

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ
по метрологии

для студентов профиля «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
направления подготовки
11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи

СОДЕРЖАНИЕ

Правила внутреннего распорядка в лаборатории электрических измерений	3
Правила техники безопасности.....	3
Оформление отчетов о выполненных работах.....	4
Условные обозначения на шкалах приборов.....	7
Обозначение приборов на электрических схемах.....	10
Лабораторная работа №1 Поверка рабочих приборов.....	13
Лабораторная работа №2 Обработка результатов косвенных измерений....	21
Лабораторная работа №6 Измерительный мост постоянного тока.....	28
Лабораторная работа №8 Электронно-лучевой осциллограф.....	35

ПРАВИЛА ВНУТРЕННЕГО РАСПОРЯДКА В ЛАБОРАТОРИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

1. Лабораторные работы выполняются в соответствии с графиком лабораторных занятий, который доводится до студентов в начале семестра. Занятия проводятся точно по расписанию, нельзя опаздывать и преждевременно уходить с занятий.

2. К лабораторным работам допускаются только студенты, усвоившие правила техники безопасности.

3. К каждому занятию в лаборатории студенты должны быть подготовлены, иметь отчет о предыдущей работе, выполненный по установленной форме, и заготовку чернового протокола (схемы, таблицы для заполнения) по текущей работе. Студенты, недостаточно подготовленные к работе или не имеющие отчета, к работе не допускаются.

4. Лабораторные работы выполняются бригадами в составе, как правило, двух – трех человек.

5. При выполнении лабораторных работ требуется неукоснительно соблюдать правила техники безопасности.

6. Все собранные схемы должны быть проверены преподавателем. После пересоединений схема также должна быть проверена. Включать схему без проверки недопустимо.

7. Во время лабораторных работ в лаборатории должны поддерживаться надлежащий порядок и деловая обстановка.

8. В процессе выполнения работы необходимо аккуратно вести черновые протоколы.

9. Все пересоединения в схеме или полную ее разборку можно выполнять только с разрешения преподавателя после проверки правильности полученных результатов. В случае их неправильности работу следует повторить. По окончании работы студенты должны получить пометку в черновом протоколе о выполнении работы.

10. Студенты должны бережно обращаться с приборами и оборудованием лаборатории и нести материальную ответственность в случае их порчи. Запрещается делать надписи мелом, чернилами или карандашами на столах, приборах, стендах и оборудовании.

11. Пропущенные работы необходимо отработать у преподавателей, ведущих занятия в данной группе, в соответствии с графиком отработок.

12. Студенты, нарушившие правила внутреннего распорядка, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ

1. Не приступать к работе, не ознакомившись с рабочим местом.

2. Перед сборкой схемы убедиться в отсутствии напряжения на выводах автомата питания.

3. Все соединения делать под зажимами без скруток, наложения и т.д.

4. Перед включением схемы все регулирующие устройства (реостаты, автотрансформаторы) установить в положения, которые обеспечивают наименьший ток в цепи.

5. В момент включения и в процессе регулирования наблюдать за показаниями приборов схемы. Не допускать зашкаливания приборов.

6. Все пересоединения в схеме делать только при выключенных автоматах питания.

7. Запрещается прикасаться к неизолированным частям приборов и аппаратов, находящихся под напряжением.

8. В процессе работы не оставлять без наблюдения установку, находящуюся под напряжением.

9. После выполнения измерительных экспериментов выключить питание схемы.

10. Не загромождать рабочее место излишними приборами, аппаратами, соединительными проводами и другими предметами.

11. В случае аварии на рабочем месте немедленно выключить автомат питания на рабочем столе и сообщить преподавателю.

12. При попадании кого-либо под напряжение быстро выключить автомат питания либо аварийную кнопку на силовом щите и оказать помощь пострадавшему.







ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТОВ О ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТАХ

Результаты лабораторных работ, выполняемых в лаборатории, оформляются в виде отчетов единого образца индивидуально каждым студентом. Отчет выполняется на листах формата А4 (размер 210x297 мм), как правило, с одной стороны листа, шрифтом черного или синего цвета. Допускается выполнение отчета с помощью компьютера.

В отчете обязательно отражаются разделы «Цель работы», «Оборудование и приборы» с перечнем использованных приборов, «Содержание работы», «Схемы испытаний», «Результаты измерений и вычислений», «Анализ полученных результатов и краткие выводы».

Необходимые схемы, рисунки, графики вычерчиваются аккуратно с применением чертежных принадлежностей. Все условные графические обозначения в электрических схемах должны соответствовать ГОСТу. Все схемы, таблицы, рисунки, нумеруются и снабжаются наименованием. Если результаты вычислений представляются таблицей, приводятся примеры расчетов для одной строки таблицы. Формулы записываются в буквенном виде, затем подставляются данные и приводится результат вычисления с указанием единиц величин. Все единицы физических величин выражаются в СИ. Графики выполняются в масштабе с указанием размерности по осям и нанесением экспериментально полученных точек. На графиках, отражающих закономерную зависимость, экспериментальные точки соединяются плавной кривой. При этом линия не обязательно должна проходить через все точки, т.к. некоторые из них из-за неточности измерений могут выпадать.

Пример оформления первого листа отчета

(группа)	<i>Отчет о лабораторной работе №1 Поверка рабочих приборов</i>				<i>Петров И.И.</i>																																																																						
<p>1. Цель работы:</p> <p style="margin-left: 40px;"><i>Ознакомление с методикой поверки технических амперметров и вольтметров и определение их основных характеристик.</i></p> <p>2. Оборудование и приборы:</p> <p>Таблица 1.0 – Перечень использованных приборов</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">Наименование</th> <th rowspan="2">Тип</th> <th rowspan="2">Заводской номер</th> <th colspan="2">Система</th> <th rowspan="2">Класс точности</th> <th rowspan="2">Род тока</th> <th rowspan="2">Диапазон измерения</th> <th rowspan="2">Цена деления</th> <th rowspan="2">Рабочее положение</th> <th rowspan="2">Испытательное напряжение, кВ</th> </tr> <tr> <th>Название</th> <th>Условное обозначение</th> </tr> <tr> <td><i>Амперметр</i></td> <td><i>Э378</i></td> <td><i>34101</i></td> <td><i>ЭМ</i></td> <td></td> <td><i>1,5</i></td> <td><i>~</i></td> <td><i>1–5 А</i></td> <td><i>0,2 $\frac{A}{дел}$</i></td> <td></td> <td><i>2</i></td> </tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>...</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> </table>								Наименование	Тип	Заводской номер	Система		Класс точности	Род тока	Диапазон измерения	Цена деления	Рабочее положение	Испытательное напряжение, кВ	Название	Условное обозначение	<i>Амперметр</i>	<i>Э378</i>	<i>34101</i>	<i>ЭМ</i>		<i>1,5</i>	<i>~</i>	<i>1–5 А</i>	<i>0,2 $\frac{A}{дел}$</i>		<i>2</i>										
Наименование	Тип	Заводской номер	Система		Класс точности	Род тока	Диапазон измерения				Цена деления	Рабочее положение							Испытательное напряжение, кВ																																																								
			Название	Условное обозначение																																																																							
<i>Амперметр</i>	<i>Э378</i>	<i>34101</i>	<i>ЭМ</i>		<i>1,5</i>	<i>~</i>	<i>1–5 А</i>	<i>0,2 $\frac{A}{дел}$</i>		<i>2</i>																																																																	
...																																																																											
...																																																																											
...																																																																											
...																																																																											
<p>3. Содержание работы:</p> <p style="margin-left: 40px;"><i>3.1 Определение основных погрешностей.</i></p> <p style="margin-left: 40px;"><i>3.2 Определение времени установления показаний.</i></p> <p style="margin-left: 40px;"><i>3.3 Определение потребляемой мощности.</i></p> <p style="margin-left: 40px;"><i>3.4 Определение сопротивления изоляции прибора.</i></p>																																																																											
Разраб.	<i>Петров И.</i>	<i>Лабораторная работа №1</i>				Группа	Листов																																																																		
Провер.	3																																																																		
	Фамилия	Подпись	Дата																																																																								

Содержание последующих листов отчета

4. Схемы испытаний
...
5. Результаты измерений и вычислений
...
6. Построение графических зависимостей
...
7. Анализ полученных результатов и краткие выводы
...

Лист
2

Особое внимание студенты должны уделить составлению выводов по результатам выполненной работы, где требуется сопоставить результаты экспериментальных исследований с известными теоретическими соотношениями изучаемого курса, метрологическими требованиями к средствам измерений, а также указать причины наблюдаемых отклонений.

Отчет, составленный с соблюдением всех перечисленных требований, вместе с черновым протоколом по работе предоставляется на следующем лабораторном занятии.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ НА ШКАЛАХ ПРИБОРОВ

Согласно ГОСТ 22261-94 на электроизмерительные приборы должны быть нанесены наименование и тип прибора, товарный знак завода-изготовителя, заводской номер и год выпуска, а также другие обозначения, указывающие основные метрологические характеристики, условия эксплуатации и др.

Обозначение типа электроизмерительного прибора состоит из буквенного индекса и следующих за ним цифр. Буквенный индекс характеризует принцип действия (систему прибора).

Для основных типов аналоговых измерительных приборов приняты следующие значения буквенных индексов:

М – приборы магнитоэлектрической системы;

Э – электромагнитные приборы;

Д – электродинамические и ферродинамические приборы;

С – приборы электростатической системы, а также электронно-лучевые осциллографы;

И – индукционные приборы;

Ц – выпрямительные приборы;

Ф – электромеханические приборы с электронными усилителями;













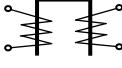
Н – самопишущие приборы.

Первая цифра (или две цифры, если первая из них 4), следующая непосредственно за буквенным индексом, служит для обозначения завода-изготовителя или организации, разработавшей прибор.

Основные условные обозначения по ГОСТ 23217-78, наносимые на шкалы приборов, приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов

Наименование	Условное обозначение
1	2
1. Род тока	
Ток постоянный	—
Ток переменный (однофазный)	~
Ток постоянный и переменный	≈
Ток трехфазный переменный (общее обозначение)	≈≈

1	2
2. Безопасность	
Напряжение испытательное 500 В	
Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)	
Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением	
3. Используемое положение	
Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	
Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	
4. Общие условные обозначения	
Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
Логометр магнитоэлектрический	
Прибор магнитоэлектрический с подвижным магнитом	
Прибор электромагнитный	
Логометр электромагнитный	

1	2
Прибор электродинамический	
Прибор ферродинамический	
Логометр электродинамический	
Логометр ферродинамический	
Прибор электростатический	
Прибор индукционный	
Прибор магнитоэлектрический с выпрямителем (выпрямительный прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с неизолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с изолированным термопреобразователем (термоэлектрический прибор)	
Прибор магнитоэлектрический с электронным преобразователем (электронный прибор)	
Экран электростатический	
Экран магнитный	
Зажим для заземления	
Корректор	
Особые условия эксплуатации (ссылка на инструкцию к прибору)	

1	2
5. Классы точности	
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения измеряемой величины, (определяет допустимое значение основной приведенной погрешности) (пример)	1,5
Класс точности, выраженный в процентах от нормирующего значения, определяемого длиной шкалы (определяет допустимое значение основной приведенной погрешности для приборов с резко неравномерной шкалой) (пример)	$\nabla 1,5$
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (определяет допустимое значение основной относительной погрешности) (пример)	$\bigcirc 1,5$
Класс точности, выраженный в процентах от значения измеряемой величины (определяет допустимое значение основной относительной погрешности при соизмеримых аддитивной и мультипликативной погрешностях) (пример)	0,5/0,2

Условные обозначения позволяют определить основные характеристики приборов, поэтому перед выполнением каждой лабораторной работы условные обозначения всех используемых в ней средств измерений необходимо тщательно изучить и занести в таблицу приборов (см. табл. 1.0 в примере оформления отчета на стр. 5).

ОБОЗНАЧЕНИЯ ПРИБОРОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СХЕМАХ

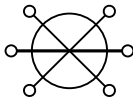
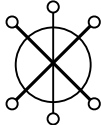


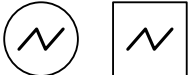
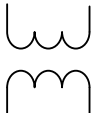
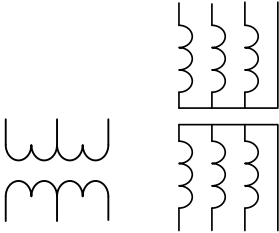


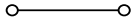


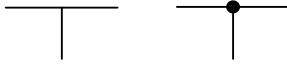

Для указания назначения электроизмерительного прибора внутри его графического обозначения помещают условные графические, а также буквенные обозначения единиц измерения или измеряемых величин. Условные обозначения электроизмерительных приборов в соответствии с *ГОСТ Р МЭК 60617-ДВ-12М-2015 Графические символы для схем* приведены в табл. 2.

