить и разрешить включить источники питания.

5. Запрещается включать в схему измерительные приборы, корпуса которых не заземлены; место расположения клеммы « $\perp$ » указывается в технических описаниях к приборам.

6. Запрещается прикасаться руками к зажимам, находящимся под напряжением; наличие напряжения на зажимах приборов или элементов схемы следует проверять только измерительным прибором.

7. Все изменения в схеме, а также устранение неисправностей следует производить после отключения схемы.

8. Запрещается оставлять без наблюдения схему и измерительные приборы, подключенные к источнику питающего напряжения.

9. Разбирать схему по завершении работы следует только после отключения источников питания и с разрешения преподавателя.

### **Порядок выполнения работы**

1. Соберите схему, представленную на рисунке.

2. Перед включением стенда установите переключатель ЛАТРа в начальное положение.

3. Переменный резистор R13 установите на максимальное сопротивление.

4. Включите стенд, затем тумблер включения ЛАТРа (S7) и наконец тумблер питания цепей постоянного тока (S6).

5. Изменяйте переключателем ЛАТРа величину напряжения, (величина контролируется вольтметром V2) до получения величины измеряемого тока, дальнейшее увеличение тока осуществляется плавно с помощью переменного резистора R13.

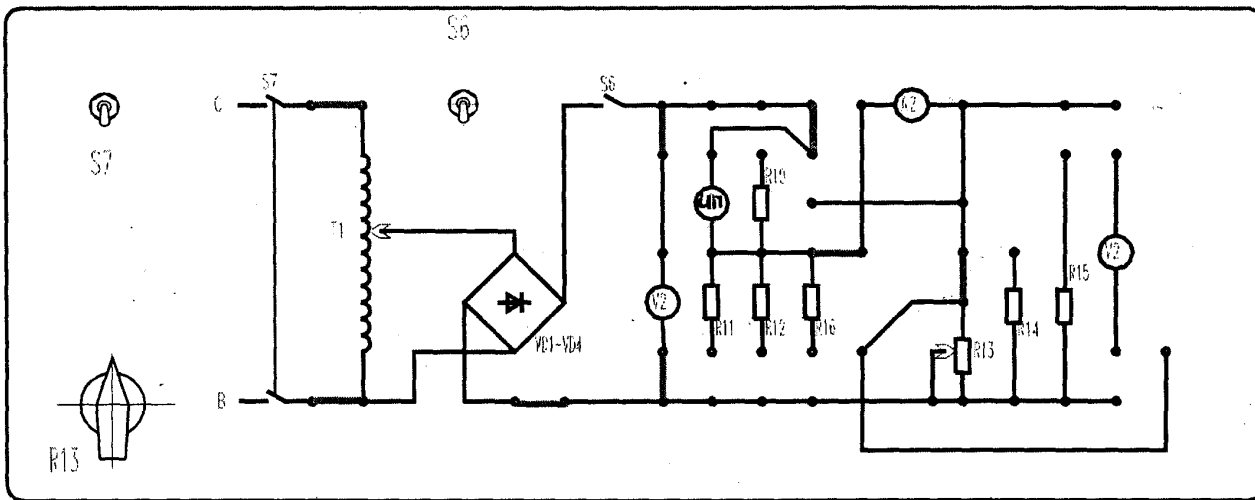


Схема проведения измерений:  
 ИП – контрольный амперметр; А2 – поверяемый прибор

6. Сделайте необходимое для расчетов количество замеров.

7. По окончании работы верните все аппараты в исходное состояние.

### **Обработка результатов измерений**

1. Вычислить по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого амперметра.

2. Вычислить приведенную погрешность поверяемого амперметра.

3. Определить класс точности поверяемого амперметра и сравнить его с классом точности, нанесенного на шкале поверяемого амперметра.

### **Контрольные вопросы**

1. Каким должно быть соотношение классов точности образцового и поверяемого амперметров?

2. На шкале измерительного прибора имеется обозначение 1,0. Что это значит?

3. Что понимается под поверкой средств измерений?

4. Прибор какого класса точности следует выбрать для поверки амперметра класса 1,5; 2,5?

5. Возможно ли проведение поверки амперметра класса 1,5 с помощью амперметра класса 0,2?

6. Напишите уравнение шкалы приборов магнитоэлектрической системы.

## Лабораторная работа № 2

### Измерение напряжений и токов в электрических цепях

**Цель работы:** изучение приборов и методов измерения токов и напряжений в электрических цепях.

**Приборы и оборудование:** регулируемый источник постоянного напряжения ВСП-30, генератор переменного тока типа ГЗ-34, вольтметр В7-21, комбинированный вольтметр-амперметр М-253, ампервольтметр Э504, магазин сопротивлений.

