

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ОРЕНБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ
ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

Б1.В.06.01 Электрические измерения

Направление подготовки 35.03.06 Агроинженерия

Профиль образовательной программы Электрооборудование и электротехнологии

Форма обучения заочная

СОДЕРЖАНИЕ

1. Конспект лекций.....	3
1.1 Лекция № 1 Сведения об измерениях и измерительной аппаратуре.....	3
1.2 Лекция № 2 Точность электрических измерений.....	6
2. Методические материалы по выполнению лабораторных работ.....	10
2.1 Лабораторная работа № ЛР-1 Качественные показатели электроизмерительных приборов, их классификация, маркировка и условно–графические обозначения.....	10
2.2 Лабораторная работа № ЛР-2 Поверка и градуировка электроизмерительных приборов	15
2.3 Лабораторная работа № ЛР-3 Методы и средства измерения сопротивлений.....	16
2.4 Лабораторная работа № ЛР-4 Косвенные методы измерения индуктивности и емкости.....	19

1. КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

1. 1 Лекция № 1 (2 часа).

Тема: Общие сведения об измерениях и измерительной аппаратуре

1.1.1 Вопросы лекции:

1. Введение.
2. Меры электрических величин.
3. Устройство, узлы и детали показывающего прибора

1.1.2 Краткое содержание вопросов

1. Введение.

Измерение есть экспериментальное сравнение измеряемой величины, с другой однородной величиной, принятой за единицу измерения.

Вещественно воспроизведенная (изготовленная) единица измерения, долевое или кратное ее значение называется *мерой*.

Устройство, при помощи которого производят измерение, называется *измерительным прибором*.

Приборы, предназначенные для измерения электрических величин, называют *электроизмерительными приборами*. Эти приборы подразделяют на *приборы непосредственной оценки* - *показывающие* и *приборы сравнения*.

Электроизмерительный прибор, предварительно проградуированный в единицах измеряемой величины и позволяющий непосредственно отсчитывать по отсчетному устройству (шкала и указатель) ее числовое значение, называют *показывающим* или *непосредственной оценки* (амперметры, вольтметры, ваттметры, фазометры, частотомеры и т. п.).

Электроизмерительный прибор, позволяющий получить числовое значение измеряемой величины в результате сравнения ее с мерой данной величины, называют *прибором сравнения* (измерительный мост, потенциометр). Прибор сравнения без меры не может быть использован для целей измерения.

Меры и приборы, предназначенные для непосредственных целей измерений, называют *рабочими*.

Меры и приборы, предназначенные для градуировки и поверки рабочих мер и приборов, называют *образцовыми*. Образцовые меры, изготовленные с наивысшей достижимой на данном уровне науки и техники точностью, называют *эталоны*.

Эталоны подразделяют на *рабочие* и *государственные*. Государственные эталоны основных единиц хранятся в специальных учреждениях и служат только для воспроизведения и поверки рабочих эталонов. Последние предназначены для поверки образцовых мер и приборов.

2. Меры электрических величин

Для электрических измерений в качестве мер широко используют меры эдс (напряжений), электрических сопротивлений, индуктивности, взаимоиנדуктивности и емкости.

Мера эдс. Образцовой мерой эдс служит нормальный элемент, представляющий собой гальванический элемент, характеризующийся весьма стабильным значением развиваемой им эдс. Нормальные элементы изготовляют двух типов: *насыщенные* и *ненасыщенные*, отличающиеся между собой конструктивным оформлением, электролитом и стабильностью развиваемой эдс.

При соответствующем качестве изготовления и температуре 20° эдс насыщенного нормального элемента составляет 1,0185 - 1,0187 В, т. е. наибольшее допустимое

расхождение значений эдс отдельных элементов не превосходит 200 мкВ. Эдс нормального элемента мало меняется во времени. Допустимое изменение э. д. с. насыщенного элемента за год в пределах 50 - 100 мкВ, в зависимости от класса. Эти элементы выпускают четырех классов: 0,001; 0,002; 0,005 и 0,02. Элементы классов 0,005 и 0,02 предназначены в качестве образцовых мер при точных измерениях, а элементы классов 0,001 и 0,002 применяют только для особо точных метрологических работ, а также для поверки элементов классов 0,005 и 0,02. Внутреннее сопротивление таких элементов 500 - 1000 Ом. Эдс насыщенных нормальных элементов зависит от температуры.

