

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Физические методы контроля»

# КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности 1-54 01 02 «Методы и приборы  
контроля качества и диагностики состояния объектов»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2019



УДК 621.396.6  
ББК 323.844-02  
К 65

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Физические методы контроля» «5» октября 2018 г.,  
протокол № 3

Составители: канд. техн. наук, доц. В. Ф. Поздняков;  
ст. преподаватель А. Н. Прудников

Рецензент канд. техн. наук, доц. А. П. Прудников

В методических рекомендациях кратко изложены отдельные теоретические материалы и программы выполнения лабораторных работ по дисциплине «Контрольно-измерительная техника».

Учебно-методическое издание

## КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ответственный за выпуск	С. С. Сергеев
Технический редактор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 21 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 24.01.2014.  
Пр. Мира, 43, 212000, Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2019



## Содержание

1 Лабораторная работа № 1. Подготовка к работе и общие правила эксплуатации электроизмерительных приборов.....	4
2 Лабораторная работа № 2. Методы поверки аналоговых измерительных приборов.....	7
3 Лабораторная работа № 3. Измерение постоянных и переменных токов и напряжений аналоговыми и цифровыми приборами. Методы и схемы расширения диапазона измерения электроизмерительных приборов.....	10
4 Лабораторная работа № 4. Исследование методов и средств измерения параметров цепей постоянного и переменного токов.....	13
5 Лабораторная работа № 5. Методы и схемы измерения параметров периодических и импульсных сигналов.....	20
6 Лабораторная работа № 6. Измерения параметров магнитных полей.....	26
7 Лабораторная работа № 7. Схемы и методы измерения температуры.....	30
8 Лабораторная работа № 8. Исследование емкостных преобразователей.....	36
9 Лабораторная работа № 9. Исследование индуктивных преобразователей перемещения.....	39
10 Лабораторная работа № 10. Исследование резистивных преобразователей.....	44
Список литературы.....	48



# 1 Лабораторная работа № 1. Подготовка к работе и общие правила эксплуатации электроизмерительных приборов

## *Цель работы*

- 1 Изучить правила техники безопасности и охраны труда.
- 2 Изучить основные правила подготовки и безопасной работы с электроизмерительными приборами.
- 3 Получить практические навыки по эксплуатации электроизмерительных приборов.

## *1.1 Общие положения*

Электроизмерительная техника включает большой арсенал разнообразных по своим принципам, конструкции, назначению и исполнению средств. В основном это дорогостоящие и высокоточные приборы, комплексы, системы. С их помощью осуществляют контрольно-измерительные операции в условиях лаборатории, цехов, а также в полевых условиях. При всем их многообразии и специфике имеются некоторые общие правила, которые обеспечивают безопасную эксплуатацию и охрану труда.

Каждое средство измерений должно иметь паспорт и инструкцию по эксплуатации, которыми руководствуется обслуживающий персонал. Без изучения инструкции пользоваться приборами, установками, комплексами запрещается. Перед включением в сеть проверяется наличие заземления, а коммутирующие и регулирующие устройства выставляются в исходное состояние.

Работа в лаборатории проводится под наблюдением. При этом к каждой лабораторной установке должен быть обеспечен свободный доступ: не допускается загромождение проходов, хождение студентов и посторонних лиц во время занятий.

Мероприятия по технике безопасности и охране труда, технической надежности и пожарной защите являются составной частью подготовки и проведения лабораторных занятий. Эти мероприятия должен знать и обязательно выполнять каждый студент.

Руководитель эксперимента и испытаний должен проинструктировать перед началом эксперимента каждого участника правилам безопасной эксплуатации данной установки и проверить наличие защитных и контрольных устройств. Все участники эксперимента должны вести себя так, чтобы не создавать опасные ситуации.

Перед включением все участники извещаются об этом, например, фразой: «Включаю установку», «Подую напряжение» и т. д. По окончании эксперимента устройство должно быть отключено и надежно защищено от повторного включения.

Работа на электроустановках требует внимательного и ответственного отношения со стороны всех участников эксперимента. Электрический ток оказы-



вает на организм вредное физиологическое воздействие. Учитывая, что сопротивление тела человека колеблется от 10 до 100 кОм, при сравнительно небольшом напряжении может быть смертельный исход. Физиологическое действие электрического тока на организм представлено в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Воздействие электрического тока на организм

Сила тока, мА	На переменном токе 50 Гц	На постоянном токе
0,5...1,5	Легкое дрожание пальцев	Не ощущается
2,0...3,0	Сильное дрожание пальцев	Не ощущается
5,0...7,0	Слабая судорога	Зуд, ощущение нагрева
8,0...10,0	Сильная боль в пальцах и запястьях (руки ещё можно оторвать от электродов)	Усиленное ощущение нагрева
20,0...35,0	Сильная судорога, затрудненное дыхание (руки парализуются)	Сильное ощущение нагрева, сокращение мускулов
50,0...80,0	Прекращение дыхания	Судороги, затрудненное дыхание, невозможность оторвать руки от электродов
90,0...100,0	Прекращение дыхания, при воздействии свыше 3 с возникает паралич сердца	Прекращение дыхания

В таблице приведены некоторые средние значения тока. Однако при неблагоприятных обстоятельствах воздействие тока на организм человека может быть еще хуже. Каждый участник эксперимента должен знать, как в кратчайший срок обесточить установку.

При несчастных случаях с кажущимся смертельным исходом необходимо отключить установку и принимать меры к оживлению пострадавшего и не прекращать их до прибытия врача, даже если для этого потребуется несколько часов.

Безопасная и надежная эксплуатация средств измерений может быть обеспечена при соблюдении следующих рекомендаций:

- измерительные средства используются в строгом соответствии с инструкцией;
- измерительные средства необходимо защищать от ударов и сотрясений, от пыли;
- выбор прибора и его рабочего диапазона согласовывается с целью применения.

Для лабораторных условий применяются более точные приборы, для цеховых – более грубые. Многопредельные приборы перед началом работы и после необходимо переключить на самый большой диапазон;

– регулируемые источники питания перед началом работы необходимо переключать на минимальное значение;

– универсальные приборы необходимо после измерений всегда переключать на наибольший диапазон измерения постоянного напряжения, так как в этом положении он может выдержать самые большие перегрузки. При транспортировке таких приборов следует устанавливать наибольший диапазон изме-



рений постоянного тока;

- к работе с приборами допускаются знающие работники;
- при работе с приборами на лабораторной установке более точные и высокочувствительные приборы устанавливаются так, чтобы они всегда находились в поле зрения наблюдателя. Соединительные провода прокладываются так, чтобы при подключении и отключении их приборы не могли быть сброшены со стола;
- измерительные приборы и установки должны содержаться в чистоте.

## ***1.2 Подготовка к работе и общие правила эксплуатации электроизмерительных приборов***

Электроизмерительные средства специального и общепромышленного применения требуют определенного опыта и знаний по их эксплуатации, хранению и транспортировке. От соблюдения основных правил по эксплуатации зависит качество эксперимента, безопасность оператора и средства.

Каждое измерительное средство должно иметь паспорт и инструкцию по подготовке и эксплуатации, а также документ, подтверждающий его своевременную аттестацию (поверку).

Перед включением в сеть все электронные приборы должны быть заземлены. При этом проверяются калибровки, наличие “нуля” и другие параметры (по инструкции). Положение переключателей, регуляторов и других коммутирующих устройств на передней панели прибора должно строго соответствовать требованиям, изложенным в инструкции. Для аналоговых приборов обязательно корректируется нулевое значение перед употреблением и при переходе на другой рабочий диапазон (тестеры, омметры, амперметры, вольтметры и т. д.).

На универсальных измерительных приборах и комплексах строго контролируется положение переключателей рода тока, вида измеряемой величины, режима работы, напряжения сети питания и т. д.

Без проверки включать прибор категорически запрещается.

## ***1.3 Программа работы***

1.3.1 Ознакомиться с лабораторной установкой и особенностями составляющих ее устройств.

1.3.2 Изучить инструкции по подготовке и эксплуатации приборов (по заданию).

1.3.3 Подготовить измерительные приборы к работе, проверить соответствие всех положений переключателей рекомендациям инструкции и включить приборы в сеть.

1.3.4 Произвести измерения заданных электрических величин.



## 2 Лабораторная работа № 2. Методы поверки аналоговых измерительных приборов

### *Цель работы*

- 1 Изучить методы поверки измерительных средств.
- 2 Изучить схему поверки амперметра.
- 3 Определить класс точности поверяемого амперметра.
- 4 Изучить схему поверки вольтметра.
- 5 Определить класс точности поверяемого вольтметра.

### *2.1 Основные теоретические положения*

Для обеспечения гарантированной точности измерений проводится периодическая поверка средств измерений.

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

В практике поверки измерительных приборов нашли применение два способа:

- 1) сопоставление показаний поверяемого и образцового приборов;
- 2) сравнение показаний поверяемого прибора с мерой данной величины.

При поверке первым способом в качестве образцовых приборов выбираются приборы с более высокими метрологическими характеристиками, чаще всего цифровые амперметры и вольтметры.

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 в 3...5 раз ниже погрешности поверяемого прибора.

Погрешность выражают в виде абсолютных величин и в виде относительных.

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.

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



Для проверки вольтметра образцовый и поверяемый вольтметры включают параллельно.

Для проверки амперметра образцовый и поверяемый амперметры включают последовательно.

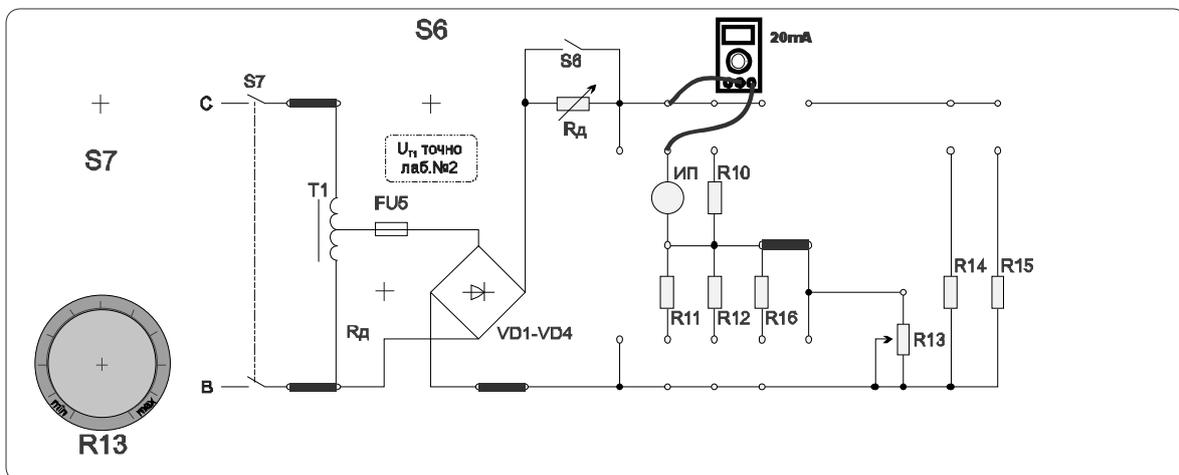
## 2.2 Порядок выполнения работы

2.2.1 Для определения класса точности амперметра собрать схему, показанную на рисунке 2.1.

2.2.2 Перед включением стенда установить переключатель ЛАТРа в начальное положение (10 В).

2.2.3 Переменный резистор R13 установить на максимальное сопротивление.

2.2.4 Включить стенд тумблером «СЕТЬ», затем – тумблер включения ЛАТРа (S7), далее – тумблер питания цепей постоянного тока (S6).



ИП – исследуемый прибор

Рисунок 2.1 – Схема для определения класса точности амперметра

2.2.5 Изменить величину тока плавно с помощью переменного резистора R13.

2.2.6 Сделать необходимое для расчетов количество замеров.

2.2.7 По окончании работы вернуть все аппараты в исходное состояние.

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

2.2.9 Вычислить приведенную погрешность поверяемого амперметра.

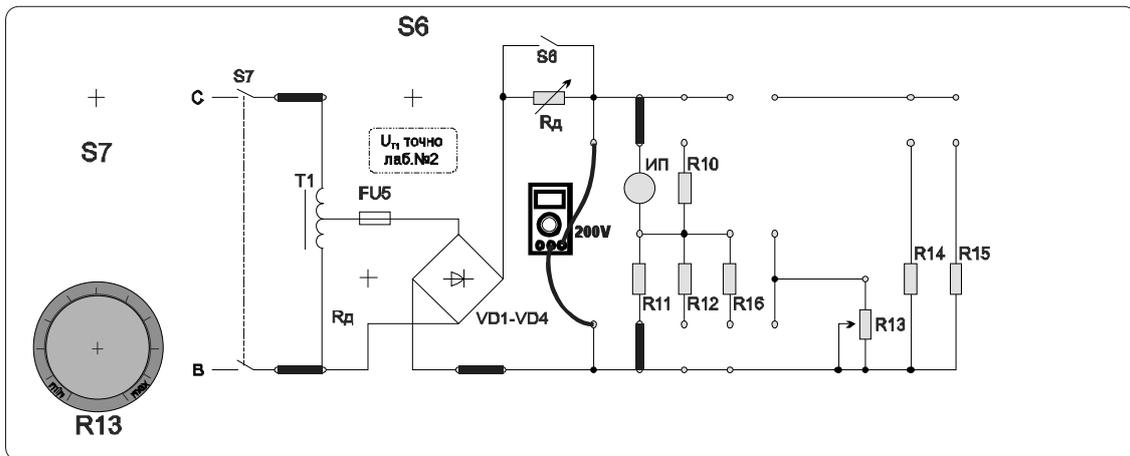
2.2.10 Определить класс точности поверяемого амперметра и сравнить его с классом точности нанесенного на шкале поверяемого амперметра.

2.2.11 Для определения класса точности вольтметра собрать схему, показанную на рисунке 2.2.

2.2.12 Включить стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа T1 – S7.

В данной работе в качестве поверяемого вольтметра используется миллиамперметр ИП с добавочным сопротивлением R11 (при этом его максимальное

отклонение равно 50 В), контрольным является мультиметр, установленный на предел измерения «200V».



ИП – поверяемый вольтметр

Рисунок 2.2 – Схема для определения класса точности вольтметра

2.2.13 Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения (величина контролируется по мультиметру) до получения измеряемого напряжения на приборе ИП. Точная установка величины измеряемого напряжения производится переменным резистором  $R_d$ .

2.2.14 Сделать необходимое для расчетов количество замеров.

2.2.15 По окончании работы вернуть все аппараты в исходное положение и отключить стенд.

2.2.16 Вычислить по результатам измерения абсолютную погрешность в нескольких точках шкалы поверяемого вольтметра.

2.2.17 Вычислить приведенную погрешность поверяемого вольтметра.

2.2.18 Определить класс точности поверяемого вольтметра и сравнить его с классом точности нанесенного на шкале поверяемого вольтметра.

### Контрольные вопросы

1 Что такое класс точности измерительного прибора?

2 Какие варианты способа сличения показаний поверяемого и образцового приборов вам известны?

3 Как проверяют соответствие поверяемого прибора указанному на шкале классу точности?

4 Возможно ли проведение поверки вольтметра класса 0,5 с помощью вольтметра класса 0,2?