#### Общие сведения

Используемые в электро-радиотехнических устройствах токи и напряжения существенно различаются по своим характеристикам. Для постоянного тока (напряжения), т.е. тока, не изменяющегося во времени, исчерпывающими являются сведения о его абсолютной величине и направлении. Для адекватной характеристики переменных токов (напряжений) вводится значительно больше параметров, число которых зависит от формы электрического сигнала, рис. 2.1.

Переменный ток промышленной частоты имеет синусоидальную форму (рис. 2.1, *a*) и характеризуется мгновенным, среднеквадратическим (действующим) значениями, амплитудой и фазой.

$$i = I_m \sin(\omega t + \varphi), \quad (2.1)$$

где  $i$  и  $I_m$  – соответственно мгновенное и амплитудное значения тока;  $\omega$  – циклическая частота;  $t$  – время;  $\varphi$  – угол фазового сдвига.

Мгновенное значение тока  $i$  (или напряжения  $U$ ) наблюдают на экране осциллографа, среднеквадратическое значение измеряется соответствующим амперметром или вольтметром.

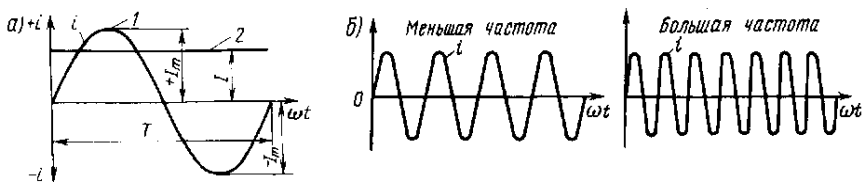


Рис. 2.1. Синусоидальная форма переменного тока

Амплитуда обычно вычисляется по измеренному среднеквадратическому значению.

Амплитудой напряжения  $U_m$  (тока  $I_m$ ) называют максимальное значение синусоидального напряжения. Среднеквадратическое (действующее) значение определяется как

$$U = \sqrt{\frac{I}{T} \int_0^T U^2 dt}, \quad (2.2)$$

где  $T = 2\pi/\omega$  – период переменного тока.

Для синусоидального напряжения (тока)

$$U = U_m / \sqrt{2} = 0,707U_m ; \quad I = I_m / \sqrt{2} = 0,707I_m . \quad (2.3)$$

Связь между амплитудой и среднеквадратическим значением при любой форме изменения мгновенных значений определяется формулой

$$U = U_m / K_A , \quad (2.4)$$

где  $K_A$  – коэффициент формы (для синусоидального напряжения (тока)  $K_A = \sqrt{2}$ ).

В практике измерений применяют также средневыпрямленное значение напряжения (тока)

$$U_{cp-в} = \frac{I}{T} \int_0^T |U| dt . \quad (2.5)$$

Для измерения токов и напряжений широко используются как аналоговые, так и цифровые измерительные приборы (ИП). Аналоговые приборы можно разделить на две группы: приборы непосредственной оценки и приборы сравнения (приборы уравнивающего преобразования).

Среди аналоговых приборов непосредственного преобразования выделяют электромеханические и электронные ИП. Структурная схема электромеханического измерительного прибора показана на рис. 2.2. Она включает в себя электромеханический измерительный преобразователь (магнитоэлектрического, электромагнитного, электродинамического, электростатического или другого типа), отсчетное устройство и входное устройство.



Рис. 2.2. Структурная схема электромеханического ИП

Электромеханический измерительный преобразователь преобразует измеряемую электрическую величину (ток, напряжение) в механическую (перемещение подвижной части механизма), доступную для восприятия органами чувств че-

ловека. Отсчетное устройство предназначено для отсчитывания значения перемещения подвижной части преобразователя и связанного с ним значения измеряемой величины. Входное устройство электромеханического ИП представляет собой обычный масштабный преобразователь (делитель, шунт, трансформатор и т.д.). Возможно использование в измерительной цепи преобразователей рода величины (термоэлектрического, выпрямительного и др.).

Существенно расширить возможность электромеханических ИП (повысить чувствительность, увеличить входное сопротивление, расширить диапазон рабочих частот и т.д.) позволяет использование в ИП электронных усилителей-преобразователей. Такие ИП называют аналоговыми электронными измерительными приборами, их упрощенная структурная схема показана на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Структурная схема аналогового электронного вольтметра

Для повышения точности измерения напряжения в цепях постоянного тока, особенно в тех случаях, когда величина измеряемого напряжения ( $U_x$ ) мала, как, например, ЭДС термоэлектрического преобразователя, или велико внутреннее сопротивление источника напряжения, применяют компенсационный метод измерения напряжения.