Рядом с графическим обозначением прибора может быть приведено его буквенное обозначение, в частности: РА – амперметр, РV – вольтметр, РW – ваттметр, РR – омметр, РF – частотомер, РI – счетчик активной энергии, РK – счетчик реактивной энергии.

Таблица 2 – Графические символы для схем

Наименование	Графическое обозначение
1	2
Прибор электроизмерительный показывающий	
Прибор электроизмерительный регистрирующий	
Прибор электроизмерительный интегрирующий	
Прибор электроизмерительный показывающий и регистрирующий	
Амперметр, миллиамперметр, микроамперметр	 A mA μ A
Вольтметр, милливольтметр, микровольтметр	 V mV μ V
Вольтметр с цифровым отсчетом	
Гальванометр	
Омметр, мегаомметр	Ω M Ω
Ваттметр	
Варметр	
Частотомер	
Фазометр, измеряющий сдвиг фаз	
Фазометр, измеряющий коэффициент мощности	

Продолжение таблицы 2

1	2
Фазометр однофазный	
Фазометр трехфазный	
Счетчик активной электрической энергии	
Счетчик реактивной электрической энергии	
Осциллограф	
Измерительный трансформатор напряжения однофазный	
Измерительный трансформатор напряжения трехфазный	
Измерительный трансформатор тока	
Обмотка токовая	
Обмотка напряжения	
Наличие электрического соединения	
Отсутствие электрического соединения	
Т-образное соединение	
Заземление	

Лабораторная работа №1

ПОВЕРКА РАБОЧИХ ПРИБОРОВ

Цель работы: ознакомление с методикой поверки рабочих амперметров и вольтметров и определение их основных характеристик.

Оборудование и приборы

В работе используются поверяемые амперметры и вольтметры магнитоэлектрической или электромагнитной систем класса точности 1,5, эталонные приборы магнитоэлектрической или электродинамической систем класса точности 0,2 или 0,5, реостаты, понижающий трансформатор напряжения (в схеме поверки на переменном токе), секундомер, мегаомметр, милливольтметр (при поверке амперметра) или миллиамперметр (при поверке вольтметра).

Содержание работы

1. Определение основных погрешностей.
2. Определение времени установления показаний.
3. Определение потребляемой прибором мощности.
4. Определение сопротивления изоляции прибора.

Пояснения к работе

Средства измерений применяются во всех отраслях народного хозяйства, в самых различных условиях и всегда должны быть готовы к использованию по назначению. В процессе пользования электроизмерительными приборами точность и стабильность их показаний в силу изменения ряда факторов (упругости пружинок, поля постоянного магнита, добавочных и шунтирующих сопротивлений, параметров и характеристик электронных элементов и т. д.) не остаются постоянными. Однако любые измерения имеют смысл только тогда, когда обеспечивается их единство, т.е. результаты измерений, проведенных на разных предприятиях, в разных учреждениях и лабораториях, должны быть сопоставимыми, точными и достоверными. Для этого средства измерений должны иметь требуемые метрологические характеристики.

Средством подтверждения пригодности приборов для проведения измерений является их поверка. *Поверка средств измерений – это комплекс операций, которые выполняются для подтверждения соответствия средств измерений установленным метрологическим требованиям.*

При поверке определяются наиболее важные характеристики приборов, такие как основные погрешности, быстродействие (время установления показаний), прочность изоляции и другие. По результатам поверки делается вывод о соответствии средства измерений установленным метрологическим требованиям и пригодности для дальнейшего использования.

Поверка измерительных средств может быть периодической и внеочередной. Периодическая поверка проводится через определенные интервалы времени, которые установлены в нормативных документах для каждого типа средств измерений. Внеочередная поверка проводится после длительного хранения, утери документальных свидетельств предыдущей поверки, при осуществлении государственного метрологического надзора (инспекционная поверка) и в некоторых других случаях.

В областях деятельности, входящих в сферу государственного регулирования обеспечения единства измерений, периодическая поверка является *обязательной*. Обязательной поверке подлежат измерительные приборы, используемые, например, в таких областях, как энергетика, природоохранная деятельность, охрана труда и безопасных условий производства, здравоохранение, государственные учетные операции, электросвязь и ряд других, определенных законом «Об обеспечении единства средств измерений». Это те области деятельности, где к точности предъявляются особенно высокие требования, поскольку недостаточная достоверность результатов измерений здесь может иметь особенно негативные последствия. И где, поэтому, допускается применение только должным образом поверенных измерительных приборов.

Поверка выполняется органами государственной метрологической службы или же другими уполномоченными на то организациями и компаниями.

Рассмотрим основные метрологические характеристики электроизмерительных приборов, определяемые при поверке.

1. Основные погрешности

В зависимости от назначения, измерительные приборы подразделяются на эталонные и рабочие. Рабочие приборы применяют для выполнения рядовых технических измерений. Эталонные приборы имеют высокий класс точности и используются для особо ответственных измерений, а также для поверки рабочих приборов.

Результат измерения физической величины, независимо от того, какими бы приборами не производились измерения и как бы тщательно они не выполнялись, всегда отличаются от действительного значения на некоторую величину, называемую погрешностью измерения.

Для оценки погрешности используют следующие числовые оценки.

1. *Абсолютная погрешность* прибора Δ – это разность между показанием прибора X_{Π} и действительным значением X измеряемой величины, т. е.

$$\Delta = X_{\Pi} - X . \quad (1.1)$$

2. *Относительная погрешность* прибора δ представляет собой отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta = \frac{X_{\Pi} - X}{X} 100\% = \frac{\Delta}{X} 100\% . \quad (1.2)$$

3. *Приведенная погрешность* γ – есть выраженное в процентах отношение абсолютной погрешности Δ к нормирующему значению X_H :

$$\gamma = \frac{X_{\Pi} - X}{X_H} 100\% = \frac{\Delta}{X_H} 100\% . \quad (1.3)$$

Нормирующим значением называется условно принятое значение, которое в приборах с односторонней шкалой обычно равно верхнему пределу измерений.

Погрешность измерения может не зависеть от значения измеряемой величины или изменяться при изменении последней. Постоянную составляющую погрешности измерения называют *аддитивной* погрешностью, а переменную составляющую, пропорциональную измеряемой величине, *мультипликативной* погрешностью.

Наличие трения в опорах, износ кернов, гистерезис магнитных материалов и другие причины приводят к вариациям в показаниях прибора. *Вариация показаний* прибора – это наибольшая возможная разность показаний прибора при одном и том же значении измеряемой величины. Она определяется при плавном подходе стрелки к испытуемой отметке шкалы при движении ее первый раз от начальной, а второй раз от конечной отметок шкалы.

Значение погрешности зависит от условий измерения (температуры, давления, влажности и т. п.). Погрешность при нормальных условиях эксплуатации прибора называют *основной*, а погрешность, обусловленную отклонением внешних условий от нормальных значений, – *дополнительной*.

Наибольшая погрешность, при которой прибор может быть признан годным и допущен к применению, называется *пределом допустимой погрешности*. Для большинства электрических средств измерений, используемых в статическом режиме, пределы допускаемых погрешностей нормируют. Основные способы нормирования допускаемых погрешностей установлены ГОСТ 8.401-80.

Согласно ГОСТ 8.401-80 приборам присваивается определенный класс точности. *Класс точности* – это обобщенная характеристика прибора, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами прибора, влияющими на точность.

Способ обозначения класса точности определяется характером зависимости погрешностей прибора от значения измеряемой величины.

У большинства показывающих стрелочных и самопишущих приборов преобладает аддитивная составляющая погрешности, т. е. $\Delta \approx const$. Следовательно, и $\gamma \approx const$, а относительная погрешность этих приборов возрастает с уменьшением измеряемой величины. Нормировать целесообразно погрешность, значение которой в диапазоне измерения меняется

незначительно. Поэтому класс точности для этих приборов устанавливается по допустимой приведенной погрешности и выражается одним числом.

Число, обозначающее класс точности таких приборов, определяет предел допускаемой приведенной основной погрешности. Например, для прибора класса 0,2 значение наибольшей приведенной основной погрешности не должно превышать $\pm 0,2\%$.

Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой (например, омметров) нормирующее значение X_H , по которому рассчитывают приведенную погрешность, принимают равным всей длине шкалы или ее части, соответствующей диапазону измерений. Класс точности таких приборов обозначают одним числом, отчерченным снизу уголком, например, $\underline{1,0}$.

Имеются средства измерений, у которых погрешность измерения меняется пропорционально измеряемой величине, т. е. преобладает мультипликативная погрешность и $\delta \approx const$. Для обозначения класса точности в этом случае используется одно число, помещенное в кружок, например, $\textcircled{2,0}$. Класс точности здесь определяет предел допускаемой относительной основной погрешности, в данном случае $\pm 2,0\%$.

Если же аддитивная и мультипликативная погрешности соизмеримы (как у цифровых приборов), то класс точности обозначается в виде двух чисел, разделенных дробной чертой, например, 1,0/0,5. При этом также нормируется предел допускаемой относительной основной погрешности, только эта погрешность вычисляется по формуле:

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_H}{X} - 1 \right) \right], \quad (1.4)$$

где c – число над дробной чертой в обозначении класса точности;

d – число под дробной чертой.

Кроме основных погрешностей, для каждого класса точности прибора ГОСТ регламентируются вариация показаний, дополнительная погрешность (или изменение показаний прибора от разных внешних факторов), иногда порог чувствительности. Так, для большинства амперметров предел допускаемой вариации показаний равен пределу допускаемой основной погрешности.

Соответствие классу точности устанавливается путем определения основных погрешностей, т. е. погрешностей при нормальных условиях применения. Основные погрешности обычно определяют методом сличения, при котором показания поверяемого рабочего прибора сравниваются с показаниями эталонного прибора. Точность эталонного прибора должна превышать точность поверяемого не менее чем в 3 раза. В этом случае погрешностью эталонного прибора можно пренебречь, а его показания принимаются за действительное значение измеряемой величины.

В качестве эталонных на постоянном токе применяются приборы магнитоэлектрической системы, на переменном токе – электродинамической.

2. Время установления показаний

Быстродействие стрелочных приборов характеризуется временем установления показаний, под которым понимают промежуток времени от момента изменения измеряемой величины до того момента, когда стрелка прибора удаляется от установившегося положения на величину, не превышающую 1% длины шкалы.

В соответствии с ГОСТ для абсолютного большинства аналоговых приборов время установления показаний не должно превышать 4 с. Исключение составляют термоэлектрические и электростатические приборы, для которых наибольшее время установления показаний не превышает 6 с.

Вместе с тем промышленностью выпускаются отдельные виды приборов, у которых для уменьшения габаритов и стоимости измерительного механизма отсутствует принудительное успокоение колебаний подвижной части. Вследствие этого время установления показаний в этих приборах существенно больше.

3. Потребляемая мощность

Одним из важных показателей измерительного прибора является величина потребляемой им мощности, хотя этот параметр не нормируется ГОСТ. При включении электроизмерительного прибора в цепь, находящуюся под напряжением, прибор потребляет от этой цепи некоторую мощность. В большинстве случаев эта мощность незначительна с точки зрения экономии электроэнергии. Но при измерении в маломощных цепях в результате потребления мощности может изменяться режим работы цепи, что приведет к увеличению погрешности измерения.

Мощность, потребляемую амперметром, определяют при номинальном токе прибора с помощью подключенного к его зажимам вольтметра. Вольтметр для измерения падения напряжения на зажимах амперметра должен иметь достаточно малый предел измерения и большое внутреннее сопротивление. Наиболее пригодны для этой цели электронные, цифровые или выпрямительные вольтметры.

Потребляемую амперметром мощность находим по формуле:

$$P_A = I_H^2 R_{np}, \quad (1.5)$$

где I_H – предельный ток амперметра;

R_{np} – внутреннее сопротивление поверяемого прибора, вычисленное по показаниям амперметра и вольтметра.