5 Приведите уравнение шкалы прибора электродинамической системы для измерения мощности в цепях постоянного и переменного напряжений.

6 Укажите область применения электродинамических приборов.

### 3 Лабораторная работа № 3. Измерение постоянных и переменных токов и напряжений аналоговыми и цифровыми приборами. Методы и схемы расширения диапазона измерения электроизмерительных приборов

#### Цель работы

- 1 Изучить методы расширения пределов измерения амперметров.
- 2 Изучить методы расчета сопротивления шунтов.
- 3 Изучить методы расширения пределов измерения вольтметров.
- 4 Изучить методы расчета сопротивления добавочных резисторов.

#### 3.1 Основные теоретические положения

**3.1.1 Расширение пределов измерения амперметра.** Для расширения пределов измерения амперметров применяют особые вспомогательные устройства – шунты.

Шунт представляет собой четырехзажимный резистор  $R_{ш}$ , который вместе с измерительным механизмом, подключенным к его потенциальным зажимам  $\Pi$ , при помощи токовых зажимов  $T$  включается в цепь измеряемого тока  $I_x$  (рисунок 3.1).

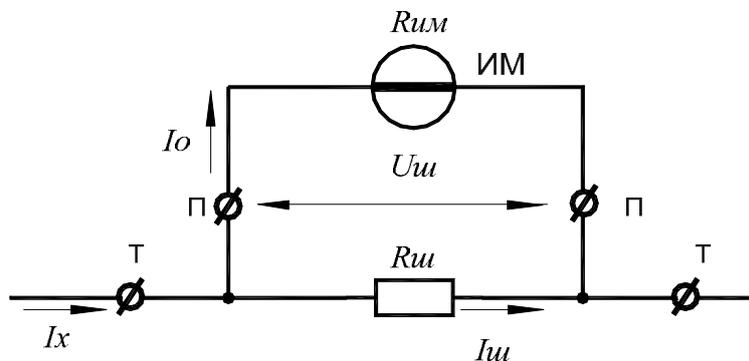


Рисунок 3.1 – Схема подключения шунта к амперметру

Это позволяет расширить пределы измерения измерительного механизма по току, т. е. измерять токи, значительно превосходящие ток, на который рассчитан измерительный механизм. Сопротивление шунта можно найти по формуле

$$R_{ш} = \frac{R_{и.м.}}{n - 1},$$

где  $R_{и.м.}$  – сопротивление измерительного механизма.

Шунты изготавливаются из манганина и применяются почти исключительно с магнитоэлектрическими измерительными механизмами на постоянном токе.

Применять шунты для электродинамической системы и других систем нецелесообразно, поскольку эти измерительные механизмы потребляют большую мощность, что приводит к необходимости иметь значительные  $U_{им}$ , а следовательно, и  $R_{им}$ , приводящие в свою очередь к увеличению габаритов и массы шунтов.

На токи до 30...50 А применяют внутренние шунты, помещаемые в корпусе прибора. На большие токи шунты делаются наружными – для исключения нагревания прибора выделяемой в шунте мощностью. Наружные шунты изготавливаются на токи до 10000 А и имеют массивные наконечники из красной меди для включения в цепь тока.

**3.1.2 Расширение пределов измерения вольтметра.** Резистор, включенный последовательно с измерительным механизмом (рисунок 3.2), называется добавочным. Его основное назначение – преобразовать напряжение в ток.

Отсюда сопротивление резистора

$$R'_o = R_{им} \cdot (n - 1),$$

где  $R_{им}$  – сопротивление ИМ.

Добавочные резисторы изготавливаются обычно из манганиновой проволоки, намотанной на каркас из изоляционного материала.

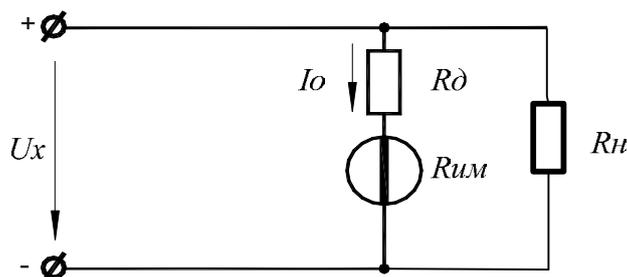


Рисунок 3.2 – Схема подключения добавочного сопротивления к вольтметру

У вольтметров с верхним пределом измерения до 300 В добавочные резисторы встраивают внутри корпуса прибора. При устройстве вольтметров с пределом измерения свыше 300 В добавочные резисторы из-за их размеров и по условиям охлаждения устанавливают вне корпуса прибора.

В зависимости от точности подгонки добавочные резисторы подразделяются на следующие классы: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0.

## 3.2 Порядок выполнения работы

3.2.1 Собрать схему согласно рисунку 3.3.

3.2.2 Перед включением стенда установить переключатель ЛАТРа в начальное положение.

3.2.3 Переменный резистор R13 установить на максимальное сопротивление.

3.2.4 В данной работе поверяемым является миллиамперметр ИП с добавочным шунтом R10 (при этом величина его полного отклонения равна 25 мА),

а контрольным – мультиметр с установленным пределом измерения «20mA».

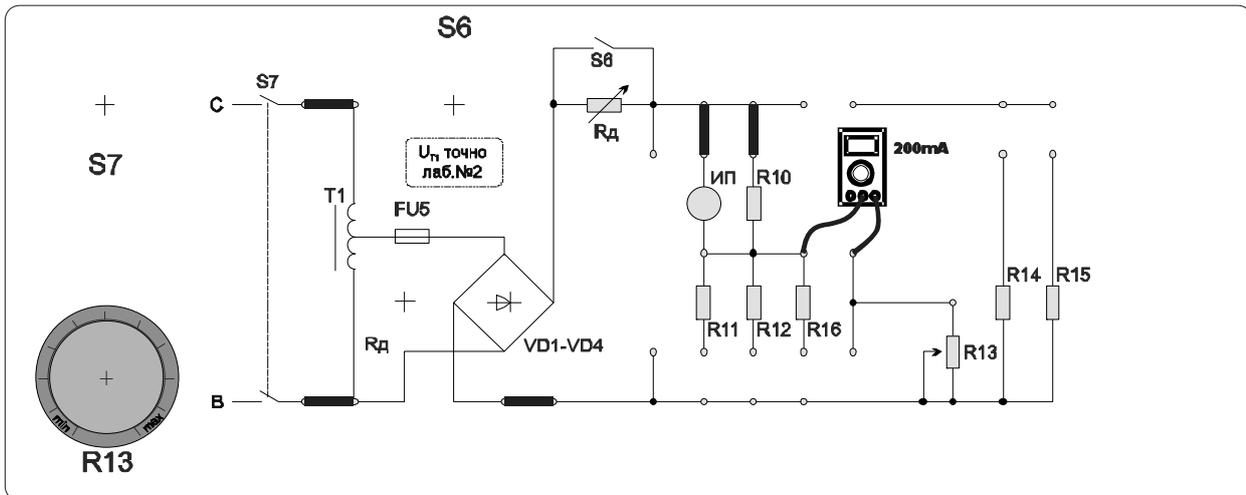


Рисунок 3.3 – Схема для расширения предела измерения амперметра

3.2.5 Включить стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа Т1 (S7), далее – тумблер питания цепей постоянного тока (S6).

3.2.6 Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения ( $V_2$ ) до получения измеряемого тока, дальнейшее увеличение тока осуществляется плавно с помощью переменного резистора R13. Сделать необходимое для расчетов количество замеров.

3.2.7 Определить величину сопротивления шунта R10 измерительного прибора ИП, для чего измерить омметром сопротивление рамки измерительного механизма.

3.2.8 Собрать схему согласно рисунку 3.4.

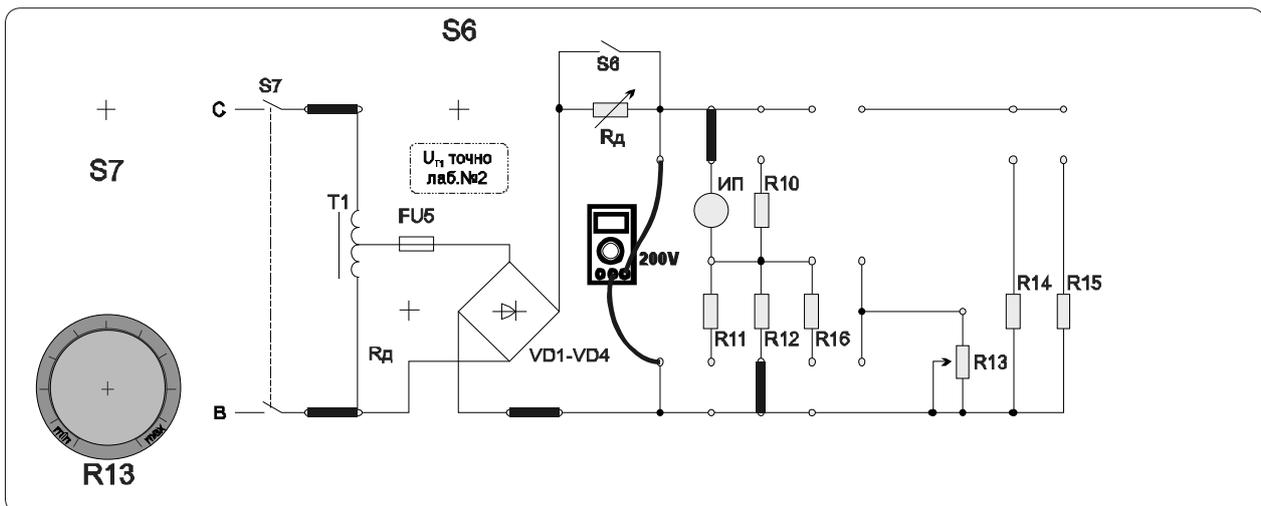


Рисунок 3.4 – Схема для расширения предела измерения вольтметра

3.2.9 В данной работе в качестве поверяемого вольтметра используется миллиамперметр ИП с  $U_n = 100$  мВ и добавочным резистором  $R'_d = R12$  (при

этом его максимальное отклонение соответствует 100 В), контрольным является мультиметр с установленным пределом измерения «200V»; а для случая ИП с добавочным резистором R11 максимальное отклонение соответствует 50 В.

3.2.10 Включить стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа Т1 (S7). Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения (V2) до получения измеряемого напряжения на приборе ИП. Точная установка величины измеряемого напряжения производится резистором  $R_d$ .

3.2.11 Сделать необходимое для расчетов количество замеров.

3.2.12 Определить величину сопротивления добавочного резистора измерительного прибора ИП, для чего измерить его внутреннее сопротивление.

### **Контрольные вопросы**

1 Какой вид имеет схема включения наружных шунтов?

2 Определите сопротивление шунта для измерительного механизма с током полного отклонения 5 мА и  $R_{ш} = 3$  Ом, если нужно измерить ток 150 А.

3 Каким должно быть сопротивление шунта к миллиамперметру, рассчитанному на 75 мВ, с током полного отклонения 7,5 мА для измерения тока 7,5 А?

4 Какой ток можно измерить прибором, рассчитанным на 10 мА ( $R_{ш} = 10$  Ом), если его включить с шунтом, сопротивление которого  $R_{ш} = 0,01$  Ом?

5 Какие вспомогательные элементы применяются для изменения пределов измерения магнитоэлектрических вольтметров?

6 Какого порядка должно быть сопротивление добавочного резистора к измерительному механизму с  $R_o = 1$  Ом и падением напряжения на рамке  $U_o = 10$  мВ для получения вольтметра с  $U_n = 10$  В?

7 До какого значения напряжения будет расширен предел измерения вольтметра с сопротивлением рамки  $R_o = 1$  Ом и падением напряжения на ней  $U_o = 10$  мВ при включении добавочного резистора  $R_d = 100$  кОм?

## **4 Лабораторная работа № 4. Исследование методов и средств измерения параметров цепей постоянного и переменного токов**

### **Цель работы**

1 Изучить схемы определения сопротивлений по методу вольтметра и амперметра.

2 Оценить погрешность измерения при различных способах включения вольтметра и амперметра.

3 Изучить косвенный метод измерения индуктивности.



## 4.1 Основные теоретические положения

4.1.1 *Измерение сопротивлений косвенным методом.* Метод вольтметра и амперметра – косвенный способ определения различных сопротивлений, позволяющий ставить элемент с определенным сопротивлением в рабочие условия. Этот метод основан на использовании закона Ома для участка цепи, сопротивление  $R_x$  которого определяется по известному падению напряжения  $U_x$  на нем и току  $I_x$ :

$$R_x = U_x / I_x. \quad (4.1)$$

Существуют различные способы измерения падения напряжения  $U_x$  и тока  $I_x$  (рисунок 4.1).

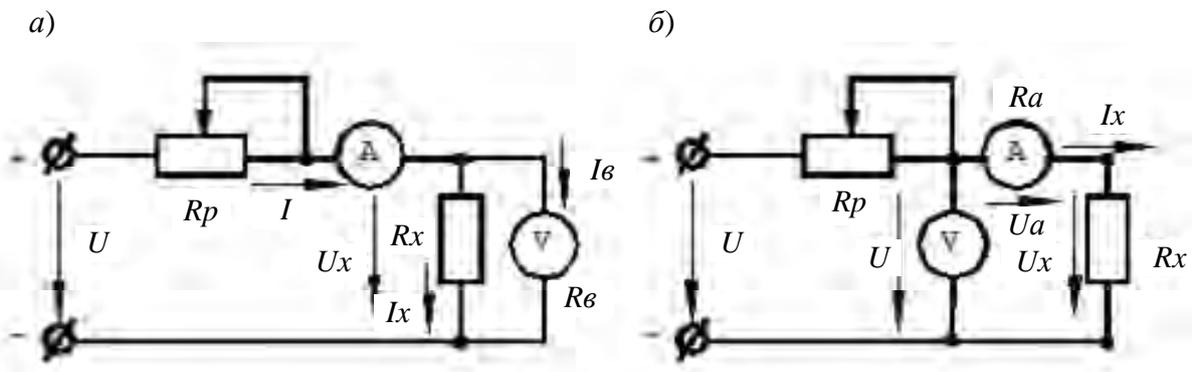


Рисунок 4.1 – Схемы для измерения сопротивлений косвенным методом

Измерительные части приведенных схем не обеспечивают одновременное измерение напряжения  $U_x$  и тока  $I_x$ . Так, первая схема (см. рисунок 4.1, б) позволяет измерить с помощью вольтметра напряжение  $U_x$ , а амперметр дает возможность определить ток  $I$ , равный сумме  $I_x$  и  $I_v$ , из которых последний является током обмотки вольтметра. В этом случае определяемое сопротивление

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_v} = \frac{U_x}{I - \frac{U_x}{R_v}},$$

где  $R_v$  – сопротивление вольтметра.

Во второй схеме амперметр учитывает ток  $I_x$ , но вольтметр показывает напряжение  $U$ , равное сумме падений напряжений  $U_x$  на сопротивлении  $R_x$  и  $U_a$  на амперметре. Поэтому определяемое сопротивление

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - U_a}{I_x} = \frac{U}{I_x} - R_a,$$

где  $R_a$  – сопротивление амперметра.