Сущность этого метода заключается в сравнении напряжения  $E_x$  с известным напряжением  $U_{эм}$ . В схеме на рис. 2.4.  $E_x$  сравнивается с напряжением, падающим на калибровочном потенциометре  $K_n$ . Напряжение  $U_{эм}$  в случае, когда  $E_x = U_{эм}$  определяется выражением

$$U_{эм} = E_x = I_{эм} R_{эм}, \quad (2.6)$$

где  $I_{эм}$  – эталонный источник тока.

При этом нуль-индикатор (НИ) регистрирует отсутствие тока в измерительной цепи и, следовательно, исключается методическая ошибка, обусловленная влиянием измерительного прибора на объект измерения.

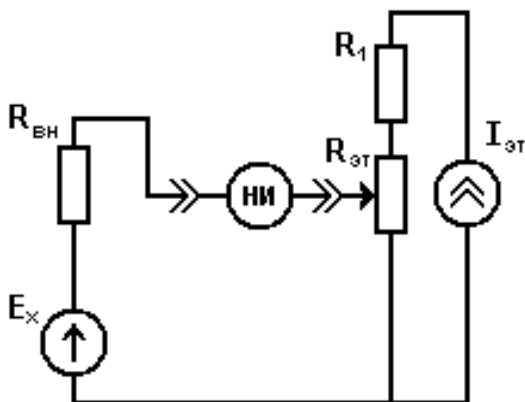


Рис. 2.4. Принципиальная схема измерения напряжения компенсационным методом

Цифровые измерительные приборы (ЦИП) – приборы, в которых измеряемая величина преобразуется в цифровой код, а затем в соответствии с цифровым кодом представляется на отсчетном устройстве в цифровой форме. ЦИП, как и анало-



говые ИП, делятся на приборы прямого преобразования и приборы сравнения. Структурная схема приборов первого типа представлена на рис. 2.5. Она включает в себя входное устройство, преобразующее измеряемую величину к виду, удобному для нормальной работы аналого-цифрового – преобразователя (АЦП). С выхода АЦП информация об измеряемой величине в виде цифрового кода поступает в буферное устройство, где осуществляется дальнейшая ее обработка (например, выполнение операций усреднения, изменения кода для согласования АЦП с индикатором и т.д.). Управление ЦИП осуществляется с помощью устройства управления.



Рис. 2.5. Структурная схема ЦИП прямого преобразования

Обладая всеми достоинствами аналоговых электронных измерительных приборов, ЦИП имеют существенные преимущества, например, более высокую точность измерений, удобное для оператора представление информации, автоматический выбор диапазона измерений и т.д.

При проведении практических измерений токов и напряжений желательно располагать предварительной информацией об измеряемой величине: напряжении, форме сиг-

нала, частоте и т.д. с тем, чтобы сделать правильный выбор измерительного прибора и предела измерений. Если информация об измеряемой величине минимальна, то следует начать измерения, установив предел измерений, соответствующий максимальному значению напряжения (тока); затем определить оптимальный предел, на котором и проводить измерения.

### Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с назначением и техническими данными используемых стандартных приборов, освоить приемы работы с ними.

2. Собрать схему, приведенную на рис. 2.6. По указанию преподавателя в качестве источника напряжения использовать стабилизированный источник питания типа ВСП-30 или генератор синусоидальных напряжений типа ГЗ-34; в качестве переменного резистора – магазин сопротивлений. В точках 1 и 2 измерить силу тока и напряжение  $U_{12}$ , используя для этого поочередно (в соответствующих режимах) измерительные приборы: Э504, В7-21. Измерения проводить в следующей последовательности.

3. В качестве источника  $E$  использовать источник постоянного тока ВСП-30, напряжение на котором установить равным 10 В.

4. Изменяя сопротивление  $R_1$  от 10000 до 100 Ом (промежуточные значения  $R_1 = 5000; 2000; 1000; 500; 200; 150; 110$  Ом), измерить зависимость силы тока в цепи от величины  $R_1$ .