Эдс ненасыщенного элемента равна 1,0185 - 1,0195 В при 20°, а внутреннее сопротивление - 300 Ом. Эти элементы могут иметь годовые изменения э. д. с. до 300 мкВ. Они менее чувствительны к колебаниям температуры, их эдс изменяется мало при колебании температуры. Нормальные элементы этого типа относятся к классу 0,02 и используются в переносных измерительных устройствах.

Нормальные элементы нельзя нагружать током больше 1 мкА для высоких классов и 10 мкА для класса 0,02. Нагрузка током больше допустимого может нарушить стабильность эдс и вывести из строя элемент. Поэтому в цепи нормального элемента всегда рекомендуется иметь соответствующее ограничительное сопротивление.

Меры электрического сопротивления. Меры сопротивления выполняют в виде образцовых измерительных катушек сопротивления или измерительных магазинов сопротивлений.

Измерительные катушки сопротивления изготовляют нескольких типов: КСИ - измерительная катушка сопротивления негерметизированная (для постоянного тока); КСИГ - измерительная катушка сопротивления герметизированная (для постоянного тока); КСИБ - измерительная катушка сопротивления безреактивная для постоянного и переменного токов.

По наибольшему допустимому отклонению (в %) действительного значения сопротивления катушки от его номинального значения, указанного для окружающей температуры 20°, измерительные катушки разделяют на следующие классы точности: 0,002; 0,005; 0,01; 0,02 и 0,05. Катушки сопротивления классов 0,002; 0,005 и 0,01 предназначены для работы при температуре окружающей среды от +15 до +30°, а катушки классов 0,02 и 0,05 - при температуре окружающей среды от +10 до +35° и относительной влажности до 80%.

Хотя катушки изготовляют из *манганина* - материала с малым температурным коэффициентом, нагрузка катушек током, большим номинального, может вызвать недопустимое отклонение действительного значения сопротивления от его номинального значения в результате нагрева катушки. Поэтому регламентируются значения (обычно указываемые на каждой образцовой катушке) номинального или максимального токов нагрузки.

Катушки классов 0,01 и выше изготовляют с масляным, а катушки классов 0,02 и 0,05 - с воздушным охлаждением. Конструкции образцовых катушек сопротивления весьма различны.

Измерительные катушки сопротивления, являясь мерами с постоянным значением, не могут обеспечить плавного изменения значений сопротивлений. Для обеспечения возможности плавного изменения сопротивления предназначаются *магазины сопротивлений*.

Измерительный магазин сопротивлений представляет собой конструктивно оформленный в единое целое набор отдельных катушек сопротивлений, снабженный специальным переключающим устройством, обеспечивающим возможность плавного, без разрыва цепи, регулирования сопротивления во всем диапазоне его значений.

Магазины сопротивлений разделяют на следующие классы точности: 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1,0. Эти числа указывают допустимые значения основной погрешности при нормальных условиях.

Меры индуктивности и взаимоиндуктивности. Меры индуктивности выполняют в виде отдельных катушек или магазинов. Образцовую катушку индуктивности делают из медного провода, намотанного на жесткий каркас из изоляционного материала. Обмотку пропитывают парафином или другим вязким средством, обеспечивающим постоянство формы и расстояний между витками и слоями витков, а сверху ее закрывают слоем изоляционной ткани. Такие катушки изготавливают с номинальными значениями индуктивности: 0,0001; 0,001; 0,01; 0,1 и 1 Гн.

Важной характеристикой измерительных катушек индуктивности, особенно при использовании их в схемах мостов переменного тока, является добротность катушки, определяемая отношением индуктивного сопротивления катушки к ее активному сопротивлению:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

Для катушек типа КИ при частоте 50 Гц $Q = 1,5 - 2$.

Измерительные катушки взаимоиндуктивности имеют две обмотки на общем каркасе и две пары зажимов.

Наборы катушек индуктивности, позволяющие при помощи переключающего устройства получить без разрыва цепи различные индуктивности, конструктивно оформляют в виде магазинов индуктивностей.