Следовательно, если при расчете определяемого сопротивления учитывать сопротивления приборов, то все схемы равноценны.

Если определяемое сопротивление  $R_x$  мало по сравнению с сопротивлением вольтметра  $R_v$ , током  $I_v$  можно пренебречь и, применяя первую схему (см. рисунок 4.1, а), находить сопротивление  $R_x$  так:

$$R_x = R_x = \frac{U_x}{I},$$

допуская относительную погрешность

$$\gamma'_0 = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R'_x}{R_v} = -\frac{R_x}{R_x + R_v}.$$

В этих случаях, когда определяемое сопротивление  $R_x$  сравнимо с сопротивлением вольтметра  $R_v$  и пренебречь током  $I_v$  нельзя, следует пользоваться второй схемой (см. рисунок 4.1, б) и при расчете не учитывать падение напряжения  $U_a$  на амперметре, определяя сопротивление  $R_x$  так:

$$R_x = R'_x = \frac{U_x}{I}$$

при относительной погрешности измерения

$$\gamma''_0 = \frac{R'_x - R_x}{R_x} = \frac{R_a}{R_x - R_a} = \frac{R_a}{R_x}.$$

Для выявления пределов целесообразности использования той или другой схемы следует приравнять относительные погрешности, а затем найти значение сопротивления  $R_x$ , для которого обе схемы равноценны:

$$\frac{R_x}{R_x - R_v} = \frac{R_a}{R_x}$$

или

$$R_x^2 - R_a \cdot R_x - R_v \cdot R_a = 0.$$

Откуда

$$R_x \cong \sqrt{R_v \cdot R_a}.$$

Следовательно, для сопротивлений  $R_x < \sqrt{R_v R_a}$  предпочтительна первая схема (см. рисунок 4.1, а), а для сопротивлений  $R_x > \sqrt{R_v \cdot R_a}$  – вторая



(см. рисунок 4.1, б). Первую называют схемой определения «малых» сопротивлений, а вторую – схемой для определения «больших» сопротивлений.

При определении сопротивлений методом вольтметра и амперметра следует выбирать магнитоэлектрические приборы с такими пределами измерений, чтобы показания их были близки к номинальным значениям, т. к. это обеспечивает меньшие погрешности измерения.

**4.1.2 Измерение индуктивности косвенным методом.** Как и при измерении сопротивления постоянному току, для измерения индуктивности применим метод амперметра и вольтметра. Необходимо лишь иметь в виду, что в данном случае определение погрешностей измерения  $Z_x$  (полного сопротивления катушки индуктивности), обусловленных сопротивлением приборов, затруднительно, т. к. погрешности зависят не только от значения  $Z_x$ , но и от составляющих полного сопротивления измерительных приборов.

В связи с этим применяется метод трех приборов – амперметра, вольтметра и ваттметра. Для больших сопротивлений используется схема, показанная на рисунке 4.2, а, а для малых – на рисунке 4.2, б.

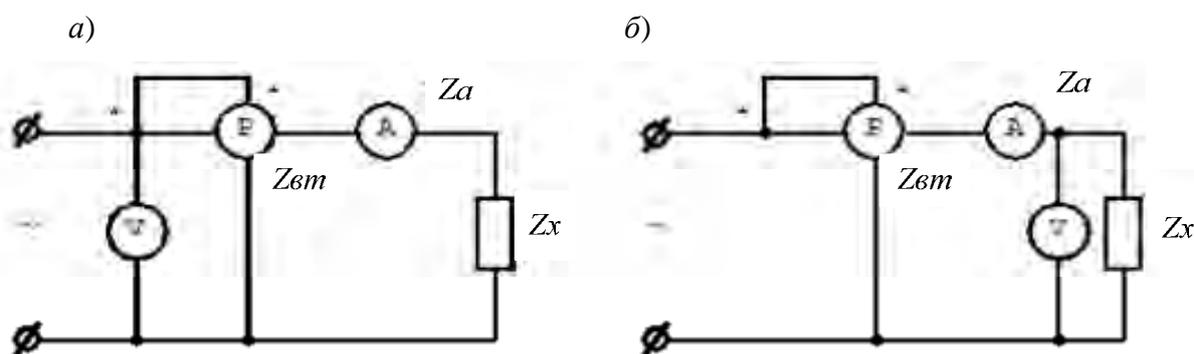


Рисунок 4.2 – Схема для косвенных измерений сопротивления

В первом случае значение полного сопротивления, определенное по показаниям вольтметра и амперметра,

$$Z'_x = \frac{U}{I}$$

будет больше действительного  $Z_x$  на величину геометрической суммы сопротивлений амперметра и последовательной обмотки ваттметра.

По показаниям приборов в схеме (см. рисунок 4.1, а) можно определить активное сопротивление

$$R'_x = P/I^2 = R_x + R_a + R_{em},$$

где  $R_a$  и  $R_{em}$  – активные сопротивления соответственно амперметра и последовательной обмотки ваттметра.

Реактивное сопротивление

$$X'_x = \sqrt{(Z'_x)^2 - (R'_x)^2}.$$

Зная активное и реактивное сопротивление приборов, можно найти активное, реактивное и полное сопротивления элемента цепи:

$$R_x = R'_x - R_a - R_{em}; \quad X_x = X'_x - X_a - X_{em};$$

$$Z_x = \sqrt{R_x^2 + X_x^2}; \quad L_x = Z_x / (2 \cdot \pi \cdot f).$$

Применительно к схеме, приведенной на рисунке 4.2, б, по показаниям приборов вычисляют активную и реактивную проводимости и находят активную, реактивную и полную проводимости измеряемого элемента цепи. Точность измерения рассмотренным методом невелика, причем особенно большие погрешности имеют место при определении составляющих полного сопротивления (или проводимости).

#### 4.2 Порядок выполнения работы

В данной работе необходимо косвенным методом измерить сопротивление  $R_{14}$  (малой величины 300 Ом) и сопротивление  $R_{15}$  (сравнимое с сопротивлением обмотки вольтметра 10 кОм).

4.2.1 Измерить сопротивления малой величины.

4.2.2 Собрать схему согласно рисунку 4.3, сначала с включением вольтметра (мультиметра с установленным пределом измерения напряжения «200V») до амперметра (мультиметра с установленным пределом измерения тока «20mA»), а затем собрать схему с включением вольтметра после амперметра. Включить стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа Т1 (S7), далее – тумблер питания цепей постоянного тока (S6). Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения до получения измеряемого тока.

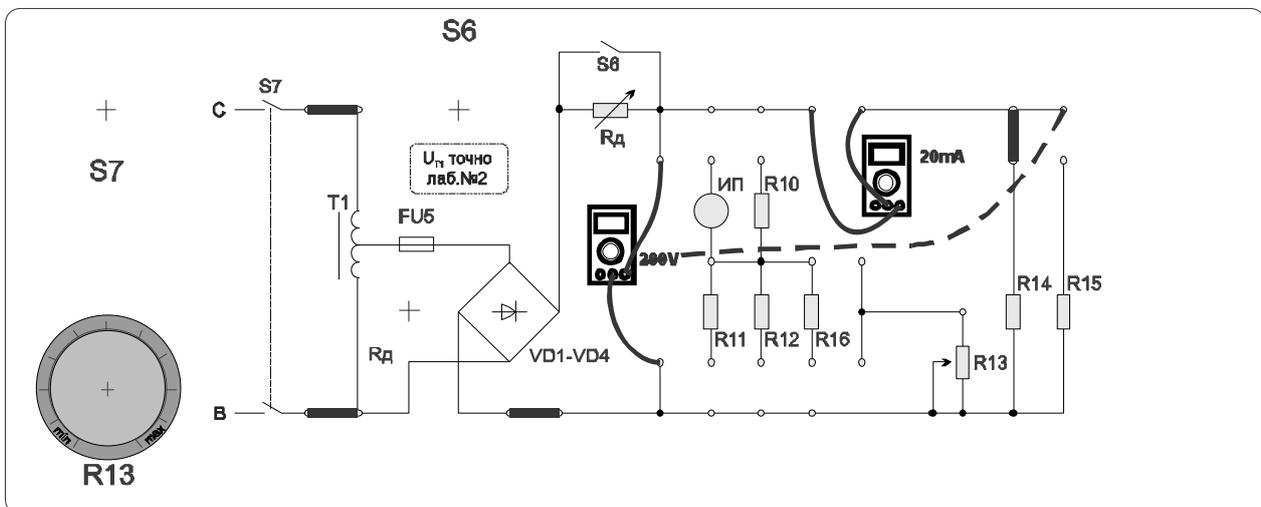


Рисунок 4.3 – Схема для измерения сопротивлений малой величины

4.2.3 Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения до получения измеряемого тока.

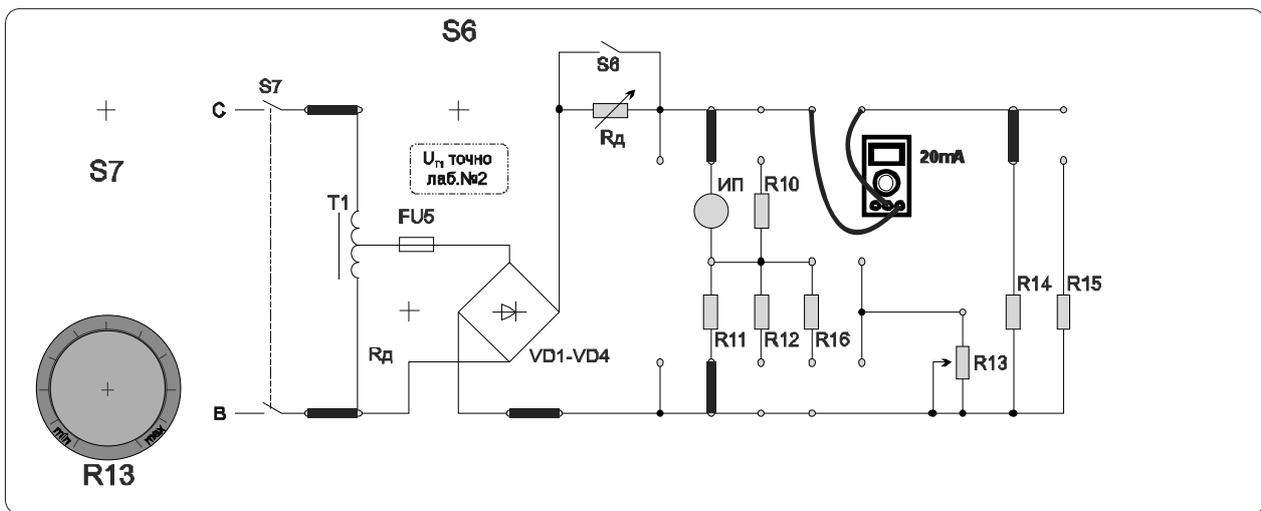
4.2.4 Сделать перекоммутацию цепи таким образом, чтобы амперметр был включен после вольтметра, и повторить измерения.

4.2.5 Измерить сопротивления большой величины.

В данном опыте измеряется сопротивление  $R_{15}$ , вольтметром служит миллиамперметр ИП с добавочным сопротивлением  $R_{11}$  (предел измерения 50 В и внутреннее сопротивление 10 кОм).

4.2.6 Собрать схему согласно рисунку 4.4, а.

а)



б)

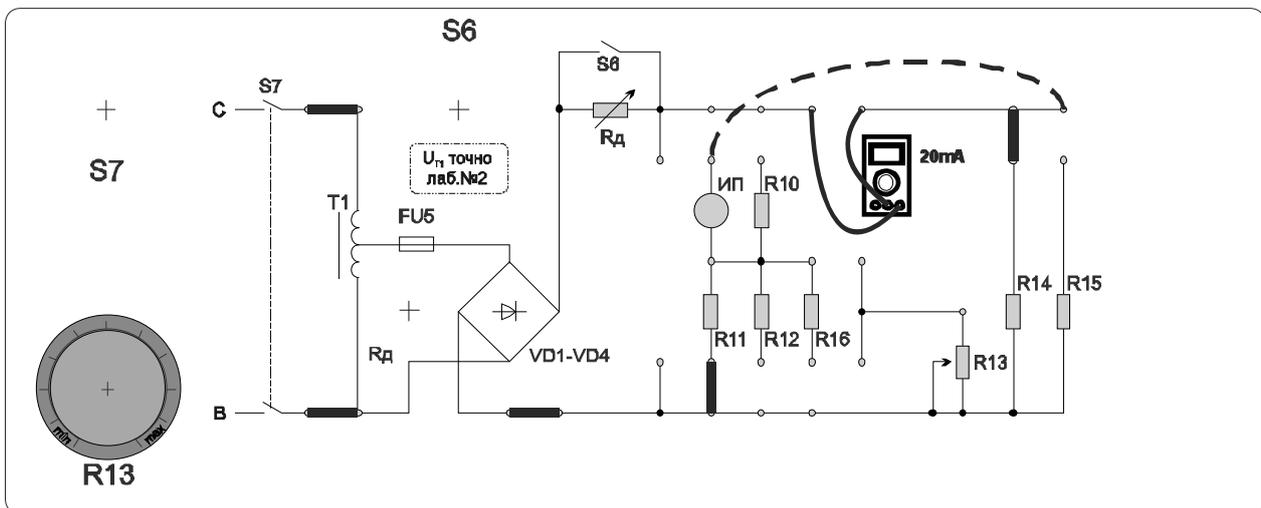


Рисунок 4.4 – Схемы для измерения больших сопротивлений

4.2.7 Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения (в качестве вольтметра – прибор ИП на пределе 50 В) до получения измеряемого тока. По окончании опыта вернуть все аппараты в исходное положение и отключить стенд.

4.2.8 Сделать перекоммутацию таким образом, чтобы амперметр А2 был включен до вольтметра, и повторить измерения (рисунок 4.4, б).

4.2.9 Рассчитать  $R_x$  по схеме (см. рисунок 4.3) и по формуле (4.1).

4.2.10 Измерить сопротивление с помощью омметра. Оценить погрешность измерения, сравнив расчетное значение с измеренным.

4.2.11 Рассчитать  $R_x$  по схеме (см. рисунки 4.4, а, б) и по формуле (4.1).

4.2.12 Измерить сопротивление с помощью омметра. Оценить погрешность измерения, сравнив расчетное значение с измеренным.

4.2.13 Собрать схему согласно рисунку 4.5. Включить стенд, затем – тумблер включения питания ЛАТРа Т1 (S4). Изменить переключателем ЛАТРа величину напряжения (V1) до получения измеряемого тока на приборе А1.