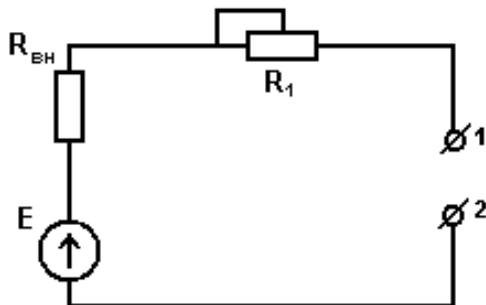


Рис. 2.6. Схема измерительной цепи:

$E$  – источник напряжения с внутренним сопротивлением  $r$ ;  
 $R$  – переменный резистор

5. Изменяя сопротивление  $R_1$  в последовательности, указанной в п.4, измерить зависимость напряжения  $U_{12}$  от величины  $R_1$ .

6. Подключить в качестве источника  $E$  генератор ГЗ-34, установив на нем частоту  $f = 1$  кГц и напряжение  $U = 1$  В. Установить сопротивление  $R_1 = 100$  Ом. К выводам 1 и 2 подключить вольтметр В7-21.

7. Изучить зависимость показаний ампервольтметра Э504 и вольтметра В7-21 от частоты. Измерения проводить при значениях  $f = 20; 40; 60; 100$  Гц; 1; 5; 10; 20; 50; 100; 150 и 200 кГц.

8. Провести измерения в соответствии с указаниями п. 7,  $R_1 = 100$  кОм.

9. Полученные результаты отразить в таблицах и в виде графиков соответствующих зависимостей.

10. По данным измерений  $I(R_1)$  определить внутреннее сопротивление источника постоянного тока.

## Контрольные вопросы

1. Основные типы электромеханических преобразователей. Принцип действия электромеханических преобразователей.
2. Особенности измерительных входных цепей ИП при измерении напряжений и токов.
3. Как расширить пределы измерения используемых в лабораторной работе ИП по напряжению и току?
4. Объясните полученные в эксперименте функциональные зависимости  $I(R_1)$ ,  $U(R_1)$  и  $U(f)$  их различия в случаях измерений различными ИП.
5. Как с помощью вольтметра измерить силу тока?
6. Чем определяется основная погрешность при измерениях вольтметром В7-21?
7. Перечислите и поясните основные величины, характеризующие переменный ток синусоидальной формы.
8. Поясните принцип действия вольтметра компенсационного типа.
9. Изобразите структурную схему вольтметра компенсационного типа для измерения напряжения синусоидальной формы.
10. Изобразите и поясните структурные схемы АЦП с время-импульсным преобразованием и поразрядным уравниванием.

### **Лабораторная работа № 3**

#### **Изучение параметров электрических сигналов с помощью электронного осциллографа**

**Цель работы:** ознакомление с принципом действия, метрологическими характеристиками осциллографов и основными методами осциллографических измерений напряжения, частоты и фазового сдвига, а также параметров импульсных сигналов. Получение практических навыков использования осциллографа для изучения параметров электрического сигнала.

**Приборы и оборудование:** осциллограф С1-67, генератор ГЗ-34, лабораторные макеты.

#### ***Общие сведения***

Электронный осциллограф – универсальный измерительный прибор, применяемый для визуального наблюдения и фотографирования электрических сигналов и измерения их параметров.

Принцип действия электронного осциллографа состоит в следующем. Сфокусированный электронный луч, проходя между горизонтально и вертикально отклоняющими пластинами  $X$  и  $Y$ , может отклоняться под действием напряжения, приложенного к пластинам перпендикулярно плоскости пластин. Попадая на экран, луч оставляет светящееся пятно, которое, перемещаясь по экрану в соответствии с законом подаваемого на пластины  $X$  и  $Y$  напряжения, формирует изображение.

В том случае, когда напряжение на горизонтально отклоняющих пластинах линейно изменяется в течение определенного промежутка времени (периода развертки  $T_p$ ), говорят, что осциллограф работает в режиме «линейной развертки». При этом на экране наблюдается изображение, соответствующее

щей форме напряжения, подаваемого на вертикальные пластины. Однако изображение будет устойчивым только в том случае, если период горизонтальной развертки ( $T_p$ ) и период сигнала ( $T_c$ ), отклоняющего луч в вертикальном направлении, являются кратными друг другу, т.е.  $T_p = n \cdot T_c$ , где  $n = 1, 2, 3, \dots$ , рис. 3.1.