Мощность, потребляемую вольтметром, определяют при номинальном напряжении поверяемого вольтметра с помощью включенного последовательно с ним амперметра, который должен иметь достаточно малый предел измерения и малое внутреннее сопротивление.

Потребляемую вольтметром мощность находим по формуле:

$$P_v = \frac{U_H^2}{R_{np}}. \quad (1.6)$$

4. Сопротивление изоляции прибора

В соответствии с ГОСТ 22261-82 сопротивление изоляции между корпусом и изолированными по постоянному току электрическими цепями при номинальных условиях температуры и влажности должно быть не менее 40 МОм при рабочих напряжениях до 1000 В.

Измерение сопротивления изоляции производится мегаомметром с номинальным напряжением 500 В.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с приборами, применяемыми в настоящей работе, записать их паспортные данные в таблицу приборов (см. табл. 1.0 в примере оформления отчета).

2. Собрать схему поверки, указанную преподавателем (рис. 1.1 а, б, в). На рисунке: A_{Π} , V_{Π} – поверяемый прибор, A_0 , V_0 – эталонный прибор.

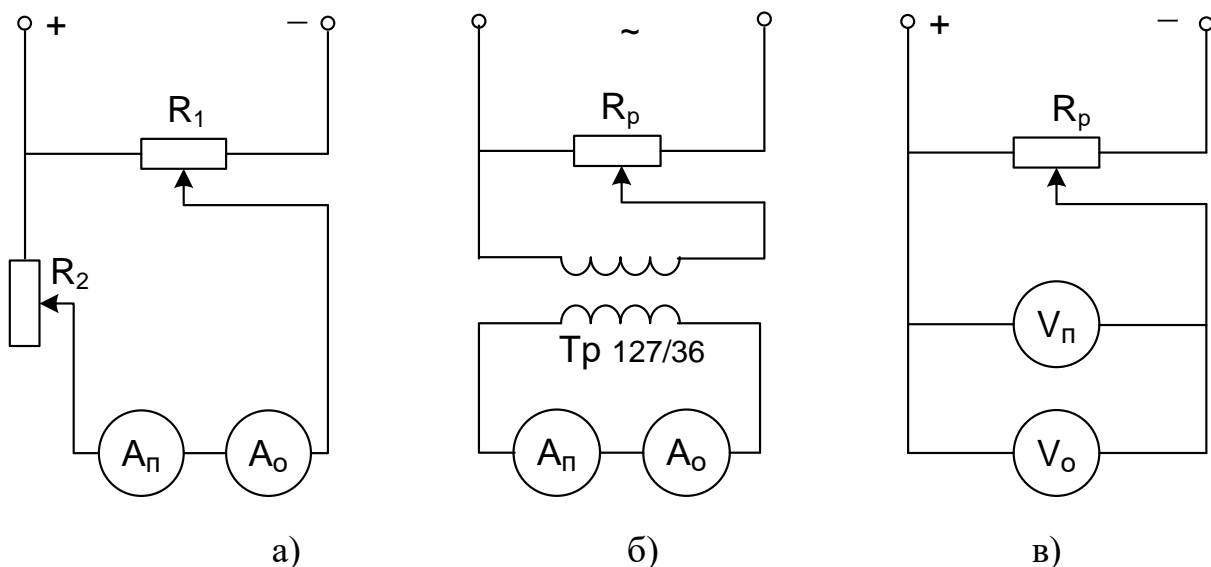


Рис. 1.1 – Схемы поверки

а) амперметра на постоянном токе; б) амперметра на переменном токе; в) вольтметра на постоянном токе.

3. Подать напряжение на схему поверки. Перемещая движок реостата, плавно переместить стрелку прибора от нулевого показания до максимального и обратно и убедиться в отсутствии затирания стрелки.

4. Прогреть прибор номинальным током. После выключения схемы проверить, находится ли указатель на нулевой отметке шкалы. В случае

необходимости с помощью корректора установить указатель на нулевую отметку.

5. Указатель поверяемого прибора установить последовательно на всех оцифрованных отметках шкалы: сначала при возрастании измеряемого тока (напряжения) от начального до наибольшего значения диапазона измерения, и, затем, по тем же точкам при убывании от наибольшего до начального значения. При этом необходимо следить за тем, чтобы указатель подходил к числовой отметке только с одной стороны. По эталонному прибору определить действительное значение измеряемой величины на этих отметках.

6. Результаты наблюдений и вычислений погрешностей записать в табл.

1.1. Вариацию показаний амперметра $\gamma_{вар}$ и поправку вычислить по формулам:

$$\gamma_{вар} = \frac{I_{0\text{возр}} - I_{0\text{убыв}}}{I_H} 100\% ; ; \quad (1.7)$$

$$-\Delta = I_0 - I_{II} . \quad (1.8)$$

Вариация показаний и поправка вольтметра определяются аналогично.

При вычислении приведенной погрешности и поправки для каждой пары абсолютных погрешностей выбирать большее значение.

Таблица 1.1 – Расчет основных погрешностей

Показания поверяемого амперметра, I_{II} , А	Показания образцового амперметра, А		Абсолютная погрешность, А		Относительная погрешность, %		Приведенная погрешность, γ , %	Вариация показаний, $\gamma_{вар}$, %	Поправка $-\Delta$, А
	$I_{0\text{возр}}$	$I_{0\text{убыв}}$	$\Delta_{возр}$	$\Delta_{убыв}$	$\delta_{возр}$	$\delta_{убыв}$			

Примечание. При проверке вольтметра таблица составляется аналогично.

7. Определить время установления показаний поверяемого прибора на числовой отметке в середине шкалы.

Включить одновременно схему и секундомер, выключить секундомер в момент времени, когда амплитуда колебаний стрелки станет менее 1% длины шкалы. Опыт повторить три раза. Результаты наблюдений и вычислений записать в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Определение характеристик прибора

Время установления показаний, с				Сопrotивление и потребляемая мощность поверяемого прибора				Сопrotивление изоляции, МОм
t_1	t_2	t_3	t_{cp}	I , А	U , В	R_{np} , Ом	P_{np} , Вт	

8. Методом амперметра и вольтметра при номинальном токе поверяемого прибора измерить его сопротивление. Рассчитать потребляемую мощность прибора. Результаты наблюдений и расчетов записать в табл. 1.2.

9. Измерить сопротивление изоляции поверяемого прибора мегаомметром. Зажим «линия» мегаомметра соединить с одним из зажимов поверяемого прибора, а зажим «земля» – с корпусом прибора. Вращая равномерно ручку генератора мегаомметра со скоростью 90-120 об/мин, произвести отсчет по шкале МОм.

Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схема поверки прибора.
3. Таблицы результатов измерений и вычислений.
4. График поправок (экспериментальные точки на графике соединить прямыми линиями).
5. Анализ полученных результатов и вывод об их соответствии требованиям ГОСТ.
6. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. С какой целью производится периодическая поверка приборов? Какие характеристики определяются при поверке?
2. Как рассчитываются абсолютные, относительные и приведенные погрешности?
3. Дайте определение аддитивной и мультипликативной погрешностей.
4. Дайте определение основной и дополнительной погрешностей.
5. Что называется классом точности средств измерений? Какие имеются способы установления класса точности электроизмерительных приборов?
6. Класс точности прибора 1.5. Что определяет это число?
7. Дайте определение вариации показаний.
8. Как определяется время установления показаний?
9. Как определяется мощность, потребляемая прибором?
10. С какой целью измеряют сопротивление изоляции прибора?

Лабораторная работа №2

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение методов обработки и представления результатов однократных косвенных измерений.

Оборудование и приборы

В работе используются: электромагнитный миллиамперметр, магнитоэлектрический вольтметр М2004, электромагнитный вольтметр Э505 (или Э59), нагрузочный реостат 70...1200 Ом.

Содержание работы

1. Измерение сопротивления реостата при использовании электромагнитного вольтметра в схемах включения «амперметр до вольтметра» и «амперметр после вольтметра».
2. Измерение сопротивления реостата в обеих схемах при использовании вольтметра магнитоэлектрической системы.
3. Обработка и представление полученных результатов.

Пояснения к работе

При любом измерении неизбежно возникает погрешность. Она вызывается различными причинами. Погрешность, обусловленная несовершенством прибора, с помощью которого выполняется измерение (неидеальность параметров, свойств и характеристики преобразования, влияние внешних условий и т.д.), называется *инструментальной* погрешностью. Инструментальная погрешность содержит систематическую составляющую (например, от неточности градуировки шкалы) и случайную составляющую (например, вследствие трения). Иногда часть систематической погрешности известна или ее можно вычислить. Известную систематическую составляющую погрешности учитывают введением поправки. Но часто систематическая погрешность прибора неизвестна. Неисключенную систематическую погрешность, а также случайную погрешность оценивают на основе вероятностного подхода.

Методическая погрешность появляется вследствие несовершенства метода измерения и измерительного преобразования, неточности расчетных формул, ограниченной точности значений используемых физических констант.

Несовершенство метода измерения проявляется, в частности, во влиянии прибора на объект измерения и процессы, происходящие в нем. Так, однократное включение амперметра для измерения силы тока в цепи приводит к изменению ее сопротивления на величину сопротивления прибора и к соответствующему изменению тока. Аналогично влияет на цепь сопротивление

временно подключаемого вольтметра, что приводит к изменению напряжения, подлежащего измерению. При одновременном включении нескольких приборов их сопротивления и потребляемая ими мощность влияют на показания приборов и результат измерения.

Примером методической погрешности является также погрешность адекватности – несоответствия измеряемой величины и ее математической модели, принятой при измерении. Так, если напряжение на выходе выпрямителя считать постоянным, оно может быть измерено как магнитоэлектрическим, так и электродинамическим вольтметром. Однако если в измеряемом напряжении есть переменная составляющая (пульсация), то показания вольтметров будут различны, поскольку они по-разному будут реагировать на эту пульсацию. Показания вольтметров будут различны не из-за несовершенства приборов, а из-за того, что при измерении напряжение было принято постоянным, не являющееся таковым.

Методическая погрешность, по сути, представляет собой систематическую погрешность, и если ее можно вычислить, то необходимо учесть введением поправки.

В результате измерения находится некоторое значение, приписываемое измеряемой физической величине. Однако результат любого измерения имеет смысл лишь тогда, когда приведена оценка его точности. В соответствии с Государственной системой обеспечения единства измерений результат измерения должен содержать показатель точности. В качестве показателя точности обычно используется *доверительный интервал погрешности* Δ_p .

Таким образом, *результат измерения* есть числовое значение \tilde{X} физической величины X , найденное путем ее измерения, с указанием точности этого измерения:

$$X = \tilde{X}, \Delta = \pm \Delta_p, \text{ или } X = \tilde{X} \pm \Delta_p, \quad (2.1)$$

Правила представления результата измерения:

- 1) численный показатель точности выражается в единицах измеряемой величины;
- 2) численный показатель точности должен содержать не более двух значащих цифр;
- 3) наименьшие разряды значения измеряемой величины и численного показателя точности должны быть одинаковыми.

Значение доверительной вероятности P в рядовых измерениях принимается равным 0,95 и записи результата обычно опускается.

Представление результата измерения по форме (2.1) используется при однократных измерениях любых физических величин как прямым, так и косвенным способом. Например: $R = 237,3 \pm 4,1$ Ом.

Рассмотрим особенности косвенного измерения сопротивления с помощью вольтметра и амперметра, которое часто имеет место на практике.

При измерении сопротивлений косвенным методом с помощью вольтметра и амперметра возможны две схемы включения приборов (рассматривая со стороны источника питания): схема «амперметр после вольтметра» (рис. 2.1а) и схема «амперметр до вольтметра» (рис. 2.1б).

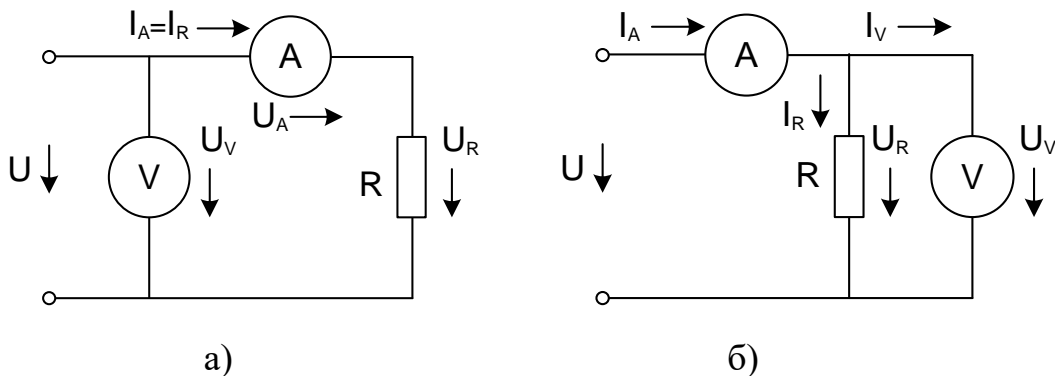


Рис. 2.1 – Схемы включения приборов при косвенном измерении сопротивления:

а) амперметр после вольтметра; б) амперметр до вольтметра.