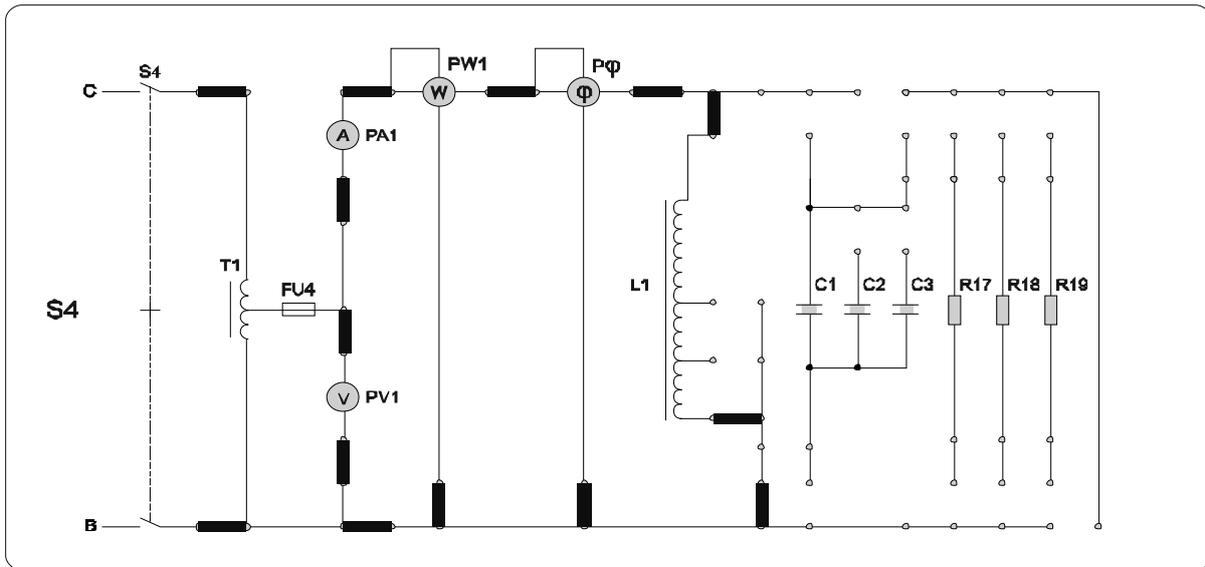


Рисунок 4.5 – Схема для измерения индуктивности косвенным методом

4.2.14 Изменяя величину напряжения, установить такие величины тока и мощности, которые можно достаточно точно измерить. Повторить измерения с различными величинами индуктивности.

4.2.15 Результаты опыта занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений и расчетов

Измерение				Расчет					
$N$	$U$ , В	$I$ , А	$P$ , Вт	$Z_x$ , Ом	$R_x$ , Ом	$X_x$ , Ом	$L_x$ , Гн	$\Delta$	$\delta$ , %

4.2.16 Определить индуктивность катушки с учетом известных значений  $R_a$ ,  $R_{em}$ ,  $X_{em}$ ,  $X_a$ .

4.2.17 Определить значение индуктивности катушки без учета  $R_a$ ,  $R_{em}$ ,  $X_a$ ,  $X_{em}$  по показаниям амперметра, вольтметра и ваттметра:

$$R_x = P/I^2; \quad X_x = \sqrt{(Z_x^2 - R_x^2)}; \quad L = X_x/(2 \cdot \pi \cdot f).$$

4.2.18 Определить абсолютную  $\Delta$  и относительную  $\delta$  погрешности.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что понимают под измерением сопротивления?
- 2 Почему при определении сопротивления по методу амперметра и вольтметра следует применять различные схемы включения измерительных приборов?
- 3 Какие сопротивления при определении по методу вольтметра и амперметра принято считать «большими» и какие «малыми»?
- 4 В чем суть косвенного метода измерения?
- 5 Зависит ли схема включения  $A$ ,  $V$ ,  $P$  от значения неизвестного сопротивления катушки индуктивности?

## **5 Лабораторная работа № 5. Методы и схемы измерения параметров периодических и импульсных сигналов**

### **Цель работы**

- 1 Изучить методы измерения параметров периодических и импульсных сигналов.
- 2 Получить навыки работы с электроизмерительными приборами.

### **5.1 Общие положения**

Для детерминированных сигналов характерна привязка ко времени. Условно их можно отнести к импульсным и синусоидальным. Все эти сигналы характеризуются рядом параметров: частотой, амплитудой, фазой, длительностью импульсов.

Синусоидальные сигналы описываются следующим образом:

$$x(t) = A \sin(\omega t + \varphi),$$

где  $A$  – определяет амплитуду сигнала и может быть как положительной, так и отрицательной величиной;

$\omega$  – является круговой частотой и связана с частотой  $f$  зависимостью

$$f = \frac{\omega}{2\pi};$$

$\varphi$  – характеризует фазовый сдвиг относительно момента начала измерения. Он может быть как положительным, так и отрицательным.

Графически эти параметры можно изобразить следующим образом (рисунок 5.1).

Для двух сигналов, имеющих одинаковые частоты, существует сдвиг фаз



$$x_1 = A_1 \sin(\omega t + \varphi_1);$$

$$x_2 = A_2 \sin(\omega t + \varphi_2);$$

$$\varphi = \varphi_1 - \varphi_2.$$

Графически он отобразится следующим образом (рисунок 5.2).

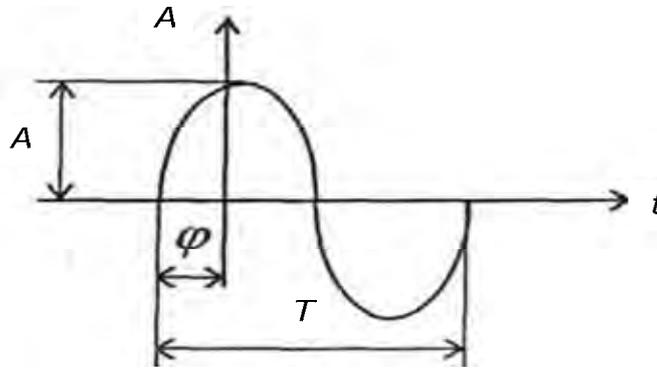


Рисунок 5.1 – Основные параметры синусоидального сигнала

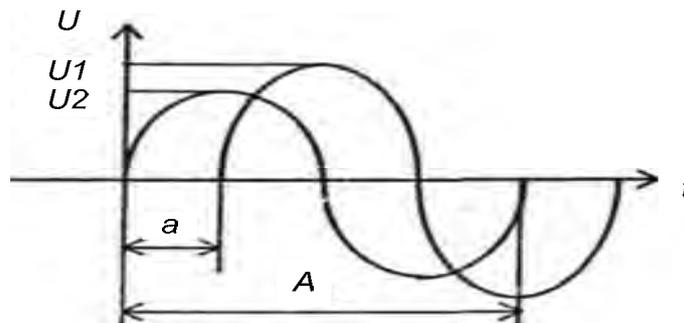


Рисунок 5.2 – Сдвиг фаз двух синусоидальных сигналов

Синусоидальные сигналы могут модулироваться.

Модуляция – это преобразование сигнала в другой сигнал путем изменения других параметров несущего сигнала согласно преобразующего (модулирующего) сигнала.

В синусоидальном сигнале имеются три параметра: амплитуда, частота, фаза.

Амплитудная модуляция – изменение амплитуды несущего сигнала согласно модулирующего.

Частотная модуляция – изменение несущей частоты согласно модулирующего сигнала.

Фазовая модуляция – изменение фазы несущей частоты согласно модулирующего сигнала.

Импульсные сигналы, как и синусоидальные, характеризуются своей частотой и периодом. Но в отличие от синусоидальных сигналов они имеют ряд специфических параметров.

Длительность импульсов  $\tau_{и}$  – интервал от момента появления до момента

исчезновения импульса.

Скважность импульсов  $\sigma$  – отношение периода импульсов к длительности импульса (рисунок 5.3):

$$\sigma = \frac{T}{\tau_u}$$

Величина, обратная скважности, называется коэффициентом заполнения:

$$K = \frac{\tau_u}{T}$$

Полярность импульсов – положительная или отрицательная.

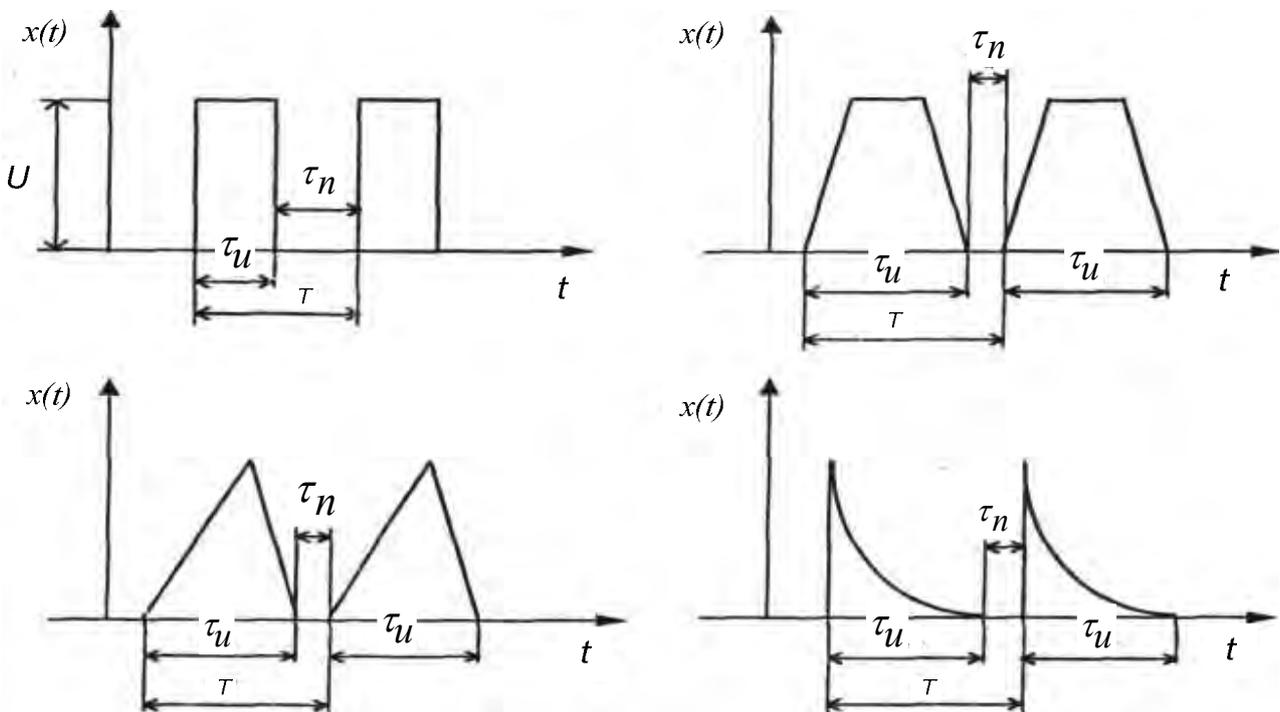


Рисунок 5.3 – Общий вид некоторых импульсных сигналов

Временной сдвиг – время между двумя импульсами в последовательности.

Полоса частот, используемая в современной технике, занимает диапазон от  $10^{-3}$  до  $10^{10}$  Гц.

Наиболее широкое распространение в настоящее время нашли цифровые приборы.

Сдвиг по фазе между напряжениями, токами или напряжением и током измеряется у сигналов одинаковой частоты. Наиболее часто в промышленности сдвиг фаз возникает между током и напряжением сети промышленного тока. Его измерение осуществляют, определив значение тока, напряжения и мощности в сети.

Для частоты выше 200 Гц измерение сдвига фаз осуществляется с помощью электронного осциллографа. При этом оценка может производиться непосредственно по осциллограммам.

Определение угла сдвига фаз по осциллограмме осуществляется с помощью многолучевого осциллографа. На осциллограмме (см. рисунок 5.2) отрезок  $\alpha$  будет определять фазовый сдвиг между двумя напряжениями  $U_1$  и  $U_2$ . Отношение отрезка  $\alpha$  к отрезку периода  $A$ , умноженному на  $360^\circ$ , дает угол

$$\varphi = \frac{\alpha}{A} 360^\circ.$$

При амплитудной модуляции полезный сигнал преобразуется в изменение амплитуды несущего сигнала. Результирующий сигнал записывается выражением

$$U(t) = U_m (1 + m \cdot \sin \Omega t) \sin \omega t,$$

где  $\omega$  – несущая частота;

$\Omega$  – моделирующая частота;

$$m - \text{глубина модуляции, } m = \frac{\Delta U}{U_0} = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\max} + U_{\min}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Коэффициент амплитудной модуляции является основным параметром моделируемого сигнала. Он может изменяться посредством осциллографа или с помощью стрелочных или цифровых модуляторов.

Общий вид амплитудно-модулированного сигнала приведен на рисунке 5.4.

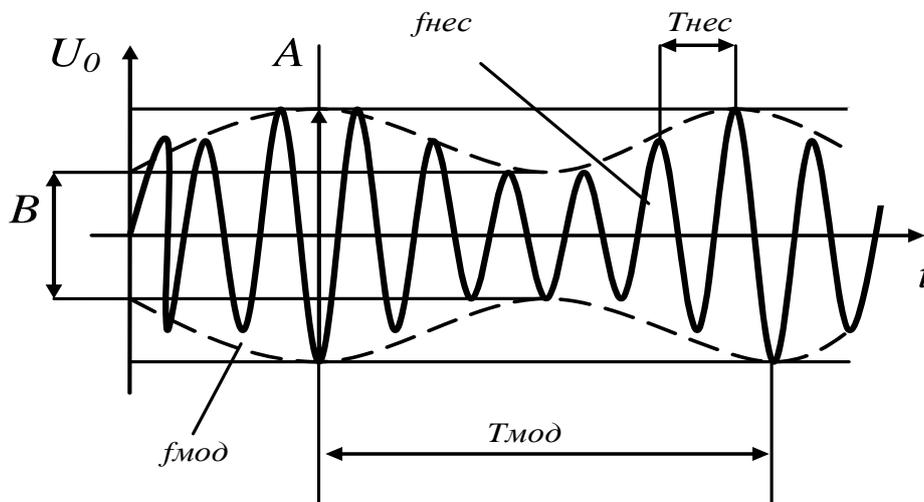


Рисунок 5.4 – Общий вид амплитудно-модулируемого сигнала

Для измерения коэффициента  $m$  также используют и цифровые измерители модуляции.

Длительность импульсов измеряется методом сравнения с периодами колебаний известной частоты. Он может осуществляться с помощью электронного осциллографа или цифрового частотомера. При измерениях по осциллограмме определяется длина отрезка от переднего и заднего фронта и производится оценка масштаба деления шкалы. В результате умножения получается длительность импульса.

В случае большой скважности импульса  $\sigma > 10$  весь период последова-

тельности не уменьшается на экране осциллографа.

Для измерения длительности импульса в таких случаях необходимо масштабирование его длительности и значение его временного положения плавной задержкой относительно реального времени появления.

Основные характеристики импульса (рисунок 5.5):

- длительность переднего фронта  $\Delta t_1$ ;
- длительность заднего фронта  $\Delta t_2$ ;
- величина выброса;
- величина спада;
- величина нижнего выброса.