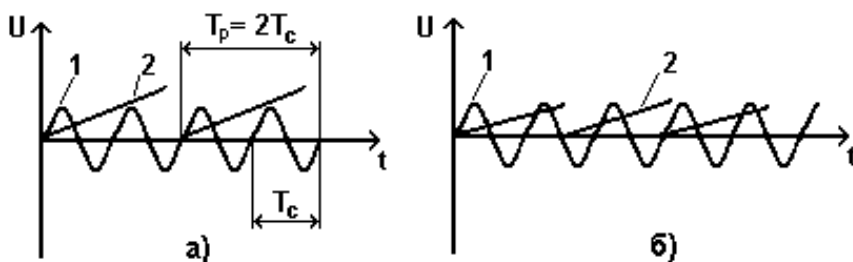


Рис. 3.1. Временные зависимости напряжений сигнала и развертки: а –  $T_p = n \cdot T_c$  ( $n = 2$ ); б –  $T_p \neq n \cdot T_c$

Кратность  $T_p$  и  $T_c$  достигается либо введением синхронизации от внешнего источника (внешняя синхронизация), либо самим напряжением сигнала (внутренняя синхронизация). Отметим, что в процессе синхронизации изменяется только период  $T_p$ , а скорость развертки остается неизменной величиной, задаваемой дискретно переключателем «ВРЕМЯ РАЗВЕРТКИ», проградуированным в единицах времени ( $\tau$ ) «пробега» лучом «ЕДИНИЦЫ ДЛИНЫ» экрана (обычно 1 см). Данным обстоятельством пользуются для определения периода  $T$  и частоты  $f$  исследуемого сигнала

$$T = l \cdot \tau; \quad f = 1/T = 1/l \cdot \tau, \quad (3.1)$$

где  $l$  – расстояние между двумя эквивалентными точками изображения периодического сигнала. Таким же образом проводят измерения других временных и динамических характеристик сигнала (например, длительности импульса, скорости нарастания или спада напряжения и т.д.).

Кроме линейной, на практике часто используют синусоидальную развертку. Она реализуется, когда на  $X$  и  $Y$  пластины подаются синусоидальные напряжения с частотами  $f_1$  и  $f_2$  соответственно:

$$U_x = U_x^0 \sin \omega_1 t;$$

и

$$U_y = U_y^0 \sin(\omega_2 t + \Delta\varphi), \tag{3.2}$$

где  $U_x^0$  и  $U_y^0$  – амплитуды напряжений, подаваемых на  $X$  и  $Y$  пластины осциллографа;  $\Delta\varphi$  – сдвиг фаз между  $U_x$  и  $U_y$ , имеющий смысл в том случае, когда  $\omega = 2\pi f$ .

Координаты луча ( $X$ ,  $Y$ ) на экране связаны с  $U_x$  и  $U_y$  через соответствующие коэффициенты чувствительности  $K_x$  и  $K_y$  ( $X = U_x K_x$  и  $Y = U_y K_y$ ) каналов осциллографа. Учитывая это и преобразуя уравнение (3.2) для случая  $\omega_1 \equiv \omega_2$ , можно получить выражение, описывающее траекторию луча:

$$\frac{X^2}{A^2} - \frac{2XY}{AB} \cos \Delta\varphi + \frac{Y^2}{B^2} = \sin^2 \Delta\varphi, \tag{3.3}$$

которое является уравнением эллипса, рис. 3.2 ( $A$  и  $B$  – максимальные значения отклонений луча в горизонтальном и вертикальном направлениях).

Очевидно, что максимальное отклонение луча по горизонтали  $A = U_x^0 K_x$ , а по вертикали  $B = U_y^0 K_y$ . В моменты времени, определяемые условиями  $\omega t = \pi n$  и  $\omega t = \pi(1/2 + n)$ , где  $n = 1, 2, \dots$ , луч пересекает координатные оси  $X$  и  $Y$  в точках  $\pm a = \pm A \cdot \sin \Delta\varphi$  и  $\pm b = \pm B \cdot \sin \Delta\varphi$  (рис 3.2).

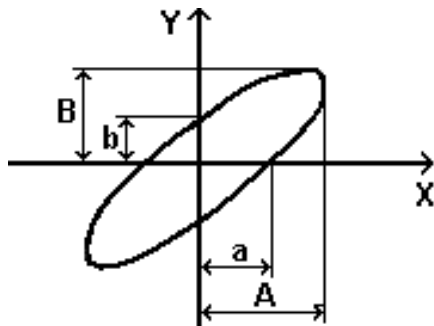


Рис. 3.2. Траектория луча осциллографа

Этим обстоятельством пользуются на практике для определения сдвига фаз между напряжениями, подаваемыми на  $X$  и  $Y$  каналы осциллографа:

$$\Delta\varphi = \pm \arcsin \frac{2b}{2B} = \pm \arcsin \frac{2a}{2A}. \quad (3.4)$$

Синусоидальную развертку можно также использовать для определения неизвестной частоты  $f_x$  путем сравнения ее с эталонной частотой  $f_0$  образцового генератора. Практическое применение нашли метод фигур Лиссажу и метод меток.