При расчете по показаниям приборов измеренное значение R_X сопротивления R независимо от схемы включения

$$R_X = \frac{U_V}{I_A}, \quad (2.2)$$

где U_V , I_A – показания приборов.

Расчет по этой формуле не учитывает сопротивлений приборов и приводит к тому, что результат вычислений содержит не только инструментальную, но и методическую погрешности.

Расчет методической погрешности измерения сопротивления.

В схеме рис. 2.1а, амперметр измеряет ток в ветви с сопротивлением R , его показание $I = I_R$, а показания вольтметра $U_V = U_R + U_A = U_R + I_R R_A$.

Тогда

$$R_X = \frac{U_V}{I_A} = \frac{U_R + I_R R_A}{I_A} = R + R_A. \quad (2.3)$$

Абсолютная методическая погрешность в этой схеме:

$$\Delta_{мет} = R_X - R = R_A. \quad (2.4)$$

а относительная методическая погрешность:

$$\delta_{мет} = \frac{\Delta}{R} \cdot 100\% = \frac{R_A}{R} \cdot 100\% \approx \frac{R_A}{R_X} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

Таким образом, методическая погрешность в этой схеме будет тем больше, чем больше сопротивление амперметра. Для получения меньшей методической погрешности схему рис. 2.1а следует применять при измерении относительно больших сопротивлений, когда $R \gg R_A$.

В схеме рис. 2.1б вольтметр измеряет напряжение на сопротивлении R и $U_V = U_R$, а амперметр – сумму токов $I_A = I_R + I_V$. Без учета инструментальной погрешности приборов действительное значение измеряемого сопротивления:

$$R = \frac{U_R}{I_R} = \frac{U_V}{I_A - I_V} = \frac{U_V}{\frac{U_V}{R_X} - \frac{U_V}{R_V}} = \frac{R_X R_V}{R_V - R_X}. \quad (2.6)$$

Абсолютная и относительная методические погрешности этой схемы:

$$\Delta_{мет} = R_X - R = R_X - \frac{R_X R_V}{R_V - R_X} = \frac{-(R_X)^2}{R_V - R_X}; \quad (2.7)$$

$$\delta_{мет} = \frac{\Delta_{мет}}{R} \cdot 100\% = \frac{\frac{-(R_X)^2}{R_V - R_X}}{\frac{R_X R_V}{R_V - R_X}} \cdot 100\% = -\frac{R_X}{R_V} \cdot 100\%. \quad (2.8)$$

Для получения меньшей методической погрешности схему рис. 2.1б следует применять при измерении относительно малых сопротивлений, т.е. когда $R \ll R_V$.

Методическая погрешность как систематическая погрешность подлежит исключению из результата измерения путем внесения поправки:

$$\tilde{R} = R_X - \Delta_{мет}. \quad (2.9)$$

Расчет инструментальной погрешности косвенного измерения.

В тех случаях, когда возможно вычислить систематическую составляющую инструментальной погрешности, необходимо ввести поправку к показаниям амперметра и вольтметра. Такие показания называют исправленными. Случайная и неисключенная систематическая составляющие инструментальной погрешности подлежат оценке.

Результат косвенного измерения находится по функциональной зависимости от других величин, измеренных в прямых измерениях. Поэтому погрешность косвенного измерения состоит из погрешностей прямых измерений. В общем виде погрешность косвенного измерения:

$$\Delta F = \sqrt{\sum \left(\partial F / \partial X_i \right)^2 \Delta X_i^2}. \quad (2.10)$$

Отсюда погрешность измерения сопротивления с помощью амперметра и вольтметра:

$$\Delta_R = \sqrt{(\partial R / \partial U)^2 \Delta_U^2 + (\partial R / \partial I)^2 \Delta_I^2}, \quad (2.11)$$

где Δ_U и Δ_I – абсолютные инструментальные погрешности вольтметра и амперметра.

Подстановка в формулу (2.11) выражений для частных производных $\partial R / \partial U = 1/I$ и $\partial R / \partial I = -U/I^2$ приводит к геометрическому суммированию относительных погрешностей:

$$\delta_R = \sqrt{\delta_U^2 + \delta_I^2}. \quad (2.12)$$

Относительные погрешности вольтметра δ_U и амперметра δ_I можно определить через классы точности приборов.

Результат измерения сопротивления.

В соответствии с выражением (2.1) результат измерения сопротивления

$$R = \tilde{R} \pm \Delta_p. \quad (2.13)$$

Значение измеряемого сопротивления \tilde{R} находится по (2.9).

В качестве показателя точности измерения сопротивления принимается доверительный интервал погрешности, равный абсолютной погрешности измерения сопротивления:

$$\Delta_p = \Delta_R = \frac{\delta_R \tilde{R}}{100\%}. \quad (2.14)$$

Порядок выполнения работы

1. Подобрать по указанию преподавателя электроизмерительные приборы для измерения сопротивления заданного реостата. Напряжение источника питания постоянного тока 24 В. Занести данные приборов в таблицу используемых приборов и табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Параметры измерительных приборов

Схема	Тип вольтметра	Сопротивления приборов		Нормирующие значения		Классы точности		Цена деления		Абсолютная погрешность прибора	
		R_V , Ом	R_A , Ом	U_H , В	I_H , А	K_V	K_A	C_V , В/дел	C_A , мА/дел	Δ_V , В	Δ_A , мА
а)	М2004										
	Э ...										
б)	М2004										
	Э ...										

2. Собрать схему рис. 2.1а, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Снять показания приборов и занести в табл. 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты прямых измерений

Схема	Тип вольтметра	Отсчет		Показания приборов		Результат измерения	
		α_V , дел	α_A , дел	U , В	I , мА	$U \pm \Delta_U $, В	$I \pm \Delta_I $, мА
а)	M2004						
	Э ...						
б)	M2004						
	Э ...						

3. Заменить в схеме рис. 2.1а магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные измерения занести в табл. 2.2.

4. Собрать схему рис. 2.1б, используя магнитоэлектрический вольтметр и электромагнитный миллиамперметр. Занести показания приборов в табл. 2.2.

5. Заменить в схеме рис. 2.1б магнитоэлектрический вольтметр на электромагнитный и снять показания. Данные занести в табл. 2.2.

6. Выполнить необходимые расчеты и представить результаты измерения в табл. 2.2 и 2.3.

Таблица 2.3 – Результаты расчетов косвенных измерений сопротивления

Схема	Тип вольтметра	R_X , Ом	$\Delta_{мет}$, Ом	δ_A , %	δ_V , %	δ_R , %	Δ_R , Ом	Результат измерения	
								\tilde{R} , Ом	$\tilde{R} \pm \Delta_R$, Ом
а)	M2004								
	Э ...								
б)	M2004								
	Э ...								

Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схемы измерений рис 2.1.
3. Параметры измерительных приборов (табл. 2.1)
4. Таблицы результатов измерений и расчетов (табл. 2.2 и 2.3).
5. Выводы по работе.
6. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. В чем заключается разница между прямыми и косвенными измерениями?
2. Какая погрешность называется инструментальной? Каковы причины возникновения инструментальной погрешности?
3. Какая погрешность называется методической? Каковы причины возникновения методической погрешности?
4. Как учитывается известная методическая погрешность?
5. Как оценивается инструментальная погрешность?
6. Как рассчитывается погрешность прямого измерения?
7. Как рассчитывается погрешность косвенного измерения?
8. Как следует представлять результат измерения?
9. Что принимается в качестве показателя точности?
10. Какие правила установлены для представления показателя точности и результата измерения?
11. Объясните, почему значения сопротивления, рассчитанные по показаниям амперметра и вольтметра, отличаются при использовании разных приборов?

Лабораторная работа 6

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ МОСТ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: ознакомление с конструкцией моста Р333 и методикой измерения сопротивлений.

Оборудование и приборы

В работе используются: измерительный мост Р333, набор сопротивлений, регулировочный реостат, вольтметр.

Содержание работы

1. Ознакомление с конструкцией измерительного моста Р333 и инструкцией по эксплуатации.
2. Измерение сопротивлений резисторов по двухзажимной схеме и определение чувствительности моста.
3. Измерение малых сопротивлений по двух- и четырехзажимной схемам измерения и определение погрешности измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме измерения.

Пояснения к работе

Измерительными мостами называются приборы сравнения, предназначенные для измерения сопротивлений и величин, функционально с ними связанных. В основу прибора положена мостовая измерительная схема. Мостовые схемы делятся на четырехплечие и многоплечие.

На рис. 6.1 показана простейшая мостовая схема – четырехплечий (одинарный) мост постоянного тока.

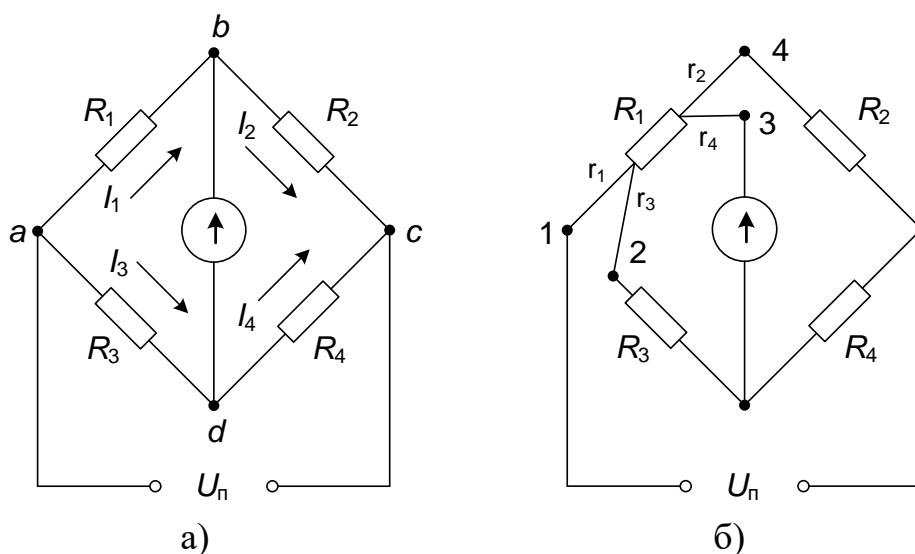


Рисунок 6.1 – Одинарный мост постоянного тока

а) схема при двухзажимном подключении измеряемого сопротивления;

б) схема при четырехзажимном подключении измеряемого сопротивления.

Точки a, b, c и d называют вершинами моста; ветви ab , bc , cd и ad с сопротивлениями R_1 , R_2 , R_3 и R_4 – плечами моста; ветвь ac – диагональю питания; ветвь bd – измерительной диагональю.

Мостовые схемы обладают одним важным свойством – при определенном соотношении сопротивлений плеч отсутствуют токи и напряжения в измерительной диагонали при любых значениях напряжения питания. Такое состояние моста называют состоянием равновесия, а соотношение сопротивлений плеч, при котором мост уравновешен, – условием равновесия мостовой схемы. Мосты, в которых измеряемую величину определяют из условия равновесия, называют *уравновешенными*. В уравновешенных мостах в измерительную диагональ bd включается нулевой указатель – высокочувствительный прибор (гальванометр, микроамперметр, наноамперметр). Мост постоянного тока приводят в состояние равновесия путем изменения сопротивления одного плеча моста. В момент равновесия потенциалы точек b и d равны и ток в измерительной диагонали отсутствует. Следовательно, равны падения напряжений соответственно в плечах R_1 и R_2 , R_3 и R_4 , а также равны токи $I_1 = I_2$ и $I_3 = I_4$. Исходя из этого, получим условие, равновесия одинарного моста постоянного тока (по рис. 6.1а):

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}; \quad R_1 R_4 = R_2 R_3. \quad (6.1)$$

Таким образом, при равновесии моста произведения сопротивлений противоположных плеч равны между собой.