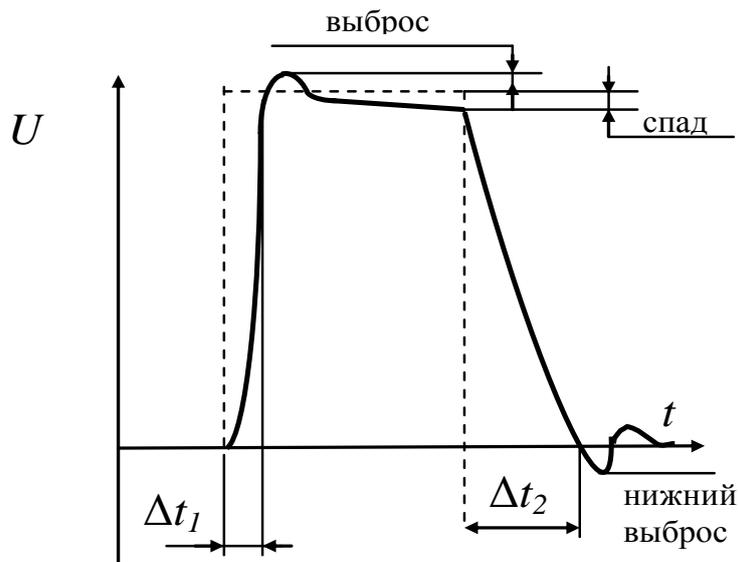


Рисунок 5.5 – Параметры одиночного прямоугольного импульса

## 5.2 Порядок выполнения работы

5.2.1 Ознакомиться с приборами на лабораторной установке.

5.2.2 Изучить необходимые разделы инструкции по эксплуатации приборов.

5.2.3 Подготовить к работе измерительную аппаратуру.

5.2.4 Измерить характеристики различных периодических сигналов: синусоидального, трапециевидных, треугольных (частоту, период, амплитудное значение, среднеквадратичное значение).

5.2.5 Частоту сигналов измерить посредством осциллографа и частотомера. Сравнить показания и определить погрешность измерения.

5.2.6 Измерить сдвиг фаз двух синусоидальных сигналов (по заданию преподавателя) посредством осциллографа и частотомера.

5.2.7 Измерить длительность импульсов с помощью осциллографа и частотомера (длительности и частоты задаются преподавателем).

5.2.8 Измерить характеристики импульсного сигнала посредством осциллографа.

5.2.9 Провести измерение амплитудно-модулированных и частотно-

модулированных сигналов посредством осциллографа и модулеметра.

5.2.10 Оценить точность проведенных измерений.

5.2.11 Составить отчет по результатам измерений об оценке.

### 5.3 Содержание отчета

5.3.1 Название лабораторной работы.

5.3.2 Цель работы.

5.3.3 Перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении лабораторной работы.

5.3.4 Результаты проведенных исследований и измерений периодических сигналов посредством осциллографа, частотомера и вольтметра ( $f$ ,  $T$ ,  $U_a$ ,  $U_{cp}$ ,  $U_{с.к.}$ ).

Определить погрешность измерения частоты посредством осциллографа, принимая за образцовый прибор цифровой частотомер. Привести внешний вид исследуемых сигналов.

5.3.5 Результаты проведенных исследований и измерений разности фаз двух периодических сигналов посредством осциллографа. Привести внешний вид исследуемых сигналов.

5.3.6 Результаты проведенных исследований и измерений импульсных сигналов и одиночных импульсов ( $f$ ,  $T$ ,  $U_a$ ,  $T_u$ ,  $T_n$ ,  $Q$ ,  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$ , величина выброса, величина спада) посредством осциллографа. Привести внешний вид исследуемых сигналов.

5.3.7 Результаты проведенных исследований и измерений амплитудно-модулированного и частотно-модулированного сигнала ( $m$ ,  $f_{нес}$ ,  $f_{мод}$ ). Привести внешний вид исследуемых сигналов.

5.3.8 Измерить коэффициент амплитудной модуляции посредством цифрового модулеметра. Сравнить результаты, подсчитать погрешность.

5.3.9 Выводы по результатам работы.

### Контрольные вопросы

- 1 Какие методы измерения частоты вы знаете?
- 2 Какие приборы используются для измерения частоты промышленной сети переменного тока? Какие принципы работы заложены в их основе?
- 3 Какие приборы позволяют измерять частоты свыше 10 МГц?
- 4 Что такое сдвиг фаз сигналов и чем он отличается от временного сдвига импульсов?
- 5 Какие методы используются для определения сдвига фаз сигналов?
- 6 Какие приборы позволяют его определить?
- 7 Что такое длительность, скважность и коэффициент заполнения импульсов?
- 8 Какими методами измеряют длительность импульсов?
- 9 Каким образом можно определить длительность импульсов при скважности  $\sigma = 100$ ? Есть ли особенности при измерении различными приборами?
- 10 Что такое модуляция? Какие виды модуляции вы знаете?



- 11 Что такое коэффициент амплитудной модуляции?  
 12 Как измерить коэффициент амплитудной модуляции?  
 13 Какие основные параметры импульсных сигналов?

## 6 Лабораторная работа № 6. Измерения параметров магнитных полей

### Цель работы

- 1 Изучить методы измерения и принцип действия приборов для измерения переменных магнитных полей.  
 2 Приобрести навыки практической работы с приборами для измерения переменных магнитных полей.

### 6.1 Общие положения

Существуют следующие типы первичных преобразователей магнитных величин.

*Индукционные преобразователи* основаны на законе электромагнитной индукции, в соответствии с которым в катушке датчика наводится ЭДС пропорционально скорости изменения магнитного потока:

$$e = -\omega \cdot d\Phi/dt,$$

где  $\omega$  – число витков катушки;

$d\Phi/dt$  – скорость изменения магнитного потока.

Если величина не изменяется во времени, то необходимо создать кажущиеся изменения поля приведением катушки в движение – однократное или периодическое (например, во вращение).

*Гальваномагнитные преобразователи* (ГМП) основаны на физических эффектах, возникающих в находящихся в магнитном поле твердых телах при движении в них заряженных частиц. В качестве измерительных преобразователей практическое применение получили главным образом полупроводниковые ГМП, основанные на использовании эффектов Холла и Гаусса.

Эффект Холла заключается в возникновении поперечной разности потенциалов (ЭДС Холла) на боковых гранях пластины.

Преобразователь Холла представляет собой четырехполюсник, обычно выполняемый в виде тонкой пластины или пленки из полупроводникового материала. Токовые электроды 1 и 2 (рисунок 6.1) выполняются по всей ширине поперечных граней, что обеспечивает равномерное распределение входного тока по сечению преобразователя. Потенциальные (холловые) электроды 3 и 4 расположены в центральной части продольных граней.

В магнитном поле носители заряда под действием сил Лоренца  $F = e\upsilon B$  изменяют свою траекторию, вследствие чего на одной из боковых граней концентрация зарядов одного знака увеличивается, в то время как на противополо-



ложной грани уменьшается. Возникающая при этом разность потенциалов (ЭДС Холла) определяется выражением

$$E = C \frac{I \cdot B}{h},$$

где  $E$  – ЭДС Холла;

$I$  – сила тока;

$B$  – магнитная индукция (вектор ее должен быть перпендикулярен плоскости пластинки либо будет измерена лишь нормальная составляющая вектора  $B$ );

$C$  – постоянная Холла;

$h$  – толщина пластинки.

*Кристаллические преобразователи Холла* выполняются в виде тонких пластинок ( $d = 0,01 \dots 0,2$  мм), которые вырезают из монокристаллов и шлифовкой доводят до необходимой толщины. Выводы укрепляются на боковых гранях путем пайки или сварки. Пластины наклеиваются на подложки из радиотехнической слюды, ультрафорфора или ситалла.

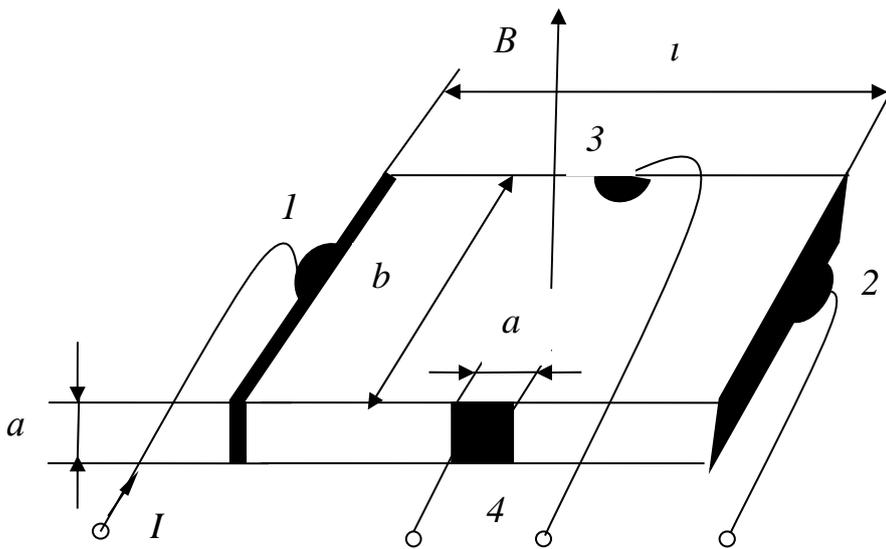


Рисунок 6.1 – Преобразователь Холла

*Магниторезистивные преобразователи.* Сопротивление проводящего канала при наличии носителей зарядов двух знаков определяется выражением

$$R = 1 / [Se(nu_n + pu_p)],$$

где  $e$  – заряд электрона;

$n$  и  $u_n$  – средняя концентрация и подвижность электронов (анионов) соответственно;

$p$  и  $u_p$  – длина и сечение проводящего канала соответственно.

Под воздействием на канал магнитного поля изменяется его электрическое сопротивление вследствие изменения подвижности носителей зарядов их сред-

ней концентрации и изменения соотношения размеров проводящего канала. Магниторезистивный эффект можно наблюдать в чистых металлах, полупроводниках, а также в электролитах.

К магниторезистивным преобразователям относятся магниторезисторы, магнитодиоды, биполярные магнитотранзисторы, гальваноманниторекомбинационные преобразователи и полевые магнитотриоды. В настоящее время для создания средств измерений практическое применение нашли магниторезисторы и гальваноманниторекомбинационные преобразователи. Остальные типы магниторезистивных преобразователей, за исключением магнитодиодов, находятся еще в стадии развития. Магнитодиоды применяются главным образом в качестве бесконтактных переменных резисторов.

## 6.2 Порядок выполнения работы

6.2.1 Ознакомиться с методами и приборами для измерения магнитных величин.

6.2.2 Собрать схему для тарирования измерительной катушки (рисунок 6.2).

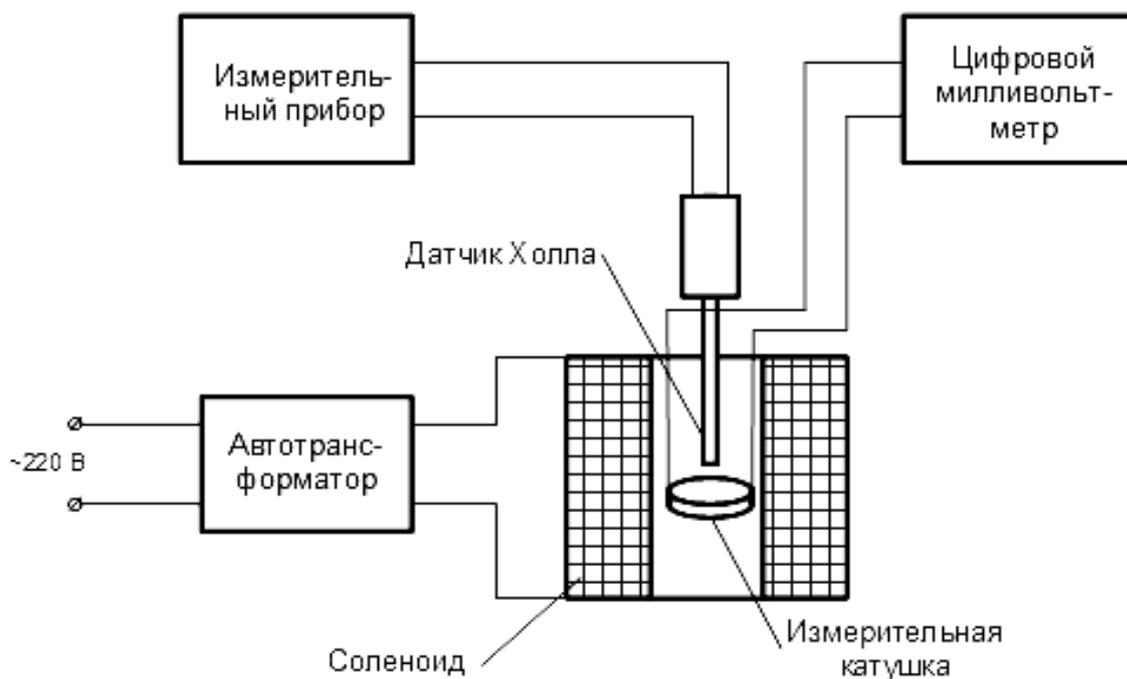


Рисунок 6.2 – Схема установки для тарировки измерительной катушки

6.2.3 Подключить автотрансформатор к соленоиду, а измерительную катушку – к цифровому милливольтметру.

6.2.4 Вставить в соленоид датчик измерителя магнитных параметров ИМП-1 и измерительную катушку согласно рисунку 6.2.

6.2.5 Снять показания ИМП-1 и милливольтметра при следующих значениях напряжения на соленоиде: 2, 5, 10, 15, 20, 25 В.

6.2.6 Показания занести в таблицу и построить градуировочную характеристику  $U = f(B)$  измерительной катушки.

6.2.7 Исследовать объект контроля посредством измерительной катушки (см. рисунок 6.2).

6.2.8 Построить на графике распределение магнитной индукции поля вдоль объекта контроля, измеряя ее в пяти точках вдоль образующей объекта и в поперечном сечении согласно рисунку 6.3.

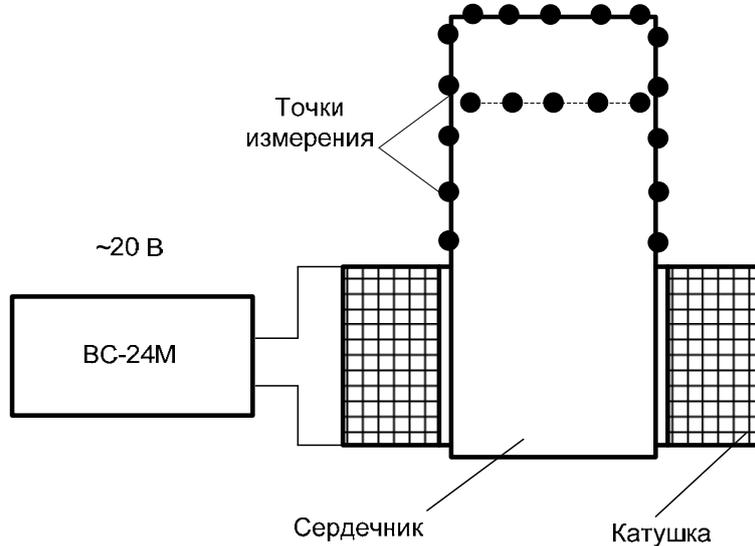


Рисунок 6.3 – Схема измерения магнитной индукции на объекте контроля

### 6.3 Содержание отчета

6.3.1 Название лабораторной работы.

6.3.2 Цель работы.

6.3.3 Перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении лабораторной работы.

6.3.4 Схема тарировочной установки.

6.3.5 Результаты численных значений измеренных величин при тарировке измерительной катушки.

6.3.6 Тарировочная характеристика.

6.3.7 Тарировочная характеристика.

6.3.8 Схема объекта исследования с нанесенными точками измерения и габаритными размерами.