Измерение  $f$  с помощью фигур Лиссажу заключается в том, что на входы  $X$  и  $Y$  отклоняющих систем подается напряжение измеряемой  $f_x$  и образцовой  $f_0$  частот. При этом на



экране осциллографа наблюдается фигура, которая остается неподвижной, если отношение частот равно отношению целых чисел:  $f_x/f_0$  или  $f_0/f_x = n$ . Частный случай  $n = 1$  подробно рассмотрен выше).

Для нахождения отношения частот  $f_x/f_0$  (рис. 3.3) необходимо условно провести горизонтальную и вертикальную линии, которые пересекали бы фигуру, но не проходили через ее узлы. Число горизонтальных  $n_x$  и число вертикальных  $n_y$  пересечений находятся в соотношении  $n_x/n_y = f_x/f_0$ , откуда

$$f_x = f_0 \cdot (n_x/n_y). \quad (3.5)$$

Для фигуры, приведенной на рис. 3.3,  $f_x = 2f_0$ .

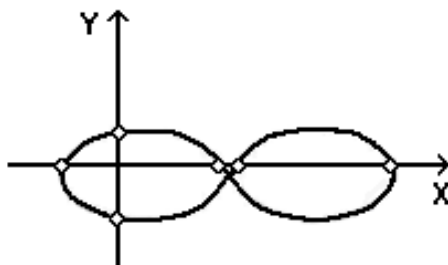


Рис. 3.3. Изображение фигуры Лиссажу

### Порядок выполнения работы

1. Проверить наличие заземления у стандартных приборов, используемых в работе. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю.

2. Включить стандартные приборы в сеть и дать им прогреться 15 – 20 мин.

3. Произвести калибровку осциллографа согласно инструкции по эксплуатации.

## Упражнение 1

### Визуальное наблюдение и измерение параметров электрического сигнала электронным осциллографом в режиме линейной развертки

1. Собрать схему в соответствии с рис. 3.4. На осциллографе установить режим непрерывной (линейной) развертки. Частоту сигнала на выходе генератора установить равной 1 кГц, а амплитуду примерно 1 В.

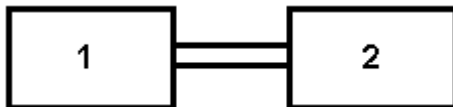


Рис. 3.4. Функциональная схема измерительной установки для упражнения 1: 1 – генератор ГЗ-34; 2 – осциллограф С1-67

2. Используя ручку дискретного переключателя УСИЛЕНИЕ, установить оптимальные размеры изображения по вертикали. Затем, изменяя время развертки ручкой ВРЕМЯ/СМ, получить на экране осциллограмму с кратностью в один или два периода напряжения генератора. Добиться устойчивости изображения, используя для этого ручки СТАБ и УРОВЕНЬ.

3. По осциллограмме определить размах, амплитуду, период и частоту наблюдаемого сигнала. При измерении амплитудных значений интервалов времени ручки главной регулировки УСИЛЕНИЕ и ДЛИТЕЛЬНОСТЬ должны быть повернуты в крайнее положение по часовой стрелке до щелчка.

4. Зарисовать осциллограмму на кальку. Указать время развертки, усиление канала  $Y$ , частоту, установленную на генераторе.

5. Собрать схему в соответствии с рис. 3.5.

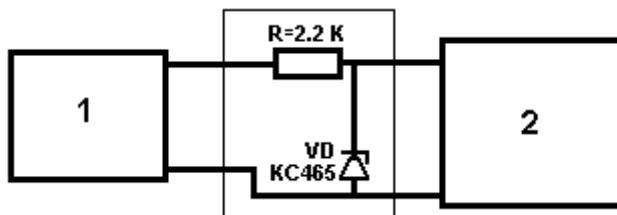


Рис. 3.5. Функциональная схема измерительной установки:  
1 – генератор ГЗ-34; 2 – осциллограф С1-67

6. Установить на выходе генератора напряжение с частотой 100 Гц и амплитудой 10 В.

7. Измерить следующие параметры импульсного сигнала (рис. 3.6):

а) амплитуду  $A$ ;

б) длительность импульса  $\tau$  (длительность импульса измеряется по уровню 0,9A);

в) период следования  $T$ ;

г) скважность  $Q = T/\tau$ ;

д) время нарастания  $t_n$  и время спада  $t_c$  импульса, т.е. время, за которое напряжение либо возрастает от 0,1 до 0,9, либо, наоборот, убывает от 0,9 до 0,1 от своего максимального значения.