Мерами с переменными значениями индуктивности и взаимоиндуктивности служат *вариометры*. Это конструкция из двух катушек с постоянными значениями индуктивности L_1 и L_2 каждая. Если одну катушку сделать подвижной относительно второй, то в зависимости от того, соединены ли электрически между собой обе катушки или нет, поворотом подвижной катушки можно изменять индуктивность $L_{\text{общ}}$ или взаимоиндуктивность M .

Если обе катушки включены последовательно согласно, то поворот подвижной катушки влечет за собой изменение общей индуктивности $L_{\text{общ}}$ вариометра: $L_{\text{общ}} = L_1 + L_2 + 2M$, где M - взаимоиндуктивность обеих катушек.

Если катушки электрически не будут соединены, то поворот подвижной катушки относительно неподвижной влечет за собой только изменение коэффициента связи — изменение взаимоиндуктивности M .

С подвижной катушкой связан указатель, перемещаемый относительно неподвижной шкалы, проградуированной в единицах L или M .

Меры емкости. Мерами емкости служат воздушные или слюдяные конденсаторы постоянной и переменной емкостей.

Широко применяют для измерений магазины емкостей. Это набор отдельных емкостей, включаемых при помощи штепсельного или рычажного устройства в нескольких сочетаниях (раздельно, последовательно или параллельно) и дающих различные значения емкости с определенным интервалом регулирования.

Магазины емкостей выпускают следующих классов точности: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1, нормируемых по основной погрешности, выраженной в процентах от номинального значения включенной емкости.

Конструктивное оформление и номинальные значения мер индуктивности, взаимоиндуктивности и емкости весьма разнообразны и регламентируются соответствующими ГОСТами.

3. Устройство, узлы и детали показывающего прибора

Несмотря на разнообразие электроизмерительных приборов, все они построены по одному общему принципу и имеют много общих узлов и деталей. В показывающем приборе измеряемая электрическая величина преобразуется во вращающий момент, действующий на подвижную часть, выполненную в виде рамки, сердечника, диска и т.п. Под действием этого момента подвижная часть поворачивается относительно неподвижной части прибора. По углу отклонения подвижной части, отмеченному по шкале указателем, судят о значении измеряемой величины.

Если на подвижную часть действует только вращающий момент, она отклонится на предельный угол (до упора) при любом значении измеряемой величины. Следовательно, по ее положению нельзя будет судить об измеряемой величине. Чтобы положение подвижной части зависело от значения измеряемой величины, необходимо воздействие на нее еще и противодействующего момента. Этот момент создается, как правило, спиральной пружиной. Величина вращающего момента должна быть функцией измеряемой величины, а противодействующий момент должен зависеть от положения подвижной части. Только при таких условиях установившееся положение подвижной части, наступающее при равенстве вращающего и противодействующего моментов, зависит от измеряемой величины.

Для уменьшения колебаний подвижной части (из-за инерции) около положения установившегося равновесия каждый прибор имеет специальное устройство, называемое *успокоителем*. В современных приборах применяют успокоители двух типов: *воздушные* и *магнитоиндукционные*.

По ряду причин (транспортировка, вибрации, остаточные деформации и др.) подвижная часть прибора, не включенного в цепь, может сместиться со своего нулевого положения. Чтобы установить подвижную часть в исходное нулевое положение, измерительные приборы имеют специальное устройство, называемое *корректором*.

Если центр тяжести подвижной части не совпадает с ее осью вращения, то на показания прибора оказывает влияние момент от сил тяжести и результат измерения зависит от положения прибора в момент измерения. Чтобы это исключить, подвижную часть уравнивают с помощью специальных *грузиков-противовесов*. Правильно уравновешенная подвижная часть не должна смещаться с нулевой отметки при любых положениях не включенного в цепь прибора. Уравновешенность подвижной части служит одним из показателей его механической исправности.

Любой показывающий измерительный прибор имеет *отсчетное устройство*. Оно состоит из *шкалы* и *указателя*. Шкала может быть именованной, т.е. отградуированной в единицах измеряемой величины, или условной. Чтобы узнать численное значение измеряемой величины по прибору с условной шкалой, надо умножить число делений, отсчитанных по шкале, на цену одного деления. Под ценой деления понимают отношение верхнего предела прибора к общему числу делений его шкалы.