6.3.9 Результаты проведенных исследований объекта контроля (измеренное значение магнитной индукции, координаты точек) в виде таблицы.

6.3.10 Графическое представление распределения индукции магнитного поля по поверхности объекта.

6.3.11 Выводы по результатам работы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие преобразователи используются для измерения параметров переменных и постоянных магнитных полей?
- 2 Что такое тарировочная характеристика?
- 3 Поясните сущность эффекта Холла.
- 4 Поясните сущность магнетронного эффекта.
- 5 Перечислите основные характеристики преобразователей Холла.
- 6 Как посредством измерительной катушки измерить параметры постоянного магнитного поля?
- 7 Поясните сущность эффекта Гаусса.

## **7 Лабораторная работа № 7. Схемы и методы измерения температуры**

### **Цель работы**

- 1 Изучить методы, первичные преобразователи и схемы измерения температуры.
- 2 Провести исследование первичных преобразователей температуры.

### **7.1 Общие положения**

*7.1.1 Общие сведения о термопреобразователях.* Все приборы и методы, в зависимости от значений измеряемых температур, делятся на две группы. Первая группа охватывает методы и приборы для измерения в области средних и низких температур, она характеризуется применением контактных методов измерения и относительно узким рабочим диапазоном приборов. Вторая группа включает методы, в которых используется энергия излучения нагретого объекта без непосредственного контакта с ним преобразователя. Эти методы применяются для измерения как высоких, так и низких температур.

Наиболее разработанными и широко применяемыми в промышленности в области низких и средних температур являются методы измерения, использующие термопары и терморезисторы.

*7.1.2 Электрические термометры сопротивления.* Электрические термометры сопротивления, состоящие из преобразователя и измерительного устройства, применяются для измерения температур от минус 200 до плюс 1500 °С. Для измерения сопротивления преобразователя могут быть использованы любые измерительные цепи, предназначенные для измерения сопротивления. Однако наибольшее распространение получили неравновесные мосты.

*7.1.3 Термоэлектрические термометры.* Для измерения температур от 650 до 2800 °С используются в основном термоэлектрические термометры.

Термоэлектрические термометры состоят из термоэлектрического преоб-



разователя (ТП) (термопары) и измерительного устройства (милливольтметра).

Термопара присоединяется к измерительному устройству с помощью удлинительных и соединительных проводов.

Милливольтметры, применяемые в термоэлектрических термометрах, заранее градуируются в градусах.

В этих термометрах возможна погрешность от изменения сопротивления термопары и проводов. Сопротивление термопары изменяется с изменением глубины погружения, поэтому она выбирается в соответствии с паспортными данными термопары и не должна произвольно изменяться.

Сопротивление проводов изменяется при колебаниях температуры воздуха. Для уменьшения влияния изменения сопротивления термопары и проводов целесообразно применять милливольтметры с большим внутренним сопротивлением.

Для бесконтактных измерений температуры используются приборы, называемые пирометрами. По принципу действия они делятся на радиационные, яркостные, цветовые.

В основу радиационного пирометра положен закон Стефана-Больцмана

$$R_e = \varepsilon \sigma T^4,$$

где  $\sigma$  – постоянная Стефана-Больцмана;  
 $T$  – абсолютная температура черного тела;  
 $\varepsilon$  – интегральная степень черноты тела;  
 $R_e$  – энергетическая светимость тела.

В основу яркостного пирометра положена зависимость Планка

$$r_\lambda^* = 2\pi c^2 h \lambda^{-5} \left( e^{hc/\lambda kT} - 1 \right)^{-1},$$

где  $h$  – постоянная Планка;  
 $k$  – постоянная Больцмана.

Яркостной температурой тела называется температура абсолютно черного тела, при которой спектральная плотность его энергетической яркости для какой-либо одной определенной длины волны равна спектральной плотности энергетической яркости тела для той же длины волны.

В основу цветовых пирометров положен закон смещения Вина

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T},$$

где  $b$  – постоянная Вина.

Из закона смещения Вина и формулы Планка вытекает, что отношение спектральных плотностей энергетических яркостей для двух длин волн зависит от температуры, так как она определяет распределение энергии в спектре излучения черного тела. Поэтому значение этого смещения используется как температуры тела.



## 7.2 Описание лабораторного стенда

В качестве исследуемой термопары предлагается преобразователь термоэлектрический ТХК(L)-1199 со следующими характеристиками:

- длина погружаемой части .....100 мм;
- диаметр погружаемой части.....5 мм;
- диапазон измеряемых температур.....от  $-40$  до  $+800$  °С.

Для исследования термометров сопротивления предлагается термометр сопротивления медный ТСМ-1199:

- длина погружаемой части .....100 мм;
- диаметр погружаемой части.....5 мм;
- предельное значение измерительного тока .....3 мА;
- диапазон измеряемых температур.....  $-50$  до  $+180$  °С.

Также предлагается для исследования терморезистор с отрицательным ТКС прямого подогрева КМТ-1:

- номинальное сопротивление (при  $20$  °С).....1 КОм;
- длина погружаемой части .....65 мм;
- диаметр погружаемой части.....5 мм;
- диапазон измеряемых температур..... $-60$  до  $+155$  °С.

Используются следующие схемы включения (рисунок 7.1).

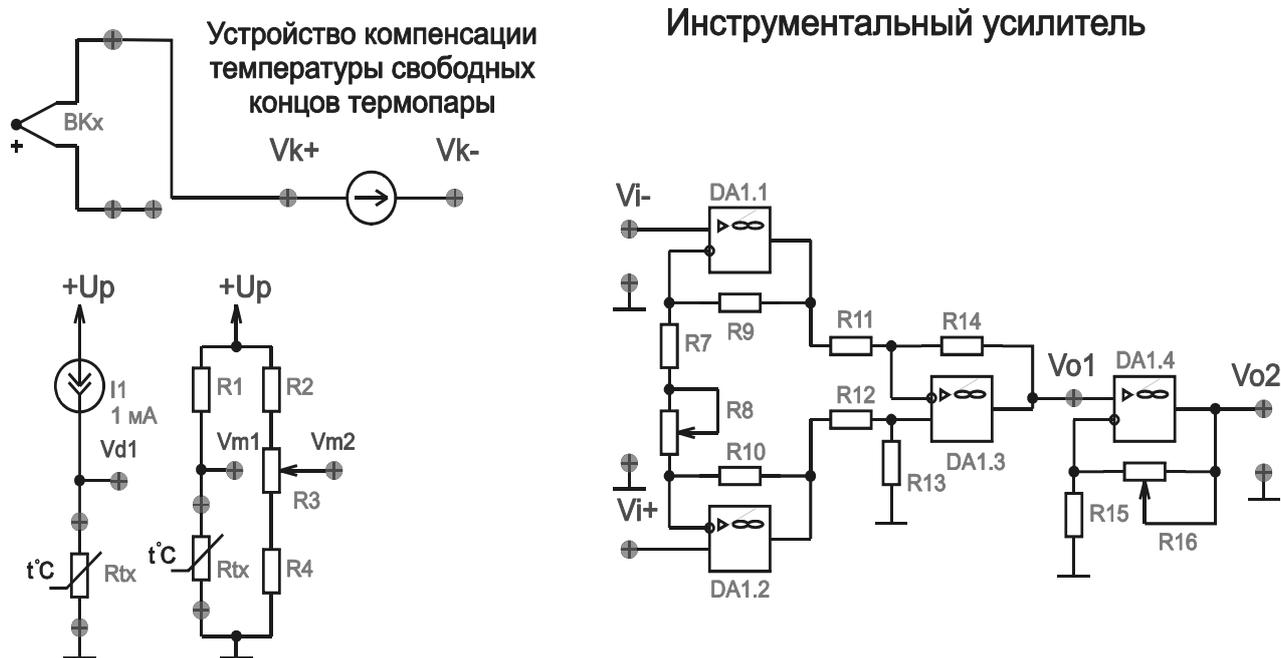


Рисунок 7.1 – Схемы включения преобразователей температуры

Инструментальный усилитель представляет собой двухкаскадный усилитель, первый каскад которого (резисторы  $R7...R14$ , операционные усилители  $DA1.1, DA1.2, DA1.3$ ) – дифференциальный усилитель, а второй каскад ( $R15...R16, DA1.4$ ) – операционный усилитель, включенный по неинвертирующей схеме.

Для инструментальных дифференциальных усилителей характерны малое

смещение постоянного тока, малый дрейф, малый шум, высокий коэффициент ослабления синфазного сигнала и высокие входные сопротивления. Такие усилители применяются, когда требуются большая точность и высокая стабильность схемы как кратковременно, так и долговременно.

Коэффициент усиления регулируется отдельно для каждого каскада резисторами R8 и R16 соответственно.

Для подключения медного термометра сопротивления используется стабилизированный источник тока 1 мА.

В качестве схемы включения для терморезистора КМТ-1 предлагается использовать мостовую схему (резисторы R1...R4).

При подключении термопары можно использовать схему компенсации температуры свободных концов, что позволяет компенсировать влияние окружающей среды.

Номиналы элементов:

- R1 – 62 кОм, R2 – 200 кОм, R4 – 62 кОм, R11...R14 – 1 кОм;
- R3, R7...R10 – 6,8 кОм;
- R15 – 510 Ом;
- R16 – 68 кОм;
- $U_p = 6,5$  В.

Также в лабораторном стенде предусмотрено устройство нагрева и охлаждения исследуемого объекта.

В качестве образцового измерителя используется прибор измеритель-регулятор ТРМ202 фирмы «ОВЕН» с подключенной к нему термопарой.

### 7.3 Программа работы

7.3.1 Исследовать работу термопары.

7.3.1.1 Подключить зеленый провод термопары (положительный выход) ко входу «Vi+».

7.3.1.2 Подключить белый провод термопары (отрицательный выход) ко входу « $\perp$ ».

7.3.1.3 Подключить вход «Vi-» ко входу « $\perp$ » при помощи перемычки.

7.3.1.4 Установить резистор R8 в положение «min», R16 – в положение «max».

7.3.1.5 Подключить выход «VO2» ко входу «V+» вольтметра.

7.3.1.6 Подключить выход « $\perp$ » ко входу «V-» вольтметра.

7.3.1.7 Вставить погружаемую часть термопары в устройство нагрева.

7.3.1.8 Включить QF1 «Сеть».

7.3.1.9 Включить устройство нагрева.

7.3.1.10 Снять статическую характеристику термопары, нагревая объект до 100 °С.

7.3.1.11 Выключить устройство нагрева.

7.3.1.12 Включить устройство охлаждения.

7.3.1.13 Снять статическую характеристику термопары, остужая объект до комнатной температуры.



7.3.1.14 Выключить устройство охлаждения.

7.3.1.15 Выключить QF1 «Сеть».

7.3.2 Исследовать работу медного термометра сопротивления.

7.3.2.1 Подключить выходы термометра сопротивления ТСМ-1199 к источнику тока  $I_1$  ко входам «Rtx».

7.3.2.2 Подключить выход «Vd1» ко входу «Vi+» при помощи перемычки.

7.3.2.3 Подключить вход «VI-» к выходу «Vm2».

7.3.2.4 Установить резистор R8 в положение «max», R16 – в положение примерно на 4 деления.

7.3.2.5 Подключить выход «VO2» ко входу «V+» вольтметра.

7.3.2.6 Подключить выход « $\perp$ » ко входу «V-» вольтметра.

7.3.2.7 Включить QF1 «Сеть».

7.3.2.8 При помощи резистора R3 выставить на вольтметре 0 В. Таким образом выполняется компенсация сопротивления термометра при комнатной температуре.

7.3.2.9 Вставить погружаемую часть термометра сопротивления в устройство нагрева.

7.3.2.10 Включить устройство нагрева.

7.3.2.11 Снять статическую характеристику термометра сопротивления, нагревая объект до 100 °С.

7.3.2.12 Выключить устройство нагрева.

7.3.2.13 Включить устройство охлаждения.

7.3.2.14 Снять статическую характеристику термометра сопротивления, охлаждая объект до комнатной температуры.

7.3.2.15 Выключить устройство охлаждения.

7.3.2.16 Выключить QF1 «Сеть».

7.3.3 Исследовать работу терморезистора КМТ-1.

7.3.3.1 Подключить выходы терморезистора КМТ-1 к мосту постоянного тока ко входам «Rtx».

7.3.3.2 Зная номинальное сопротивление терморезистора при комнатной температуре, рассчитать значение напряжения в точке «Vm1».

7.3.3.3 Подключить выходы «Vm2» и « $\perp$ » ко входам «V+» и «V-» вольтметра соответственно.

7.3.3.4 Включить QF1 «Сеть».

7.3.3.5 Выставить в точке «Vm2» напряжение, равное расчетному в точке «Vm1», изменяя сопротивление R3.

7.3.3.6 Выключить QF1 «Сеть».

7.3.3.7 Подключить выход «Vm1» ко входу «Vi-» усилителя.

7.3.3.8 Подключить выход «Vm2» ко входу «Vi+» усилителя.

7.3.3.9 Установить резистор R8 в положение «max», R16 – в положение примерно 2 деления.

7.3.3.10 Подключить выход «Vo2» ко входу «V+» вольтметра.

7.3.3.11 Подключить выход « $\perp$ » ко входу «V-» вольтметра.

7.3.3.12 Вставить погружаемую часть терморезистора в устройство нагрева.

7.3.3.13 Включить QF1 «Сеть».



7.3.3.14 Включить устройство нагрева.

7.3.3.15 Снять статическую характеристику терморезистора, нагревая объект до 100 °С.

7.3.3.16 Выключить устройство нагрева.

7.3.3.17 Включить устройство охлаждения.

7.3.3.18 Снять статическую характеристику терморезистора, охлаждая объект до комнатной температуры.

7.3.3.19 Выключить устройство охлаждения.

7.3.3.20 Выключить QF1 «Сеть».

7.3.4 Исследовать работу термопары с подключенным устройством компенсации температуры свободных концов.

7.3.4.1 Подключить термопару ко входам «ВКх», соблюдая полярность.

7.3.4.2 Подключить положительный выход термопары ко входу «Vi+» при помощи перемычки.

7.3.4.3 Подключить выход «Vk-» ко входу «Vi-» при помощи перемычки.

7.3.4.4 Установить резистор R8 в положение «min», R16 – в положение «max».

7.3.4.5 Подключить выход «VO2» ко входу «V+» вольтметра.

7.3.4.6 Подключить выход « $\perp$ » ко входу «V-» вольтметра.

7.3.4.7 Вставить погружаемую часть термопары в устройство нагрева.

7.3.4.8 Включить выключатель QF1 «Сеть».

7.3.4.9 Включить устройство нагрева.

7.3.4.10 Снять статическую характеристику термопары, нагревая объект до 100 °С.

7.3.4.11 Выключить устройство нагрева.

7.3.4.12 Включить устройство охлаждения.

7.3.4.13 Снять статическую характеристику термопары, охлаждая объект до комнатной температуры.

7.3.4.14 Выключить устройство охлаждения.

7.3.4.15 Выключить QF1 «Сеть».

7.3.5 Дать теоретическое объяснение явлению гистерезиса статических характеристик термопреобразователя при его нагревании и охлаждении.

7.3.6 Установить нелинейность статических характеристик и рабочий диапазон термопреобразователя по заданной погрешности.