Если известны значения сопротивлений любых трех плеч уравновешенного моста, то из условия равновесия всегда можно определить значение четвертого плеча. Процесс измерения заключается в следующем. В одно из плеч моста, например в первое, включают измеряемое сопротивление $R_1 = R_x$ и, изменяя одно или несколько сопротивлений плеч, добиваются отсутствия тока в цепи гальванометра. Тогда на основании соотношения (6.1)

$$R_x = \frac{R_2 R_3}{R_4}. \quad (6.2)$$

Обычно мост приводится в равновесие путем регулировки сопротивления R_3 . Отношение сопротивлений $R_2/R_4 = n$ в уравнении равновесия называется масштабным множителем, его значение выбирается равным 10^m , где m – либо целое положительное или отрицательное число, либо нуль. В этом случае плечо моста R_3 принято называть плечом сравнения, а R_2 и R_4 – плечами отношения. С помощью плеч отношения выбирается диапазон измерения моста.

Мостовые схемы получили большое распространение в технике электрических измерений благодаря высокой точности и чувствительности. Высокая точность уравновешенных мостов достигается за счет использования метода измерения высокой точности – метода уравнивания, а также за счет

применения сопротивлений повышенной точности в плечах мостовой схемы и высокочувствительного гальванометра.

Диапазон измеряемых сопротивлений ограничен как сверху, так и снизу. Сверху диапазон одинарного моста ограничен влиянием сопротивления изоляции и чувствительностью нулевого указателя и для обычных мостов составляет $10^6 - 10^8$ Ом. Применение герметизированных сопротивлений из литого микропровода в стеклянной изоляции и нулевых указателей с усилителями позволяет расширить верхний предел измерения до 10^{10} Ом.

Нижний предел измерения одинарного моста ограничен влиянием сопротивлений подводящих проводов R_{Π} и переходных контактов R_{κ} , которые вызывают погрешность

$$\delta_H = \frac{\sum (R_{\Pi} + R_{\kappa})}{R_X} 100\%.$$

Уже при измерении сопротивлений R_X порядка 1 Ом погрешность, обусловленная влиянием сопротивлений подводящих проводов и переходных контактов, может достигать нескольких процентов. При меньших значениях R_X эта погрешность значительно возрастает.

Область измеряемых одинарным мостом малых сопротивлений можно расширить путем перехода к четырехзажимной схеме включения измеряемого сопротивления (рис. 6.1б). При таком присоединении R_X соединительный провод r_1 входит в диагональ питания, сопротивление провода r_4 входит в цепь гальванометра и при равновесии моста на результат измерения не влияет. Сопротивление провода r_2 входит в сопротивление плеча R_2 , а сопротивление провода r_3 – в сопротивление плеча R_3 . Значения R_2 и R_3 достаточно большие, поэтому влиянием сопротивлений соединительных проводов и контактов можно пренебречь.

Четырехзажимное включение малых сопротивлений позволяет измерять сопротивления до 10^{-4} Ом. Таким образом, общий диапазон измерения одинарного моста составляет от 10^{-4} до 10^8 Ом.

Для более точных измерений малых сопротивлений применяют шестиплечие (двойные) мосты постоянного тока.

Важным свойством измерительного моста, характеризующим его эксплуатационные качества, является его способность обнаруживать малые изменения измеряемой величины, т.е. его чувствительность.

При использовании в качестве нулевого индикатора магнитоэлектрического гальванометра чувствительность моста постоянного тока

$$S_M = \frac{\Delta\alpha}{\Delta R}, \quad (6.3)$$

где $\Delta\alpha$ – отклонение указателя гальванометра;

ΔR – изменение сопротивления плеча, Ом.

На практике удобно оценивать чувствительность моста к относительному изменению сопротивления плеча $\Delta R/R$ (%):

$$S'_M = \frac{\Delta\alpha}{\frac{\Delta R}{R} 100\%}. \quad (6.4)$$

Значение чувствительности зависит от сопротивлений плеч моста. Наибольшая чувствительность моста достигается при $R_1 = R_2$ и $R_3 = R_4$.

В данной работе используется измерительный мост постоянного тока Р333. В табл. 6.1 приведены основные характеристики моста.

Таблица 6.1 – Основные характеристики моста Р333

Измеряемое сопротивление	Класс точности	Рекомендуемый множитель n	Напряжение питания $U_{п}$, В	Схема включения
$5 \cdot 10^{-3} - 0,0999$	5	0,0001	1,5	4-зажимная
$10^{-1} - 0,999$	1,0	0,0001	1,5	
$1 - 9,999$	0,5	0,001	1 - 1,5	2-зажимная
$10 - 99,99$	0,5	0,01	1,5 - 3	
$100 - 999,9$	0,5	0,1	3 - 10	
$1000 - 9999$	0,5	1	3 - 10	
$10^4 - 99990$	0,5	10	10 - 16	
$10^5 - 999900$	5	100	10 - 16	

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конструкцией измерительного моста Р333. По табличке, прикрепленной на крышке моста с внутренней стороны, ознакомиться со схемой и краткой инструкцией по эксплуатации прибора, а также его техническими характеристиками.

2. Собрать схему питания моста (рис. 6.2).

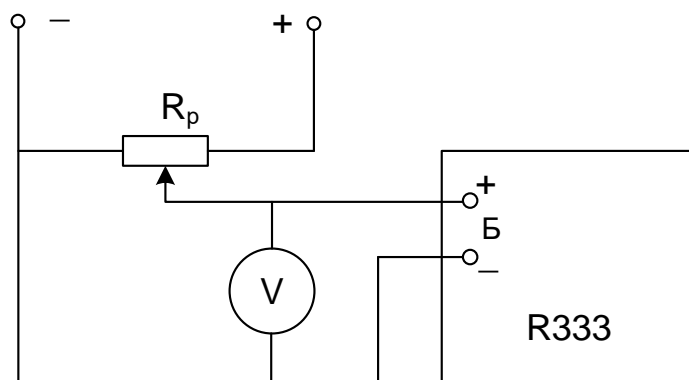


Рисунок 6.2 – Схема питания моста Р333

3. Подготовить мост для измерения сопротивлений по двухзажимной схеме включения, для чего:

- 1) зажимы "Б" разомкнуть;
- 2) переключатель схемы поставить в положение "МВ";
- 3) зажимы I и 2 замкнуть с помощью перемычки;
- 4) подключить измеряемое сопротивление к зажимам 2 и 3 (рис. 6.3а);
- 5) переключателем плеч отношения установить множитель n и напряжение питания моста согласно табл. 6.1 в зависимости от предполагаемой величины R_X .

б) установить на четырех декадах плеча сравнения ожидаемое сопротивление.

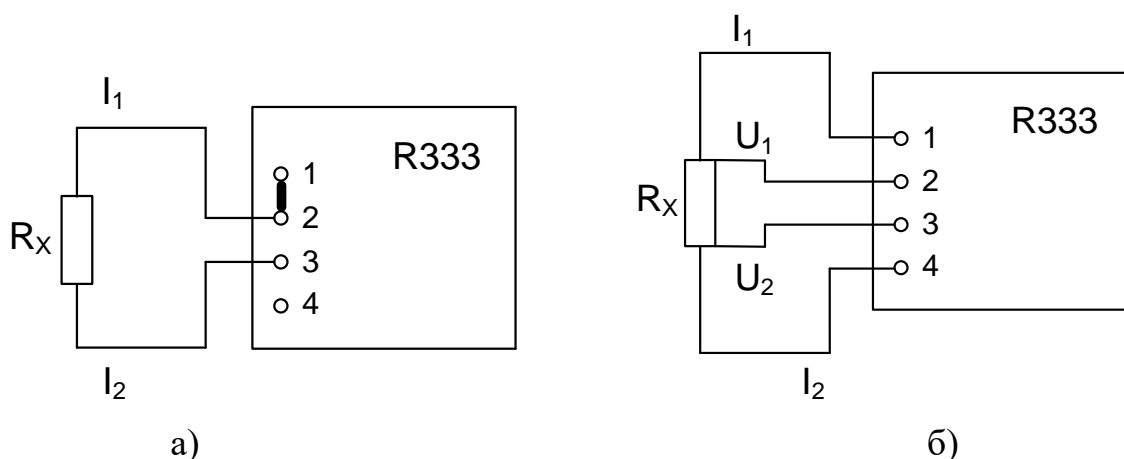


Рисунок 6.3 – Подключение измеряемого сопротивления

а) по двух зажимной схеме;

б) по четырехзажимной схеме.

4. Нажать кнопку "вкл. Г". Если при таком нажатии наблюдается резкий отброс стрелки, необходимо более точно выбрать множитель n , чтобы отклонение стрелки не превышало половины деления от нулевой отметки. После этого зафиксировать кнопку "вкл. Г". Нажать кнопку "грубо" и производить уравнивание схемы пакетными переключателями декад до тех пор, пока стрелка гальванометра не установится на нулевой отметке. Нажать кнопку "точно" и окончательно уравновесить мост. Определить сопротивление $R_{ур}$ по положениям переключателей декад и записать результат измерения в табл. 6.2.

Примечание: кнопки "грубо" и "точно" в нажатом положении не фиксировать.

Таблица 6.2 – Измерения сопротивлений по двухзажимной схеме

Номинал резисторов, Ом	$U_{п}, В$	n	$R_{ур}, Ом$	$R_{неур}, Ом$	$R_X, Ом$	$\Delta R, Ом$	$\Delta \alpha, дел$	$S_M, дел/Ом$	$S'_M, дел/\%$

5. Определить чувствительность моста. При нажатой кнопке "точно" уравновешенного моста вращением переключателей младших декад добиться отклонения стрелки гальванометра на 5 делений ($\Delta\alpha = 5$). По положениям пакетных переключателей определить новое значение сопротивления $R_{\text{неур}}$. Вычислить измеряемое сопротивление $R_x = nR_{\text{ур}}$, а также $\Delta R = R_{\text{неур}} - R_{\text{ур}}$ и по формулам (6.3) и (6.4) чувствительность S_M и S'_M . Результаты измерений и вычислений записать в табл. 6.2.

6. Аналогично произвести измерения и вычисления ещё для трех сопротивлений резисторов разных номиналов.

7. Подготовить мост для измерения малых сопротивлений по четырехзажимной схеме включения (схему питания моста не разбирать), для чего необходимо перемычку, соединяющую зажимы I и 2, разомкнуть, а измеряемое сопротивление присоединить к зажимам 1, 2, 3 и 4 с помощью четырех проводников согласно схеме рис. 6.3б.

8. Переключить множитель n в положение 0,0001; при нажатой кнопке "вкл. Г" установить напряжение питания 1,5 В. С помощью кнопок "грубо" и "точно" произвести уравнивание моста аналогично п. 4 и выполнить измерения двух проволочных сопротивлений.

По результатам измерения R_x и заданным длине l и диаметру d проволочных сопротивлений рассчитать сечение s и удельное сопротивление ρ проволоки

$$\rho = R_x \frac{s}{l}.$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Измерение малых сопротивлений

Длина l , м диаметр d , м	s , м ²	$U_{\text{п}}$, В	n	4-зажимная схема			2-зажимная схема		
				$R_{\text{ур}4}$, Ом	R_{x4} , Ом	ρ , Ом·м	$R_{\text{ур}2}$, Ом	R_{x2} , Ом	δ , %

9. Измерить те же малые сопротивления по двухзажимной схеме, для чего мост подготовить согласно п.3; зажимы I_1 и I_2 измеряемых сопротивлений подключить соответственно к зажимам 2 и 3 моста. Выполнить измерения.

Рассчитать погрешности измерения малых сопротивлений по двухзажимной схеме, приняв за действительное значение величину измеренного сопротивления по четырехзажимной схеме включения:

$$\delta = \frac{R_{x2} - R_{x4}}{R_{x4}} 100\%.$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 6.3.

Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схема измерительного моста постоянного тока.
3. Схемы измерений рис 6.2 и 6.3.
4. Таблицы результатов измерений и вычислений (табл. 6.2 и 6.3).
5. Выводы по работе.
6. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Какие измерительные схемы называют мостами?
2. Для каких целей применяют измерительные мосты?
3. Какие измерительные мосты называются уравновешенными?
4. Как записывается условие равновесия моста постоянного тока?
5. Как практически добиваются выполнения условия равновесия моста?
6. Чем ограничена сверху величина сопротивлений, измеряемых одинарным мостом?
7. Чем ограничена снизу величина измеряемых сопротивлений по двухзажимной схеме?
8. За счет каких факторов четырехзажимная схема измерения расширяет предел измерения сопротивлений?
9. Что такое чувствительность моста?
10. Как практически определить чувствительность моста?
11. За счет чего достигается высокая точность измерения мостами постоянного тока?