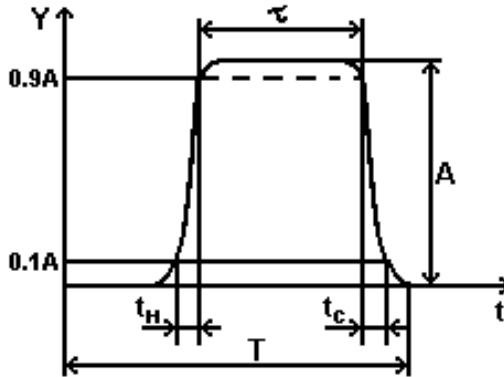


Рис. 3.6. Определение параметров импульсного сигнала

8. Зарисовать на кальку осциллограмму импульсного сигнала. Указать время развертки и усиление канала  $Y$ .

### Упражнение 2

#### Измерение фазового сдвига и частоты электрических сигналов осциллографическим методом

1. Выполнить пп. 1 – 3 предыдущего задания. Установить амплитуду сигнала на выходе генератора минимальной.
2. Собрать схему в соответствии с рис. 3.7.

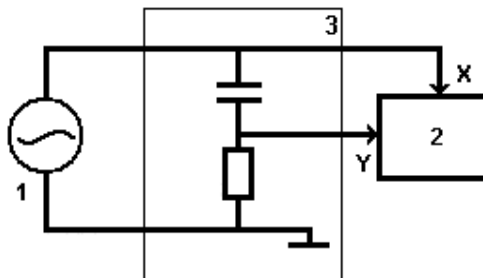


Рис. 3.7. Схема установки для выполнения упражнения «Измерение сдвига фаз»: 1 – генератор; 2 – осциллограф; 3 – лабораторный макет

3. Отключить генератор развертки осциллографа нажатием кнопки «ВХОД X»), ручками « $\updownarrow$ » и « $\leftrightarrow$ » установить световое пятно в центре и отрегулировать его яркость, используя для этого ручку ЯРКОСТЬ.

4. Увеличить напряжение на выходе генератора 1, сделав его таким, чтобы размах изображения по горизонтали был немного меньше размеров экрана. Частоту генератора установить равной 200 Гц. Используя ручку УСИЛЕНИЕ, получить оптимальные размеры изображения по вертикали.

5. Измерить величины максимального отклонения луча по горизонтали (А) и по вертикали (В), как показано на рис. 3.2. Определить размеры отрезков а и в, отсекаемых на координатных осях X и Y траекторией луча. По формуле (3.4) рассчитать сдвиг фаз  $\Delta\varphi$  между напряжениями, подаваемыми на входы «X» и «Y» осциллографа.

6. Последовательно, устанавливая частоту генератора равной 1000; 5000; 12000 и 20000 Гц, произвести измерения  $\Delta\varphi$ , а наблюдаемые осциллограммы зарисовать на кальку.

7. Построить график зависимости сдвига фаз от частоты по экспериментальным точкам вместе с зависимостью, рассчитанной по формуле

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{\omega RC},$$

полученной для схемы, изображенной на рис. 3.8, где  $R = 10$  кОм;  $C = 0,01$  мкФ.

8. Собрать схему согласно рис. 3.8.

9. Установить частоту сигнала образцового генератора 1 равной 1 кГц, а амплитуду такой, чтобы размах горизонтального отклонения луча был немного меньше ширины экрана.

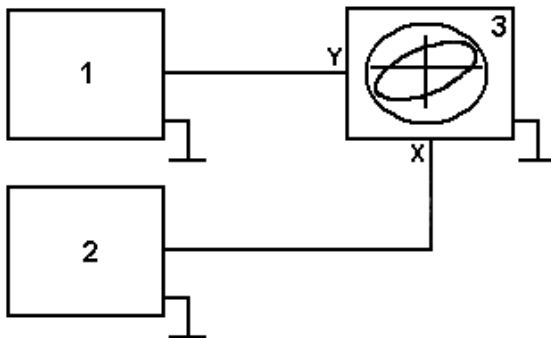


Рис. 3.8. Схема экспериментальной установки для определения частоты методом фигур Лиссажу: 1 – образцовый генератор; 2 – генератор «неизвестной» частоты; 3 - осциллограф

10. Используя либо ручку регулировки амплитуды выходного напряжения генератора 2, либо ручку УСИЛЕНИЕ осциллографа 3, получить оптимальные размеры осциллограммы.