Шкалы приборов бывают *нулевые* и *безнулевые*. Нулевые шкалы могут быть *односторонними* (нуль размещен в начале шкалы) или *двухсторонними* (нуль размещен между начальной и конечной отметками). В зависимости от размещения нуля между конечными отметками, двухсторонние шкалы бывают *симметричными* и *несимметричными*.

Важнейшим показателем шкалы измерительного прибора является ее характер, т.е. функциональная зависимость линейных или угловых расстояний между ее соседними отметками от измеряемой величины. По характеру шкалы бывают: равномерные, неравномерные, степенные, логарифмические и др. С точки зрения технологичности производства и точности измерений в большинстве случаев наиболее желательна равномерная шкала.

Указателями показывающих приборов, как правило, служат стрелки различных форм и конструкций. Наиболее точные приборы часто имеют вместо стрелки внутренний

световой указатель. За счет многократных изменений направлений луча, общая его длина от зеркальца подвижной части до шкалы может достигать 0,5 – 1 м, что равносильно применению стрелки такой же длины. Таким образом, небольшое отклонение подвижной части вызывает заметное перемещение светового указателя по шкале, т.е. чувствительность прибора значительно повышается.

Световой указатель имеет преимущества перед стрелочным, но для него необходимы специальное устройство и источник питания, несколько усложняющие и удорожающие прибор.

Все узлы и детали измерительного прибора в собранном виде помещают в корпус. Иногда корпус играет также роль экрана, защищающего измерительный прибор от влияния внешних магнитных и электрических полей. Размеры корпусов, как и другие параметры приборов, регламентированы соответствующими ГОСТами.

1.2 Лекция № 2 (2 часа)

Тема: Точность электрических измерений.

1.2.1 Вопросы лекции:

1. Методы измерений.
2. Погрешность измерений.
3. Повышение точности и оценка достоверности результатов измерений.
4. Определение требуемой точности измерений и выбор измерительной.

1.2.2 Краткое содержание вопросов:

1. Методы измерений.

Совокупность приемов использования принципов и средств измерений составляет *метод измерения*. Различные методы измерений отличаются прежде всего организацией сравнения измеряемой величины с единицей измерения. С этой точки зрения все методы измерений подразделяются на две группы: методы непосредственной оценки и методы сравнения. Методы сравнения в свою очередь включают в себя метод противопоставления, дифференциальный метод, нулевой метод, метод замещения и метод совпадений.

Методы измерений классифицируют по нескольким признакам.

По общим приемам получения результатов измерений различают:

- 1) прямой метод измерений;
- 2) косвенный метод измерений.

Первый реализуется при прямом измерении, второй — при косвенном измерении, которые описаны выше.

По условиям измерения различают контактный и бесконтактный методы измерений.

Контактный метод измерений основан на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения (измерение температуры тела термометром).

Бесконтактный метод измерений основан на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерения (измерение расстояния до объекта радиолокатором, измерение температуры в доменной печи пирометром).

При методе *непосредственной оценки* значение измеряемой величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (измерительный прибор, в котором предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении, т. е. без обратной связи). На этом методе основаны все показывающие (стрелочные) приборы (вольтметры, амперметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, термометры, тахометры и т. п.).

При использовании данного метода измерений мера как вещественное воспроизведение единицы измерения, как правило, непосредственно в процессе измерения не участвует. Сравнение измеряемой величины с единицей измерения осуществляется косвенно путем предварительной градуировки измерительного прибора с помощью образцовых мер или образцовых измерительных приборов.

Точность измерения по методу непосредственной оценки в большинстве случаев невелика и ограничивается точностью применяемых измерительных приборов.

Метод *сравнения с мерой* - это такой метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Примеры этого метода: измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирь; измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнением с ЭДС нормального элемента.