Лабораторная работа 8

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Цель работы: изучить устройство и применение электронно-лучевого осциллографа.

Оборудование и приборы

В работе используются электронно-лучевой осциллограф (ЭЛО) типа С1-67 или С1-72, генератор низкой частоты (ГНЧ), магазины сопротивлений РЗЗ, делитель напряжения ДН, эталонное сопротивление РЗ21, набор конденсаторов.

Содержание работы

- a. Ознакомление с конструкцией и органами управления универсального осциллографа типа С1-67 и С1-72.
- b. Измерение переменного напряжения при помощи наружного делителя.
- c. Измерение переменного тока при помощи шунта.
- d. Исследование выпрямленного напряжения.
2. Измерение периода и частоты при линейной развертке.
3. Измерение частоты при синусоидальной развертке.
4. Измерение фазового сдвига при синусоидальной развертке.

Пояснения к работе

Электронно-лучевой осциллограф предназначен для визуального исследования формы, измерения и регистрации параметров электрических сигналов.

Принцип работы электронно-лучевого осциллографа заключается в преобразовании электрических сигналов в видимое изображение на экране. Выпускаются разные типы осциллографов, различающиеся назначением и характеристиками. Наибольшее применение получили универсальные электронно-лучевые осциллографы (тип С1), которые используются для исследования периодических и непериодических непрерывных и импульсных сигналов в широком диапазоне частот.

Центральным измерительным узлом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), преобразующая значение исследуемого напряжения в перемещение электронного луча. ЭЛТ представляет собой стеклянную колбу, в которой создан вакуум. В баллоне трубки размещена система электродов, создающая сфокусированный поток электронов (электронный луч) и называемая "электронной пушкой". Упрощенная схема ЭЛТ показана на рис. 8.1.

Электронная пушка состоит из нити накаливания (Н), катода (К), модулятора (М) и трех анодов (А1, А2, А3). Подогрев катода вызывает термоэлектронную эмиссию, вследствие которой вблизи катода создается

электронное облако, удерживаемое отрицательным относительно катода потенциалом модулятора. Из этого облака через узкое отверстие в модуляторе положительное поле анодов формирует узкий направленный поток электронов – электронный луч. Изменение потенциала модулятора дает возможность регулировать плотность электронов в луче и тем самым менять яркость изображения на экране (потенциометр «ЯРКОСТЬ»).

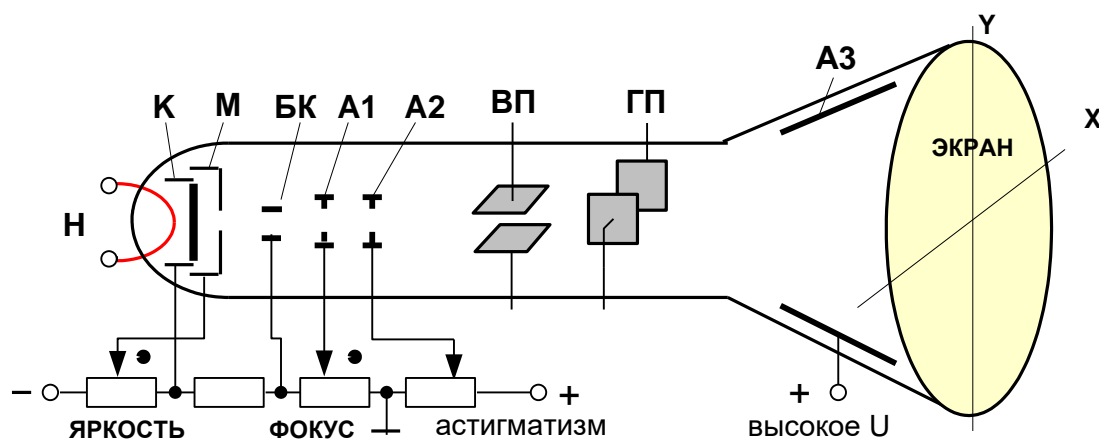


Рисунок 8.1 – Электронно-лучевая трубка

Фокусировка луча осуществляется в поле между первым и вторым анодами. Фокусировка регулируется путем изменения напряжения (потенциометром «ФОКУС») на первом аноде, который поэтому называется фокусирующим. Ускорение электронов в направлении движения обеспечивается вторым анодом, вследствие чего он иногда называется ускоряющим. Кроме ускорения электронного луча этот анод обеспечивает дополнительную фокусировку для устранения астigmatизма.

Электронный луч в конце своего пути попадает на внутреннюю торцевую поверхность расширенной части баллона, называемую экраном. Эта поверхность покрыта люминофором и обладает способностью светиться под действием электронной бомбардировки. Для ускорения электронов до скорости, необходимой для свечения люминофора, используется дополнительный послеускоряющий анод А3, на который подается большое положительное напряжение в несколько киловольт. Состав люминофора определяет цвет и длительность послесвечения. Ширина линии луча на экране определяется качеством фокусировки.

На пути электронного луча расположена отклоняющая система ЭЛТ, состоящая из двух пар пластин, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях. Под действием напряжений, приложенных к этим пластинам, луч отклоняется, вызывая смещение светящейся точки на экране. Положение светящейся точки соответствует мгновенным значениям напряжений на пластинах. Пластины, электростатическое воздействие которых вызывает отклонение луча в вертикальном направлении, называются вертикально-отклоняющими пластинами (ВП), а в горизонтальном направлении –

горизонтально-отклоняющими пластинами (ГП). Величина отклонения луча пропорциональна приложенному напряжению и зависит от параметров ЭЛТ.

В ЭЛТ предусмотрена возможность «гашения» луча. В современных трубках это осуществляется с помощью бланкирующих пластин (БК).

Осциллограф является универсальным измерительным прибором и представляет собой сложное электронное устройство, содержащее много функциональных узлов. Несмотря на большое разнообразие модификаций универсальных осциллографов их структурная схема практически одинакова. Кроме узла электронно-лучевой трубки, она содержит канал вертикального отклонения луча (канал Y), канал горизонтального отклонения луча (канал X), схему управления лучом ЭЛТ (канал Z), узел питания (рис. 8.2).

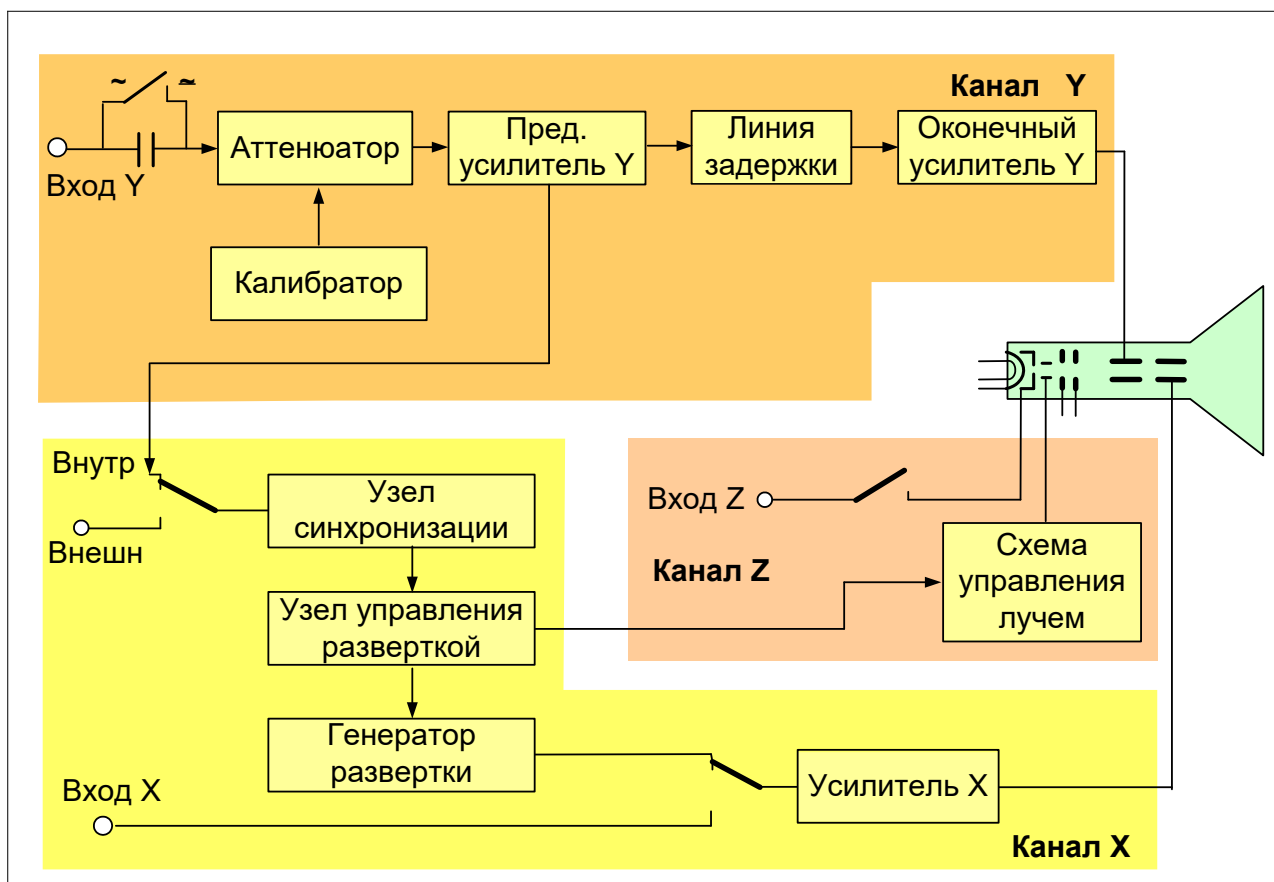


Рисунок 8.2 – Структурная схема универсального электронно-лучевого осциллографа

Канал вертикального отклонения луча предназначен для усиления входных сигналов до величины, обеспечивающей удобное рассмотрение и исследование изображения на экране ЭЛТ без искажения формы сигнала.

По каналу вертикального отклонения исследуемый сигнал поступает на вертикально-отклоняющие пластины ЭЛТ. Во входной цепи канала содержится переключатель входа, обеспечивающий прохождение исследуемого сигнала напрямую (открытый вход « \simeq ») или через емкость (закрытый вход « \sim ») (при открытом входе возможно прохождение как переменного, так и постоянного

напряжения, при закрытом – только переменного), и входной аттенюатор, представляющий собой компенсированный делитель напряжения. Аттенюатор конструктивно оформлен на переключателе «ВОЛЬТ/ДЕЛ». Положения переключателя определяют коэффициент отклонения K_0 канала. Коэффициент отклонения K_0 выражает отношение напряжения исследуемого сигнала к величине отклонения луча на экране по вертикали. Во многих осциллографах изменение коэффициента отклонения осуществляется ступенчато переключателем «ВОЛЬТ/ДЕЛ» и плавно – потенциометром «УСИЛЕНИЕ». Значения K_0 соответствуют калиброванным значениям только в крайнем правом положении потенциометра.

С выхода аттенюатора исследуемый сигнал поступает на усилитель канала. Аттенюатором устанавливается допустимое входное напряжение, не перегружающее входной каскад усилителя. В положении «КАЛИБР» (или «6 ДЕЛ») переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ» к входу усилителя подключается внутренний калибратор амплитуды и длительности, при этом вход Y отключается. Калибратор вырабатывает прямоугольные импульсы стабильной амплитуды и частоты, которые используются для калибровки усиления канала вертикального отклонения (коэффициента отклонения K_0) и длительности развертки (коэффициента развертки K_p).

Линия задержки обеспечивает задержку исследуемого сигнала на время, которое затрачивается схемой синхронизации и узлом управления разверткой до начала образования рабочего хода развертки. Задержка необходима для наблюдения переднего фронта импульсов без искажений при исследовании импульсных процессов, а также непериодических и однократных сигналов.

Канал горизонтального отклонения обеспечивает отклонение луча в горизонтальном направлении. Отклонение луча в горизонтальном направлении в функции времени называется разверткой.