7.3.7 Оформить отчет о проделанной работе.

## 7.4 Содержание отчета

7.4.1 Название лабораторной работы.

7.4.2 Цель работы.

7.4.3 Перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении лабораторной работы.

7.4.4 Результаты проведенных исследований термопары.

7.4.5 Статическая характеристика термопары.

7.4.6 Результаты исследований медного термометра сопротивления.



- 7.4.7 Статическая характеристика термометра сопротивления.
- 7.4.8 Результаты расчета чувствительности преобразователей.
- 7.4.9 Результаты исследований полупроводникового терморезистора.
- 7.4.10 Статическая характеристика полупроводникового терморезистора.
- 7.4.11 Результаты расчета чувствительности преобразователей.
- 7.4.12 Оценка погрешности преобразователей температуры.
- 7.4.13 Схемы подключения исследуемых преобразователей.
- 7.4.14 Выводы по результатам исследований.

### **Контрольные вопросы**

- 1 В каком диапазоне можно измерять температуру с помощью термосопротивления? Термопар?
- 2 Какие достоинства и недостатки металлических термометров сопротивления?
- 3 Какие достоинства и недостатки полупроводниковых термометров сопротивления?
- 4 Назовите устройства, относящиеся к контактному методу измерения температуры.
- 5 Зачем в неравновесном мосте пятое плечо выполняется частично из марганца, а частично из меди?
- 6 Что изменяется на выходных зажимах термопары при изменении её температуры?
- 7 С какой целью в термоэлектрических термопарах используются автоматические потенциометры (мосты)?
- 8 По какому принципу работают пирометры?
- 9 Какие типы пирометров существуют?

## **8 Лабораторная работа № 8. Исследование емкостных преобразователей**

### **Цель работы**

- 1 Изучить конструкцию емкостных преобразователей.
- 2 Ознакомиться с методами включения преобразователей, изучить их достоинства и недостатки.
- 3 Провести исследование преобразователей, снять их статические характеристики.

### **8.1 Общие положения**

*Ёмкостные преобразователи.* Ёмкостными называются преобразователи, в которых под воздействием механической величины изменяется емкость.



Наиболее часто используют плоские и цилиндрические конденсаторы. Емкость плоского конденсатора (преобразователя) определяется по формуле

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \frac{S}{\delta}; \quad (8.1)$$

цилиндрического

$$C = \varepsilon \cdot \varepsilon_0 \frac{2\pi \cdot h}{\ln(R_1/R_2)},$$

где  $\varepsilon_0$  – диэлектрическая постоянная;  
 $\varepsilon$  – относительная диэлектрическая постоянная;  
 $S$  – площадь пластины плоского конденсатора;  
 $\delta$  – расстояние между пластинами;  
 $h$  – длина цилиндрической поверхности;  
 $R_1$  – внутренний радиус внешнего цилиндра;  
 $R_2$  – внешний радиус внутреннего цилиндра.

Наиболее часто изменяют площади пластин и диэлектрическую постоянную.

Исходя из выражения (8.1), емкость может изменяться в зависимости от изменения трех составляющих:  $\delta$ ,  $\varepsilon$ ,  $S$ . В связи с этим преобразователи делятся на преобразователи с изменяющимся зазором, преобразователи с изменяемой площадью и преобразователи с изменяющейся диэлектрической постоянной.

При включении в цепь емкостного преобразователя изменение емкости преобразуется в изменение напряжения или тока либо в частоту синусоидального или импульсного сигнала. При этом могут быть использованы резонансная, мостовая, емкостно-диодная цепи.

Функциональная зависимость преобразователей нелинейна, погрешность составляет 1...3 %. Емкостные преобразователи используются для измерения перемещений, давления, уровня, вибраций и др.

Для исследования емкостных преобразователей предлагаются емкостный преобразователь угла поворота и емкостный погружной преобразователь.

Емкостной преобразователь угла поворота:

- диапазон углов.....от 0 до 80°;
- номинальная емкость.....от 24 до 90 пФ.

Емкостной погружной преобразователь:

- длина погружной части.....35 мм;
- тип.....двойной плоский конденсатор.

Для исследования емкостных преобразователей используется преобразователь емкость/частота, подключенный к частотомеру.

## 8.2 Программа работы

8.2.1 Исследовать работу емкостного преобразователя угла поворота.

8.2.1.1 Подключить выход емкостного преобразователя ко входу преобразователя емкость/частота при помощи перемычки из коаксиального кабеля.



8.2.1.2 Включить QF1 «Сеть».

8.2.1.3 Снять статическую характеристику преобразователя, при помощи рукоятки изменяя угол от 0 до 180°.

8.2.1.4 Выключить QF1 «Сеть».

8.2.2 Исследовать работу емкостного преобразователя уровня.

8.2.2.1 Подключить выход емкостного преобразователя уровня ко входу преобразователя емкость/частота при помощи коаксиального кабеля.

8.2.2.2 Включить QF1 «Сеть».

8.2.2.3 Снять статическую характеристику преобразователя, изменяя уровень жидкости или сыпучего вещества по заданию преподавателя.

8.2.2.4 Выключить QF1 «Сеть».

8.2.3 Определить нелинейность и чувствительность преобразователей.

8.2.4 Оформить отчет о проделанной работе. Отчет должен содержать наименование работы, цель работы, схемы включения преобразователей, результаты исследований, графики и краткие теоретические выкладки по полученным результатам исследований.

### **8.3 Содержание отчета**

8.3.1 Результаты исследований емкостного преобразователя угла.

8.3.2 Статическая характеристика емкостного преобразователя угла.

8.3.3 Результаты исследований емкостного преобразователя погружного типа.

8.3.4 Статическая характеристика емкостного преобразователя погружного типа.

8.3.5 Результаты расчета чувствительности преобразователей.

8.3.6 Результаты расчета нелинейности преобразователей.

8.3.7 Схемы подключения исследуемых преобразователей.

8.3.8 Выводы по результатам исследований.

### **Контрольные вопросы**

1 Объясните принцип действия и устройство емкостных преобразователей.

2 Каким образом подключаются емкостные преобразователи?

3 От чего зависит чувствительность и погрешность емкостных преобразователей?

4 На каком принципе должен работать емкостный преобразователь для измерения толщины полимерных материалов?

## 9 Лабораторная работа № 9. Исследование индуктивных преобразователей перемещения

### Цель работы

- 1 Изучить принцип действия и конструктивные особенности индуктивных преобразователей.
- 2 Провести исследование индуктивных преобразователей.
- 3 Изучить схемы подключения, снять статические характеристики при различных схемах подключения.

### 9.1 Общие положения

Электромагнитными называются преобразователи, принцип действия которых основан на изменении параметров электромагнитной цепи под воздействием физической величины.

К параметрическим индуктивным преобразователям относятся и индуктивные, и взаимноиндуктивные (трансформаторные).

В индуктивных преобразователях используется зависимость индуктивности катушки от параметров магнитной цепи, индуктивность обмотки, расположенной на магнитопроводе.

Если пренебречь потерями в сердечнике и его сопротивлением, то получим индуктивность катушки

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \omega^2 \cdot S_\delta}{Z_m},$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная;  
 $S_\delta$  – площадь поперечного сечения зазора;  
 $\delta$  – длина магнитного зазора.

Таким образом, индуктивность преобразователя зависит от длины воздушного зазора площади поперечного сечения воздушного зазора.

В общем виде схема индуктивного преобразователя представлена на рисунке 9.1.

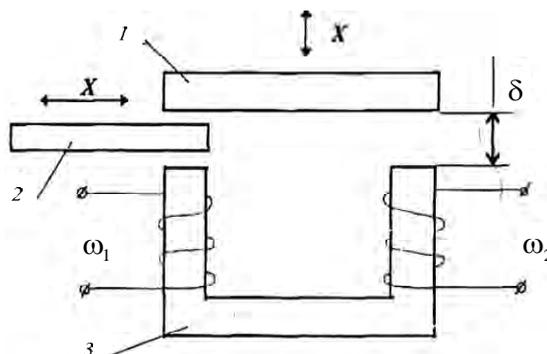


Рисунок 9.1 – Схема индуктивного преобразователя

Лучшими параметрами обладают взаимноиндуктивные преобразователи, в которых цепи питания и измерения разделены.

Якорь в магнитном поле притягивается сердечником, что нежелательно при измерениях. Это усилие компенсируется в дифференциальных преобразователях (рисунок 9.2).

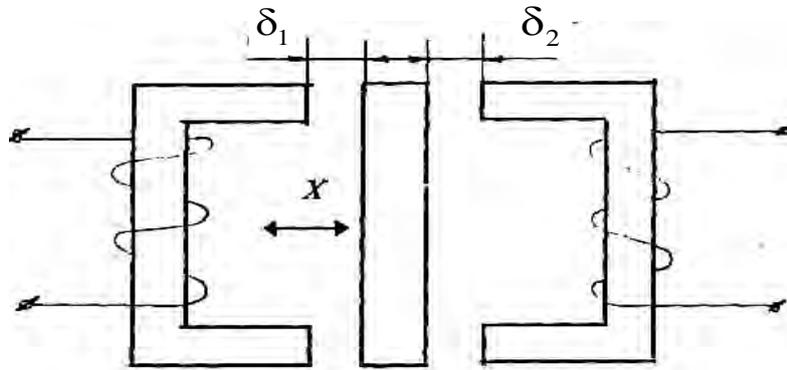


Рисунок 9.2 – Дифференциальный взаимноиндуктивный преобразователь

Дифференциальной называется схема, содержащая два канала с последовательным соединением преобразователей, причем выходные величины каждого из каналов подаются на два входа вычитающего преобразователя.

При включении преобразователя по дифференциальной схеме можно получить удвоенную чувствительность.

Еще один тип индуктивных преобразователей, часто используемых в практике, – преобразователи с подвижным сердечником и разомкнутой магнитной цепью (по подобию соленоида). Перемещение сердечника в них вызывает изменение индуктивности или взаимноиндуктивности.

Чувствительность преобразователя зависит в основном от конструктивных параметров: диаметра используемой проволоки, удельного сопротивления материала проволоки, геометрических параметров каркаса.

На погрешность индуктивных преобразователей влияют следующие факторы: температура – изменение активной составляющей обмотки; напряжения питания – изменение магнитной проницаемости магнитопровода; частота – изменение реактивной составляющей сопротивления. Погрешность индуктивных преобразователей составляет 1,5...2,0 %.

Индуктивные преобразователи используются для измерения перемещений (от единиц микрон до 100 мм), для измерения параметров вибраций, давления, скорости перемещения, расхода и других физических величин, которые можно связать с перемещением.

## 9.2 Описание лабораторного стенда

Для исследования предлагается индуктивный преобразователь перемещений с подвижным сердечником с диапазоном перемещения 100 мм (рисунок 9.3).

Эта схема позволяет исследовать как взаимноиндуктивный, так и диффе-

ренциальный трансформаторный преобразователь.

Для исследования используется синхронный детектор, выход которого подключен к вольтметру.

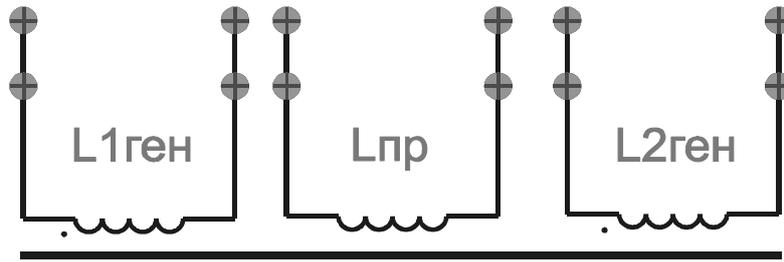


Рисунок 9.3 – Схема индуктивного преобразователя

### 9.3 Программа работы

9.3.1 Исследовать работу взаимноиндуктивного преобразователя.

9.3.1.1 Подключить катушку «L1ген» к генератору переменного напряжения синусоидальной формы при помощи перемычек (рисунок 9.4).

9.3.1.2 Подключить катушку «Lпр» к детектору при помощи перемычек (рисунок 9.4).

9.3.1.3 При помощи переключателя выставить частоту по заданию преподавателя.

9.3.1.4 Включить QF1 «Сеть».

9.3.1.5 Снять статические характеристики преобразователя, перемещая рукоятку от 0 до 100 мм, для различных частот питающего напряжения ( $F = 100$  Гц;  $F = 500$  Гц;  $F = 1000$  Гц;  $F = 2000$  Гц;  $F = 5000$  Гц).

9.3.1.6 Выключить выключатель QF1 «Сеть».

9.3.1.7 Построить статические характеристики для каждой из частот, определить нелинейность, чувствительность.

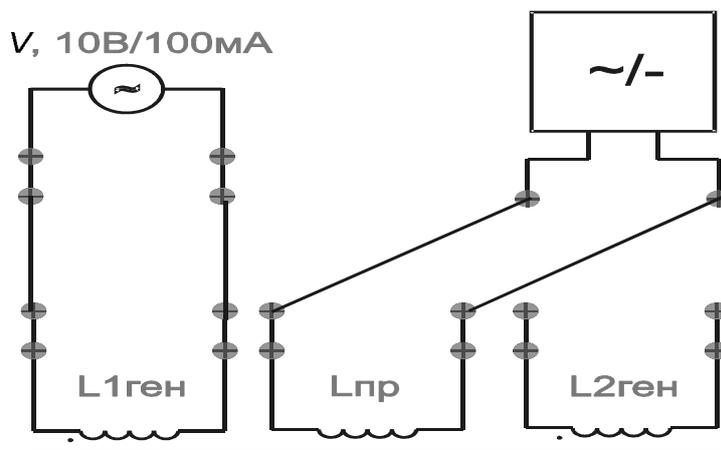


Рисунок 9.4 – Включение взаимноиндуктивного преобразователя

9.3.1.8 Построить зависимость чувствительности преобразователя от частоты  $S = F(f)$ .

9.3.2 Исследовать работу дифференциального преобразователя со встречным включением обмоток

9.3.2.1 Подключить катушки «L1ген» и «L2ген» друг к другу встречно (см. рисунок 9.4).

9.3.2.2 Катушки «L1ген» и «L2ген» подключить к генератору переменного напряжения синусоидальной формы при помощи перемычек (рисунок 9.5).

9.3.2.3 Подключить катушку «Lпр» к детектору при помощи перемычек (рисунок 9.5).

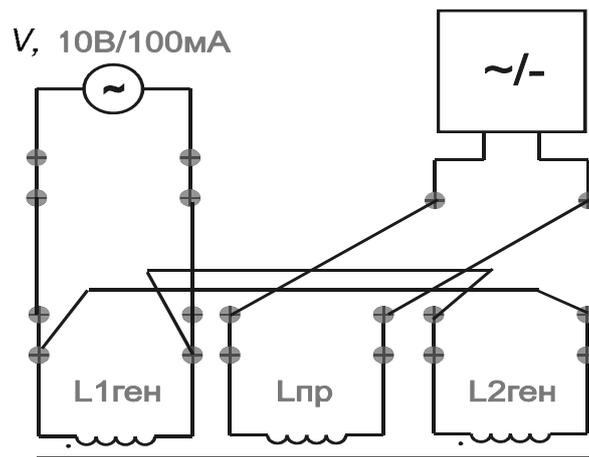


Рисунок 9.5 – Встречное включение обмоток дифференциального преобразователя

9.3.2.4 При помощи переключателя выставить частоту по заданию преподавателя.