Метод *сравнения с мерой*, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами, называется методом *противопоставления*. Это, например, измерение массы на рычажных весах с помещением ее и уравнивающих гирь на две чашки весов при известном соотношении плеч рычага весов. В этом случае при качественном выполнении устройства сравнения (малое трение в опорах, стабильность соотношения плеч рычага и т. п.) может быть достигнута высокая точность измерений (например - аналитические весы).

Дифференциальный метод - это метод сравнения с мерой, в котором на измерительный прибор воздействует разность измеряемой величины и известной величины, воспроизводимой мерой. Этот метод позволяет получать результаты измерений с высокой точностью даже в случае применения относительно неточных измерительных приборов, если с большой точностью воспроизводится известная величина.

Эффект повышения точности результатов измерений, достигаемый при дифференциальном методе, оказывается тем значительнее, чем ближе значение меры к истинному значению измеряемой величины. В том случае, когда результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводя до нуля, дифференциальный метод измерений превращается в *нулевой*. В нулевом методе измерений используемая мера должна быть изменяемой (регулируемой), а прибор сравнения выполняет функции индикатора равенства нулю результирующего воздействия измеряемой величины и меры.

Нулевой метод позволяет получить высокие точности измерений и широко используется, например, при измерениях электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием или постоянного напряжения компенсатора постоянного тока.

Методом *замещения* называется метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой. Это, например, взвешивание с поочередным помещением массы и гирь на одну и ту же чашку весов. Метод замещения можно рассматривать как разновидность дифференциального или нулевого метода, отличающуюся тем, что сравнение измеряемой величины с мерой производится одновременно.

Метод *совпадений* - это метод сравнения с мерой, в котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов. Примерами этого метода являются измерения длины с помощью штангенциркуля с нониусом, измерение частоты вращения стробоскопом.

2. Погрешность измерений.

Абсолютная погрешность измерений, производимых электроизмерительными приборами, оценивается исходя из класса точности приборов. Обозначение класса точности 0,2; 0,5 и 1 и т.д. не только характеризует прибор в зависимости от градуировки и других факторов, но и указывает, что погрешность показаний прибора соответствующего класса в любом месте шкалы не должна превышать 0,2%; 0,5%; 1%.

Если обозначим через A_{max} максимально возможное показание прибора, а через n - класса точности прибора в абсолютных единицах, то получим абсолютную погрешность прибора

$$\Delta A = A_{max} n$$

Например, вольтметр 0,2 класса ($n=0,002$), шкала которого рассчитана на 50 В, имеет абсолютную погрешность

$$\Delta U = \pm 0,002 \cdot 50 \text{ В} = \pm 0,1 \text{ В}$$

а амперметр класса 1,5, рассчитанный на максимальное показание 5А, имеет абсолютную погрешность

$$\Delta I = \pm 0,015 \cdot 5 \text{ А} = \pm 0,075 \text{ А}.$$

Так как абсолютная погрешность считается одинаковой по всей шкале данного измерительного прибора, то относительная погрешность ($\frac{\Delta I}{I}$) будет тем больше, чем меньше измеряемая величина. Если, например, при помощи указанного амперметра измерить ток около 4А, то относительная погрешность будет составлять 1,9% а при измерении силы тока около 1 А – 7,5%.

При точных измерениях следует пользоваться такими приборами, чтобы предполагаемой значение измеряемой величины составляло 70-80% от максимального (номинального) значения. Поэтому применяют приборы, имеющие несколько пределов измерения, при работе с такими приборами его включают в сеть на тот предел измерения, который достаточно близок к предлагаемому значению измеряемой величины.

Рассмотрим вычисленные погрешности на следующем примере:

Определить погрешность измерения внутреннего сопротивления элемента, электродвижущая сила которого \mathcal{E} , напряжение по полюсам U и величина тока I . Для измерения U и \mathcal{E} применен вольтметр класса 0,5 ($U_{max}=2,5\text{В}$), а для измерения I – амперметр класса 1,0 ($I_{max}=1,5\text{А}$). Результаты измерений следующие:

$$\mathcal{E} = 2\text{В}; U = 1,3\text{В}; I = 1,2 \text{ А}.$$

Абсолютные погрешности измерений;