Главным узлом канала X является генератор развертки, который вырабатывает пилообразное напряжение, пропорциональное времени: $U_p = kt$ (рис. 8.3). Частота развертывающего напряжения изменяется ступенчатым переключателем «ВРЕМЯ/ДЕЛ» и потенциометром плавной регулировки «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ», которыми устанавливаются значения коэффициента развертки K_p . Коэффициент развертки выражает отношение времени перемещения луча в горизонтальном направлении к длине этого перемещения.

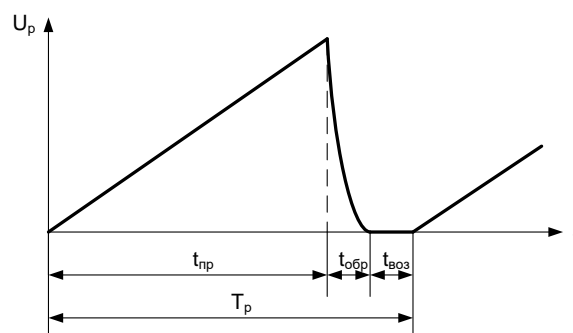


Рис. 8.3 – Форма напряжения развертки

Период развертывающего напряжения T_p включает время прямого хода луча $t_{пр}$, время обратного хода луча $t_{обр}$ и время возврата схемы генератора в исходное состояние $t_{воз}$.

Работой генератора развертки управляет узел управления разверткой, состоящий из триггера развертки и схемы блокировки. Триггер переключает генератор на формирование линейно-возрастающего напряжения, а схема блокировки предохраняет генератор от повторного запуска импульсами синхронизации в течение обратного хода луча и времени протекания переходных процессов при возврате в исходное состояние.

Генератор развертки может работать в двух режимах: автоколебательном и ждущем. В автоколебательном режиме генератор работает без управляющих синхроимпульсов, в ждущем режиме генератор запускается только при наличии запускающих синхроимпульсов. Режим работы генератора задается с помощью регулировочного потенциометра «СТАБИЛЬНОСТЬ» в узле управления разверткой.

Выходное напряжение генератора развертки усиливается до необходимой амплитуды усилителем канала X и поступает на горизонтально-отклоняющие пластины ЭЛТ.

Исследуемый сигнал изображается на экране осциллографа в виде светящихся линий или фигур, называемых осциллограммами. Одновременное воздействие входного U_Y и развертывающего U_p напряжений на электронный луч ЭЛТ вызывает появление осциллограммы, отображающей линейную зависимость исследуемого сигнала U_Y во времени. Для получения зависимости иного вида напряжение соответствующей формы нужно подать на вход X, а генератор развертки отключить.

Осциллограмму для удобства наблюдения можно сместить по экрану, регулируя постоянные напряжения смещения на пластинах с помощью ручек потенциометров « \updownarrow » по вертикали и « \leftrightarrow » по горизонтали.

При исследовании входного сигнала изображение на экране должно быть неподвижным. Для получения неподвижной осциллограммы необходимо, чтобы период напряжения развертки был равен периоду исследуемого сигнала или в целое число раз больше. Это соотношение называется условием синхронизации и достигается с помощью узла синхронизации.

Основным режимом синхронизации является внутренняя синхронизация. В этом случае сигнал, управляющий работой узла синхронизации, подается от усилителя канала Y. Этот сигнал сравнивается со значением, задаваемым потенциометром «УРОВЕНЬ», и при их равенстве на выходе схемы синхронизации появляется синхроимпульс, запускающий генератор развертки. Таким образом, работа генератора развертки синхронизируется с частотой исследуемого сигнала.

Синхронизация генератора развертки возможна также от внешнего источника. С помощью переключателя узла синхронизации выбирается как вид синхронизации, так и вход синхронизирующего сигнала (открытый или закрытый), а также полярность запуска генератора развертки.

Обратный ход развертки не должен искажать осциллограмму исследуемого сигнала. Это обеспечивается путем смещения луча за пределы экрана с помощью бланкирующих пластин ЭЛТ. При прямом ходе на обе бланкирующие пластины подводится одинаковое положительное напряжение, и луч находится в пределах экрана. При обратном ходе луча потенциал одной из бланкирующих пластин либо скачком возрастает (как в осциллографе С1-67), либо снижается до нуля (как в С1-72), и луч, отклоняясь в сторону бланкирующей пластины с большим потенциалом, выводится за пределы экрана. Такая коммутация обеспечивается схемой управления лучом (канал Z), работа которой формируется импульсами триггера развертки.

Для получения развертки другого вида (например, синусоидальной) внешний развертывающий сигнал подается на вход X, который подключают к усилителю X, а генератор развертки отключают.

В ряде осциллографов предусмотрена возможность модуляция луча по яркости внешним сигналом, который подводится на вход Z. Модуляция по яркости используется для создания яркостных калибровочных меток от внешнего сигнала при измерении частоты, временных интервалов.

Питание осциллографа осуществляется от сети переменного тока. Необходимые уровни постоянных напряжения для питания электронных цепей прибора вырабатываются блоком питания.

Порядок выполнения работы

I. Подготовка осциллографа к работе.

1. Изучить органы управления осциллографа (типа С1-67 или С1-72).

2. Предварительно установить органы управления в следующие положения:

- ручки «ЯРКОСТЬ», «ФОКУС», « \updownarrow », « \leftrightarrow », «УРОВЕНЬ» – в среднее положение;
- ручку «СТАБИЛЬНОСТЬ» – в крайнее правое положение;
- ручки потенциометров «УСИЛЕНИЕ» и «ДЛИТЕЛЬНОСТЬ» (для осциллографа С1-67) – в крайнее правое положение (до щелчка);
- тумблер растяжки развертки – в положение «x1» (осциллограф С1-67);
- переключатель вида синхронизации – в положение «ВНУТР.» (☒ в С1-72), а тумблер полярности синхроимпульсов – в положение « \perp ».

Подсоединить шнур питания к сети и включить тумблер "СЕТЬ" на передней панели осциллографа. Прогреть осциллограф в течение 2...3 мин.

3. Подготовить осциллограф к работе:

- ручками « \updownarrow » и « \leftrightarrow » перевести линию развертки в пределы рабочей области экрана (если луч находится за его пределами), ручками «ЯРКОСТЬ» и «ФОКУС» отрегулировать яркость и фокусировку линии развертки;
- проверить балансировку канала вертикального отклонения, для этого при закороченном входе Y:

- переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «0,05» и совместить линию развертки со средней линией экрана;
- перевести переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ» в положение «0,01» («0,02» в С1-72) и вернуть линию развертки в среднее положение при помощи шлица «БАЛАНС», (в С1-72 расположен на боковой панели прибора);
- эти операции повторять до тех пор, пока линия развертки перестанет перемещаться при переключении ручки «ВОЛЬТ/ДЕЛ»;
- произвести калибровку канала вертикального отклонения, для этого:
 - переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ» установить в положение «КАЛИБР» (6 ДЕЛ), на экране должно появиться изображение калибровочного напряжения, амплитуда (расстояние между горизонтальными линиями) которого должна составлять 6 делений шкалы экрана;
 - при необходимости откорректировать амплитуду калибровочного напряжения при помощи шлица «ЧУВСТВ» («КОРР. УСИЛ» в С1-72);
 - произвести калибровку коэффициента развертки, для этого:
 - установить переключатель «ВРЕМЯ/ДЕЛ» в положение «0,5 mS» (1 μ S в С1-72), при этом в 10 делениях шкалы экрана по горизонтали должно быть уложено 10 периодов калибровочного напряжения;
 - при необходимости откорректировать длительность развертки при помощи шлица «КАЛИБРОВКА ДЛИТЕЛЬНОСТИ $\times 1$ » («КОРР. РАЗВ» в С1-72).

II. Выполнение измерений.

Для наблюдения исследуемого сигнала и измерения его основных параметров в работе используются линейная и синусоидальная развертки.

Режим и синхронизация линейной развертки выбираются при помощи ручек «СТАБИЛЬНОСТЬ» и «УРОВЕНЬ». Переключатель вида синхронизации должен быть в положении «ВНУТР.». Подвести исследуемый сигнал.

Для получения ждущей развертки ручку «УРОВЕНЬ» вывести в крайнее левое положение. Ручку «СТАБИЛЬНОСТЬ» вращать вправо до появления изображения на экране. Вращая ту же ручку в обратную сторону, установить ее в положение, при котором развертка срывается (изображение исчезает). Повернуть ручку «УРОВЕНЬ» до положения, при котором появляется устойчивое изображение сигнала.

Для получения периодической развертки ручку «СТАБИЛЬНОСТЬ» перевести в крайнее правое положение. Повернуть ручку «УРОВЕНЬ» до положения, при котором появляется устойчивое изображение сигнала. Если это сделать не удастся, добиться устойчивого положения небольшим поворотом ручки «СТАБИЛЬНОСТЬ».

Для получения синусоидальной развертки внешний синусоидальный сигнал подвести на вход X. Переключатель вида синхронизации перевести в положение «ВХОД X». При подключении входа X синхронизация невозможна, поскольку генератор развертки при этом отключен.

1. Измерение переменного напряжения при помощи наружного делителя.

Для расширения пределов измерений ЭЛО применяют наружные делители напряжения. В комплект осциллографа обычно входят штатные наружные делители. В данной работе используются стандартный делитель напряжения и делитель напряжения, составленный из последовательно соединенных магазинов сопротивления РЗЗ.

Необходимо:

Рассчитать значения сопротивлений R_1 и R_2 составного делителя ДН для получения коэффициентов деления $K_d = 10$ и 100 (допустимая мощность каждого сопротивления не должна превышать 0,25 Вт).

Собрать схему рис. 8.4, применяя составной делитель напряжения, установить рассчитанные значения R_1 и R_2 и измерить фазное напряжение трехфазной сети ~ 127 В при $K_d = 10$ и $K_d = 100$. Измерения проводить при отключенной развертке (переключатель вида синхронизации – в положении «ВХОД X»).

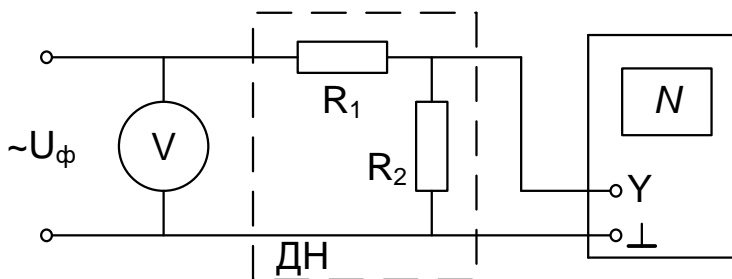


Рисунок 8.4 – Измерение напряжения с наружным делителем

Заменить составной делитель ДН на стандартный делитель напряжения и повторить измерения фазного напряжения. Сравнить результаты измерения напряжения ЭЛО U с показанием вольтметра U_V .

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 8.1.

Таблица 8.1 – Результаты измерения напряжения с наружным делителем

Делитель напряжения	K_d	R_1 , Ом	R_2 , Ом	K_0 , В/дел.	y , дел.	U_m , В	U , В	δ , %
Составной	10							
	100							
Стандартный	10	-	-					
	100	-	-					

Амплитуда измеряемого напряжения U_m находится по формуле:

$$U_m = K_d K_0 \frac{y}{2},$$

где K_0 – коэффициент отклонения, В/дел;

y – длина вертикальной линии в делениях шкалы экрана.

Погрешность измерения осциллографом δ вычислить, приняв за действительное значение показание вольтметра:

$$\delta = \frac{U - U_v}{U_v} 100\%$$

2. Измерение переменного тока при помощи шунта.

Силу тока при помощи ЭЛЮ измеряют косвенным методом.

Собрать схему, подключив к источнику переменного напряжения последовательно соединенные амперметр, сопротивление нагрузки (реостат) и шунт (эталонное сопротивление). Измерить осциллографом падение напряжения на шунте и вычислить силу тока I . Сравнить с показанием амперметра I_A . Результаты занести в табл. 8.2.

Таблица 8.2 – Результаты измерения переменного тока при помощи шунта

Шунт R_0 , Ом	K_0 , В/дел.	y , дел.	U_m , В	I_m , А	I , А	I_A , А	δ , %

3. Исследование выпрямленного напряжения.