9.3.2.5 Снять статические характеристики преобразователя, перемещая ручку от 0 до 100 мм со встречно включенными обмотками (для двух частот  $F = 400$  Гц и  $F = 2000$  Гц).

9.3.2.6 Вычислить чувствительность преобразователя в каждом случае отдельно и определить нелинейность.

9.3.3 Исследовать работу дифференциального преобразователя с последовательным включением обмоток.

9.3.3.1 Подключить катушки «L1ген» и «L2ген» друг к другу последовательно (рисунок 9.6).

9.3.3.2 Катушки «L1ген» и «L2ген» подключить к генератору переменного напряжения синусоидальной формы при помощи перемычек.

9.3.3.3 Подключить катушку «Lпр» к детектору при помощи перемычек.

9.3.3.4 При помощи переключателя выставить частоту по заданию преподавателя.

9.3.3.5 Снять статические характеристики преобразователя, перемещая ручку от 0 до 100 мм с последовательным включением обмоток (для двух частот  $F = 400$  Гц и  $F = 2000$  Гц).

9.3.4 Рассчитать нелинейность и чувствительность преобразователей.

9.3.5 Оформить отчет о проделанной работе.

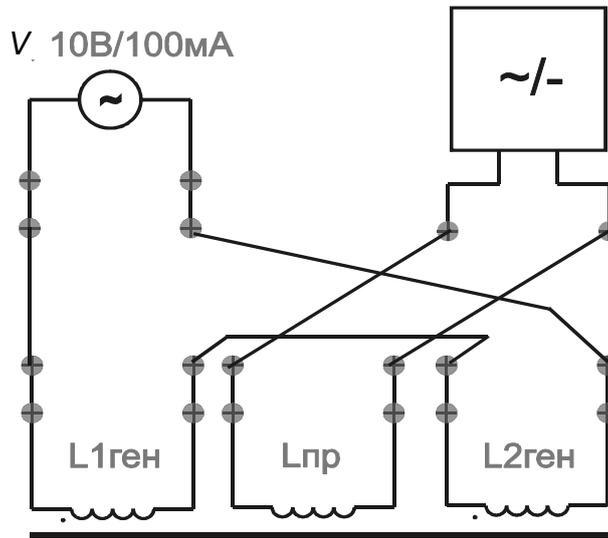


Рисунок 9.6 – Последовательное включение обмоток дифференциального преобразователя

#### 9.4 Содержание отчета

9.4.1 Название лабораторной работы.

9.4.2 Цель работы.

9.4.3 Перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении лабораторной работы.

9.4.4 Результаты проведенных исследований взаимноиндуктивного преобразователя при разных частотах питающего напряжения.

9.4.5 Рассчитать чувствительность преобразователя для каждой из частот питающего напряжения.

9.4.6 Результаты проведенных исследований взаимноиндуктивного преобразователя при разных частотах питающего напряжения.

9.4.7 Результаты проведенных исследований дифференциального взаимноиндуктивного преобразователя со встречным включением обмоток для двух частот питающего напряжения.

9.4.8 Построить статические характеристики преобразователя, рассчитать нелинейность и чувствительность преобразователя.

9.4.9 Результаты проведенных исследований дифференциального взаимноиндуктивного преобразователя с последовательным включением обмоток для двух частот питающего напряжения.

9.4.10 Построить статические характеристики преобразователя, рассчитать нелинейность и чувствительность преобразователя.

9.4.11 Отчет должен содержать схемы подключения исследуемых преобразователей.

9.4.12 Сделать выводы по результатам исследований.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Какие разновидности индуктивных преобразователей вы знаете?
- 2 Опишите принцип действия и конструкцию индуктивных преобразователей.
- 3 Опишите принцип действия и конструкцию индукционных преобразователей.
- 4 Что такое дифференциальный преобразователь?
- 5 От чего зависит погрешность индуктивных преобразователей?
- 6 В какие электрические цепи включаются индуктивные преобразователи?
- 7 От чего зависит чувствительность индуктивных преобразователей?
- 8 От чего зависит чувствительность индукционных преобразователей?
- 9 Для каких физических величин используются индуктивные преобразователи?
- 10 Для каких физических величин используются индукционные преобразователи?

## **10 Лабораторная работа № 10. Исследование резистивных преобразователей**

### **Цель работы**

- 1 Изучить конструкцию резистивных преобразователей.
- 2 Ознакомиться с методами включения преобразователей, изучить их достоинства и недостатки.
- 3 Провести исследование преобразователей, снять их статические характеристики.

### **10.1 Общие положения**

**10.1.1 Резистивные преобразователи.** Резистивными называются преобразователи, которые преобразуют механическое перемещение в электрическое сопротивление.

Реостатными называются преобразователи, выполненные в виде реостата, движок которого перемещается под действием механической величины. В зависимости от конструктивного исполнения реостатные преобразователи делятся на линейные, вращательные и функциональные.

Для линейного преобразователя функция преобразования имеет вид:

$$R_x = \frac{R_p}{l} x,$$

а для углового



$$R_x = \frac{R_p}{2l} D \cdot \alpha_x,$$

где  $R_p$  – сопротивление преобразователя;  
 $l$  – длина преобразователя;  
 $D$  – диаметр преобразователя;  
 $x$  – линейное перемещение;  
 $\alpha_x$  – угловое перемещение.

Реостатные преобразователи конструктивно выполняют проволочными и непроволочными. В проволочных преобразователях, выполненных намоткой проволоки, имеющей высокое удельное сопротивление на каркас, существует погрешность квантования

$$\gamma_k = \frac{0,5 \cdot \Delta R_x}{R_p} \cdot 100 = \frac{0,5}{\omega} \cdot 100,$$

где  $\omega$  – число витков на каркасе.

Число витков обычно составляет 100... 200, а в прецизионных – тысячи.

Суммарная погрешность составляет 0,05...0,1 %. Внешние условия эксплуатации также оказывают влияние на погрешность преобразователей.

Резистивные преобразователи могут быть включены в цепь следующим образом: в цепь с последовательным включением (рисунок 10.1), в цепь с параллельным включением (реостатная) (рисунок 10.2), в мостовую схему.

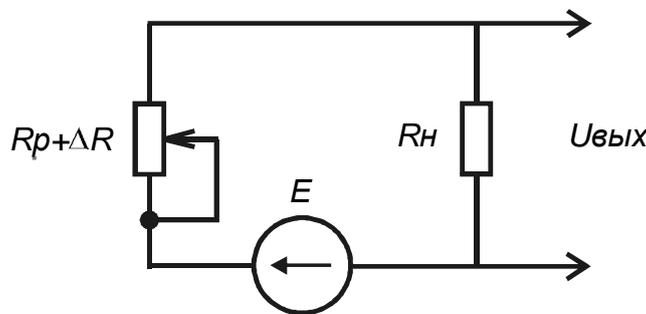


Рисунок 10.1 – Схема последовательного включения резистивного преобразователя

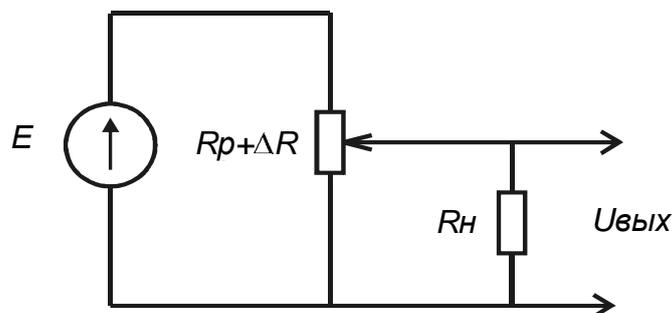


Рисунок 10.2 – Реостатная схема включения преобразователя

При включении преобразователя в цепь последовательного включения и в цепь реостатного включения функциональная зависимость выходного напряжения от перемещения движка не является линейной зависимостью. Нелинейность функции преобразования зависит от соотношения сопротивлений преобразователя  $R_p$  и сопротивления нагрузки  $R_n$ . Данное отношение называется коэффициентом нагрузки

$$\alpha = \frac{R_p}{R_n}.$$

При  $\alpha = 0$  ( $R_n = \infty$ ) функцию преобразования принято называть номинальной (в данном случае она линейна).

Чувствительность резистивного преобразователя зависит в основном от конструктивных параметров: диаметра используемой проволоки, удельного сопротивления материала проволоки, геометрических параметров каркаса.

Преобразователи с малым сопротивлением  $R_p$  включаются в цепь измерительного моста постоянного тока.

## 10.2 Описание лабораторного стенда

Для исследования резистивных преобразователей предлагается реостатный преобразователь перемещений со следующими характеристиками:

- диапазон перемещений ..... 130 мм;
- номинальное сопротивление ..... 6,8 кОм.

Эта схема позволяет исследовать как последовательную, так и реостатную схему включения преобразователя.

Номиналы элементов:

- $R_1 = 510$  Ом;
- $R_2$  – выбирается переключателем 1; 1,3; 2,4; 3,3; 6,8; 12; 24; 33; 62; 100 кОм;
- $U_p = 6,5$  В.

## 10.3 Программа работы

10.3.1 Исследовать работу резистивного преобразователя с последовательной схемой включения.

10.3.1.1 Подключить резистивный преобразователь к схеме при помощи перемычек следующим образом (рисунок 10.3).

10.3.1.2 Выставить величину нагрузки  $R_2$  переключателем по заданию преподавателя.

10.3.1.3 Подключить нагрузку переключателем SA1.

10.3.1.4 Подключить выход «U<sub>o+</sub>» ко входу «V+» вольтметра.

10.3.1.5 Подключить выход «U<sub>o-</sub>» ко входу «V-» вольтметра.

10.3.1.6 Включить QF1 «Сеть».



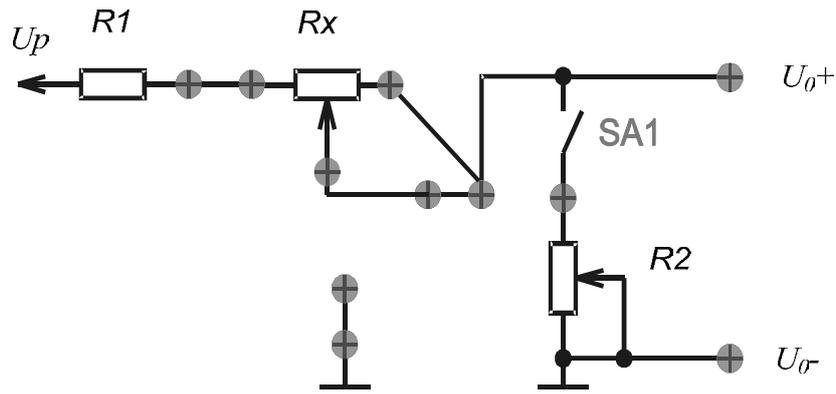


Рисунок 10.3 – Включение резистивного преобразователя по последовательной схеме

10.3.1.7 Снять статическую характеристику преобразователя, перемещая рукоятку от 0 до 100 мм.

10.3.1.8 Определить нелинейность преобразователя в каждом отдельном случае и чувствительность.

10.3.2 Исследовать работу резистивного преобразователя с реостатной схемой включения.

10.3.2.1 Подключить резистивный преобразователь к схеме при помощи перемычек следующим образом (рисунок 10.4).

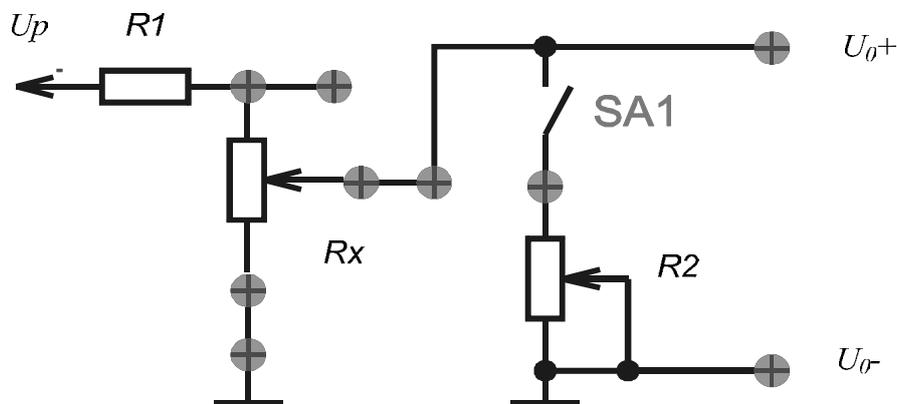


Рисунок 10.4 – Включение резистивного преобразователя по реостатной схеме

10.3.2.2 Выставить величину нагрузки  $R2$  переключателем в соответствии с коэффициентом нагрузки по заданию преподавателя.

10.3.2.3 Подключить нагрузку переключателем  $SA1$ .

10.3.2.4 Подключить выход « $U_{o+}$ » ко входу « $V+$ » вольтметра.

10.3.2.5 Подключить выход « $U_{o-}$ » ко входу « $V-$ » вольтметра.

10.3.2.6 Включить  $QF1$  «Сеть».

10.3.2.7 Снять статическую характеристику преобразователя, перемещая рукоятку от 0 до 100 мм для различных коэффициентов нагрузки

$$\alpha(\alpha_1 = 0; \alpha_2 = 5; \alpha_3 = 2; \alpha_4 = 1; \alpha_5 = 0,2).$$

10.3.2.8 Определить нелинейность преобразователя в каждом отдельном случае и чувствительность.

### **10.4 Содержание отчета**

10.4.1 Название лабораторной работы.

10.4.2 Цель работы.

10.4.3 Перечень приборов и принадлежностей, используемых при выполнении лабораторной работы.

10.4.4 Результаты проведенных исследований резистивного преобразователя.

10.4.5 Статическая характеристика резистивного преобразователя.

### **Контрольные вопросы**

1 Каков принцип действия резистивных преобразователей?

2 Объясните схемы включения резистивных преобразователей.

3 Являются ли резистивные преобразователи аналоговыми?

4 От чего зависит погрешность и чувствительность резистивных преобразователей?

5 Как построить резистивный преобразователь с функциональной зависимостью?

## **Список литературы**

1 Информационно-измерительная техника и электроника : учебник для вузов / Г. Г. Раннев [и др.]. – 2-е изд., стер. – Москва : Академия, 2007. – 512 с.

2 **Шишмарев, В. Ю.** Технические измерения и приборы : учебник для вузов / В. Ю. Шишмарев. – Москва : Академия, 2010. – 384 с.

3 **Раннев, Г. Г.** Измерительные информационные системы : учебник для вузов / Г. Г. Раннев. – Москва : Академия, 2010. – 336 с.

4 **Пелевин, В. Ф.** Метрология и средства измерений : учебное пособие / В. Ф. Пелевин. – Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2013. – 272 с.

5 Электрические измерения электрических и неэлектрических величин / Под ред. Е. С. Полищука. – Киев : Вища школа, 1984. – 359 с.

6 **Левшина, Е. С.** Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи : учебное пособие / Е. С. Левшина, П. В. Новицкий. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1983. – 319 с.