11. Изменяя частоту генератора 2, получить на экране осциллографа устойчивые изображения траектории лучей, имеющих 1, 2, 3 точки пересечения, а также изображение эллипса. Зарисовать на кальку наблюдаемые осциллограммы.

12. Пользуясь формулой (3.5), определить частоту  $f_x$  «неизвестного» генератора 2. Сравнить полученное значение  $f_x$  со значением на шкале частот данного генератора.

## Контрольные вопросы

1. Схема универсального осциллографа и принцип его действия.
2. Основные источники погрешностей осциллографических методов измерений.
3. Основные виды осциллографических разверток.
4. Методики измерений амплитудных, частотных и временных параметров электрического сигнала в режиме линейной (непрерывной) осциллографической развертки.
5. С какой целью в технических характеристиках осциллографов приводят параметры входных цепей (сопротивление, емкость)?
6. Можно ли использовать осциллограф с верхней граничной частотой 1 МГц для определения длительности фронта импульса сигнала с длительностью  $10^{-6}$  с?
7. В чем разница между входной емкостью осциллографа и емкостью разделительного конденсатора при «закрытом» входе осциллографа? В каких случаях их следует учитывать?
8. Основные метрологические характеристики универсальных электронных осциллографов.
9. Основные виды осциллографических разверток.
10. Методы измерения фазовых сдвигов электрических сигналов.
11. Методы измерения частот электрических сигналов.
12. Чем определяется точность измерения частоты в методе фигур Лиссажу?
13. Чем определяется точность осциллографического метода измерения сдвига фаз?
14. Как, используя осциллограф, можно измерить: а) ток в электрической цепи; б) комплексное сопротивление участка электрической цепи?
15. В диапазоне каких частот применяются осциллографические методы определения сдвига фаз?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Горлов, М.И. Контроль качества, стандартизация и сертификация изделий электронной техники [Текст]: учеб. пособие / М.И. Горлов. – Воронеж: ВГТУ, 2002.

2. Измерение электрических и неэлектрических величин [Текст]: учеб. пособие / под ред. Н.Н. Евтихиева – М.: Энергоатомиздат, 1990.

3. Крылова, Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии [Текст]: учеб. пособие / Г.Д. Крылова. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003.

4. Кушнир, Ф.В. Электрорадиоизмерения [Текст] / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко. - Л.: Энергоатомиздат, 1983.

5. Лифшиц, И.М. Основы стандартизации, метрологии и сертификации [Текст]: учеб. пособие / И.М. Лифшиц. – М.: Юрайт, 2001.

6. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи [Текст]: учеб. пособие / под ред. Б.П. Хромого. – М.: Радио и связь, 1986.

7 Никифоров, А.Д. Метрология, стандартизация и сертификация [Текст]: учебник / А.Д.Никифоров, Т.А. Бакиев. – М.: Высшая школа, 2003.

8. Павлов, Л.П. Методы измерения параметров полупроводниковых материалов [Текст] / Л.П. Павлов. – М.: Высшая школа, 1986.

9. Физические методы исследования материалов твердотельной электроники [Текст]: учеб. пособие / С.И. Рембеза, И.И. Синельников, Е.С. Рембеза и др. – Ставрополь: Сев-КавГУ, 2002.



10. Серев, А.Г. Метрология, стандартизация, сертификация [Текст]: учеб. пособие / А.Г. Сергеев, М.В. Латышев, В.В. Терегеря. – М.: Логос, 2003.

11. Сретенский, В.Н. Метрологическое обеспечение производства приборов микроэлектроники [Текст] / В.Н. Сретенский. – М.: Радио и связь, 1988.

12. Тартаковский, Д.Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений [Текст]: учеб. пособие / Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов. – М.: Высшая школа, 2002.

## СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Поверка технического амперметра магнитоэлектрической системы	1
Лабораторная работа № 2. Измерение напряжений и токов в электрических цепях	9
Лабораторная работа № 3. Изучение параметров электрических сигналов с помощью электронного осциллографа	19
Библиографический список	30

## МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторных работ № 1 – 3  
по дисциплине

«Метрология, стандартизация  
и технические измерения»

для студентов направления 210100.62

«Электроника и нанoeлектроника»,

профиля «Микроэлектроника и твердотельная электроника»  
очной формы обучения

Составитель

Митрохин Виктор Иванович

В авторской редакции

Подписано к изданию 07.10.2014.

Уч.-изд. л. 1,9.

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный  
технический университет»

394026 Воронеж, Московский просп., 14