Выходное напряжение выпрямителя на фоне постоянной составляющей всегда содержит переменную составляющую, которую называют пульсацией. Наименьшая амплитуда пульсации имеется на выходе трехфазного мостового выпрямителя, который используется в лаборатории как источник постоянного напряжения. Качество выпрямленного напряжения характеризует коэффициент пульсации, представляющий собой отношение амплитуды пульсации к среднему значению выпрямленного напряжения, выраженное в процентах.

Провести исследование выпрямленного напряжения.

Сместить линию развертки при отсутствии входного напряжения (нулевую линию) в нижнюю часть экрана. Подвести выпрямленное напряжение (от автомата постоянного тока) на открытый вход осциллографа (переключатель входа в положении « \simeq »). Синхронизировать изображение выпрямленного напряжения и заметить положение характерной точки осциллограммы (например, амплитудного значения). Перевести переключатель входа в положение закрытого входа « \sim » и измерить смещение характерной точки y_0 (рис. 8.5), соответствующее среднему значению выпрямленного напряжения.

Среднее значение выпрямленного напряжения:

$$U_0 = K_0 y_0.$$

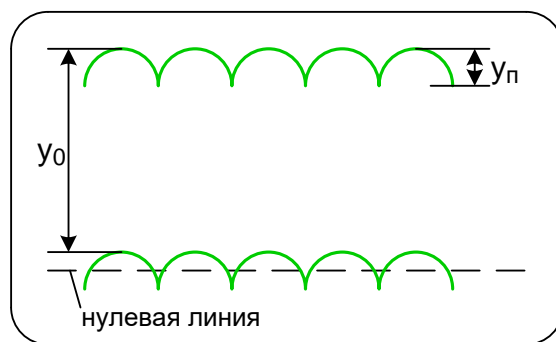


Рисунок 8.5 – Измерение составляющих выпрямленного напряжения

Измерить амплитуду пульсации. При закрытом входе сместить нулевую линию в середину экрана, выбрать коэффициент отклонения так, чтобы изображение занимало не менее 2/3 экрана по вертикали, и отключить развертку. Длина полученной вертикальной линии соответствует двойной амплитуде пульсации. Амплитуда пульсации

$$U_{пм} = K_0 \frac{y_п}{2}.$$

Коэффициент пульсации:

$$K_п = \frac{U_{пм}}{U_0} 100\%$$

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 8.3.

Таблица 8.3 – Исследование выпрямленного напряжения

Среднее значение			Пульсация			$K_п, \%$
y_0 , дел.	K_0 , В/дел.	U_0 , В	$y_п$, дел.	K_0 , В/дел.	$U_п$, В	

4. Измерение периода и частоты при линейной развертке.

Линейная развертка позволяет измерять интервалы времени. Измерение частоты при линейной развертке основано на измерении периода периодического напряжения.

Период рассчитывают по величине отклонения луча в горизонтальном направлении x , соответствующего n полным периодам напряжения при скорости развертки, определяемой коэффициентом развертки K_p :

$$T = K_p \frac{x}{n}.$$

Частота сигнала $f = 1/T$.

Подать на вход осциллографа напряжение генератора низкой частоты. Установить такое напряжение ГНЧ, чтобы амплитуда сигнала на экране ЭЛО

занимала 2...3 деления. Выбрать значение коэффициента развертки, при котором на экране помещается 3-4 полных периода напряжения (число периодов удобно отсчитывать по нулевой линии развертки).

Последовательно устанавливая на ГНЧ частоты 50, 100, 200, 400 и 1000 Гц выполнить измерения T и f осциллографом. Вычислить погрешность измерения частоты осциллографом δ , принимая за действительное значение частоту ГНЧ. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 8.4.

Таблица 8.4 – Измерения периода и частоты при линейной развертке

$f_{\text{ГНЧ}}, \text{ Гц}$	$K_p, \text{ мс/дел.}$	n	$x, \text{ дел.}$	$T, \text{ с}$	$f, \text{ Гц}$	$\delta, \%$
50						
100						
200						
400						
1000						

5. Измерение частоты при синусоидальной развертке.

Измерение частоты путем сравнения исследуемых колебаний с колебаниями образцовой частоты имеет достаточно высокую точность и может быть использовано для проверки измерительных генераторов.

Синусоидальная развертка получится в том случае, если на обе пары отклоняющих пластин подать синусоидальное напряжение, а генератор развертки выключить. При равенстве или краткости частот на экране получаются неподвижные фигуры Лиссажу, по которым определяется действительное значение измеряемой частоты (фигура может быть неподвижной лишь ограниченное время, так как синхронизация отсутствует).

В настоящем опыте напряжение измеряемой частоты от ГНЧ подается на вход Y, а на вход X канала горизонтального отклонения подается напряжение сети промышленной частоты 50 Гц, которая используется в качестве эталонной ($f_x = 50 \text{ Гц}$). При неподвижной фигуре

$$f_y n_y = f_x n_x.$$

где n_y и n_x – число точек касания фигуры на экране с вертикальной и горизонтальной линиями (рис. 8.6).

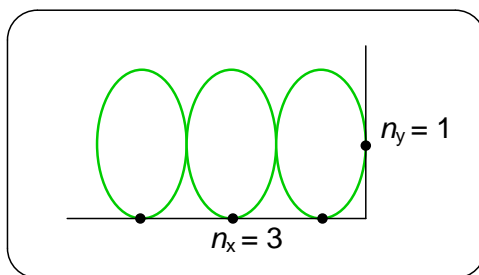


Рисунок 8.6 – Фигура Лиссажу

Действительное значение измеряемой частоты генератора f_y

$$f_y = f_x \frac{n_x}{n_y}.$$

Для выполнения опыта переключатель вида синхронизации ЭЛО поставить в положении «ВХОД X», переключатель «ВОЛЬТ/ДЕЛ» – в положение «10».

Собрать схему рис. 8.7.

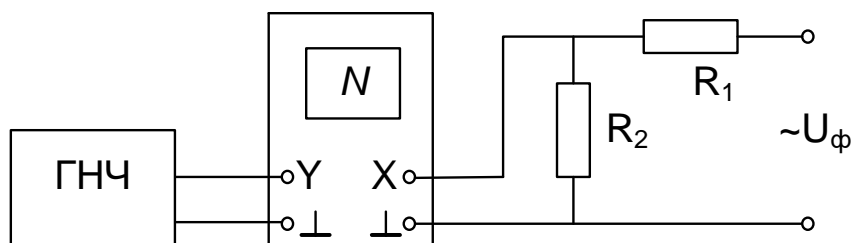


Рисунок 8.7 – Измерение частоты при синусоидальной развертке

Делитель R_1 , R_2 собрать из магазинов сопротивления РЗЗ. Сопротивление R_1 установить в положение максимального значения (100 кОм).

Включить схему. Установить удобные размеры осциллограммы, регулируя выходное напряжение ГНЧ и изменяя сопротивление делителя R_2 .

Выполнить поверку ГНЧ на частотах $f_y = 25; 50; 75; 100; 150; 200; 250$ Гц. Предварительно рассчитать число касаний фигуры с вертикалью n_y и горизонталью n_x для каждой указанной частоты. Установить по лимбу генератора частоту 25 Гц и, плавно регулируя эту частоту в небольших пределах, получить на экране ЭЛО неподвижное изображение полной (замкнутой) фигуры Лиссажу с рассчитанными для данной частоты числами касаний. Записать полученное значение частоты генератора $f_{ГНЧ}$. Аналогично выполнить измерения на остальных частотах.

Результаты измерений и вычислений занести в табл. 8.5.

Таблица 8.5 – Измерение частоты при синусоидальной развертке

Расчёт				Эксперимент	
f_x , Гц	f_y , Гц	n_x	n_y	$f_{ГНЧ}$, Гц	$\delta_{ГНЧ}$, %
50	25				
	50				
	75				
	100				
	150				
	200				
	250				

Погрешность градуировки генератора вычислять по формуле:

$$\delta_{\text{ГНЧ}} = \frac{f_{\text{ГНЧ}} - f_y}{f_y} \cdot 100\%$$

6. Измерение фазового сдвига при синусоидальной развертке.

Принцип измерения основан на зависимости вида фигуры Лиссажу (эллипса) от фазового сдвига между напряжениями U_y и U_x одной частоты.

Собрать схему рис. 8.8.

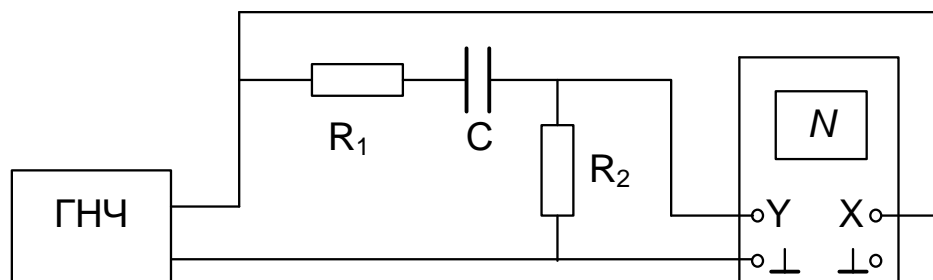


Рисунок 8.8 – Измерение фазового сдвига

В этой схеме в канал вертикального отклонения осциллографа подается напряжение $u_y = U_{ym} \sin(\omega t + \varphi)$, а в канал горизонтального отклонения – напряжение $u_x = U_{xm} \sin \omega t$. При выключенном генераторе развертки (переключатель вида синхронизации – в положении «ВХОД X») на экране осциллографа появляется осциллограмма в виде эллипса (рис. 8.9).

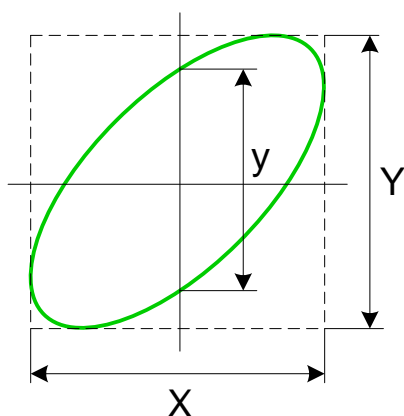


Рисунок 8.9 – Осциллограмма при измерении фазового сдвига

Установить по лимбу генератора частоту 50 Гц. Перед измерением, изменяя коэффициент отклонения K_0 и выходное напряжение ГНЧ, желательно уравнивать максимальные отклонения по вертикали Y и горизонтали X (т.е. вписать эллипс в квадрат). Измерить по осциллограмме отрезок Y и отсекаемый сторонами эллипса отрезок центральной оси y. Фазовый сдвиг φ рассчитать по формуле:

$$\varphi = \pm \arcsin \frac{y}{Y}.$$

Не изменяя напряжение ГНЧ, провести измерения на частотах 100, 200 и 500 Гц. Результаты измерений и вычислений записать в таблицу 8.6.

Таблица 8.6 – Измерение фазового сдвига

f , Гц	Y , дел.	y , дел.	φ , град
50			
100			
200			
500			

Содержание отчета

1. Таблица использованных приборов.
2. Схемы измерений всех опытов.
3. Таблицы результатов измерений и вычислений 8.1 – 8.6.
4. Осциллограмма одной из полученных фигур Лиссажу.
5. Выводы по работе.
6. Ответы на контрольные вопросы (по указанию преподавателя).

Контрольные вопросы

1. Какое назначение имеет электронно-лучевой осциллограф?
2. Для каких измерений можно применить ЭЛО?
3. Какое назначение имеют электронная пушка и отклоняющая система?
4. Почему на модуляторе отрицательный относительно катода потенциал?
5. Как сместить луч на экране по вертикали и горизонтали?
6. Что такое синхронизация? Какие существуют виды синхронизации?
7. В каких режимах может работать генератор развертки?
8. Что регулирует ручка «СТАБИЛЬНОСТЬ»? Как при ее вращении изменяется работа генератора развертки? Почему линия на экране пропадает, если ручку «СТАБИЛЬНОСТЬ» повернуть в крайнее левое положение?
9. Что представляют собой коэффициенты отклонения и развертки?
10. Почему на экране не виден обратный ход луча, как это достигается?
11. Почему, если ручку «ЯРКОСТЬ» повернуть в крайнее левое положение, изображение на экране пропадает?
12. Что такое "открытый" и "закрытый" вход?
13. Перечислите возможные причины, из-за которых при включении ЭЛО изображение на экране может отсутствовать.
14. Как измерить амплитуду, период и частоту переменного напряжения с помощью ЭЛО?
15. От чего зависит вид фигуры Лиссажу при синусоидальной развертке?