$$\Delta \mathcal{E} = \pm 0,005 \cdot 2,5 \text{ В} = \pm 0,0125 \text{ В}$$

$$\Delta I = \pm 0,01 \cdot 1,5 \text{ А} = \pm 0,015 \text{ А}$$

Вычисление внутреннего сопротивления производим по формуле:

$$r = \frac{\mathcal{E} - U}{I}$$

Максимальная относительная погрешность может быть определена общеизвестным способом. После логарифмирования

$$\ln(r) = \ln(\mathcal{E} - U) - \ln(I)$$

находим относительную погрешность

$$\frac{\Delta r}{r} = \frac{\Delta(\mathcal{E} - U)}{\mathcal{E} - U} + \frac{\Delta I}{I} = \frac{\Delta \mathcal{E} + \Delta U}{\mathcal{E} - U} + \frac{\Delta I}{I}$$

$$\frac{\Delta r}{r} = \pm \frac{0,0125 + 0,0125}{2 - 1,3} + \frac{0,015}{1,2} = \pm 0,05$$

Эта погрешность, выраженная в процентах, составляет:

$$\frac{\Delta r}{r} 100\% = \pm 5\%$$

Затем находим внутреннее сопротивление и абсолютную погрешность:

$$r = \frac{(2 - 1,3) \text{ В}}{1,2 \text{ А}} = 0,58 \text{ Ом}$$

$$\Delta r = \pm 0,05 \cdot 0,58 \text{ Ом} = \pm 0,03 \text{ Ом}$$

Следовательно, внутреннее сопротивление

$$r = (0,58 \pm 0,03) \text{ Ом}$$

Другим способом расчета погрешностей косвенных измерений можно осуществить методом дифференцирования:

$$\Delta r = \sqrt{\left(\frac{\partial r}{\partial \mathcal{E}} \Delta \mathcal{E}\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial U} \Delta U\right)^2 + \left(\frac{\partial r}{\partial I} \Delta I\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{I} \Delta \mathcal{E}\right)^2 + \left(-\frac{1}{I} \Delta U\right)^2 + \left(-\frac{\mathcal{E} - U}{I^2} \Delta I\right)^2}$$

или через относительные погрешности результатов прямых измерений:

$$\frac{\Delta R}{R} = \sqrt{\left(\frac{\Delta c}{c-U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta U}{c-U}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}$$

3. **Повышение точности и оценка достоверности результатов измерений.**

Точность измерений - степень приближения измерения к действительному значению величины.

Достоверность – это характеристика знаний как обоснованных, доказанных, истинных. В экспериментальном естествознании достоверными знаниями считаются те, которые получили документальное подтверждение в ходе наблюдений и экспериментов. Наиболее полным и глубоким критерием достоверности знаний является общественно-историческая практика. Достоверные знания следует отличать от вероятностных знаний, соответствие которых действительности утверждается только в качестве возможной характеристики.

Достоверность измерений – это показатель степени доверия к результатам измерения, то есть вероятность отклонений измерения от действительных значений. Точность и достоверность измерений определяются погрешностью из-за несовершенства методов и средств измерений, тщательности проведения опыта, субъективных особенностей и квалификации экспериментаторов и других факторов.

Государственная система приборов.

Повышение требований к количеству и качеству средств измерений для нужд народного хозяйства привело к созданию Государственной системы промышленных приборов и средств автоматизации (ГСП). ГСП – это совокупность изделий, предназначенных для использования в промышленности в качестве технических средств автоматических и автоматизированных систем контроля, измерения, регулирования и управления технологическими процессами (АСУТП). С помощью средств ГСП измеряются и регулируются величины: пространства и времени, механические, электрические, магнитные, тепловые и световые.

Развитие науки и техники обуславливает повышение роли измерений. Количество средств и методов измерения непрерывно возрастает, при этом важно, чтобы количественное и качественное развитие метрологии происходило в рамках единства измерения, под которым понимают представление результатов в узаконенных единицах с указанием значения и характеристик погрешностей.

4. **Определение требуемой точности измерений и выбор измерительной.**

Многократное измерение одной и той же величины постоянного размера позволяют обеспечить требуемую точность. Поскольку ширина доверительного интервала зависит от количества экспериментов, то увеличивая n можно добиться выполнения наперед заданного условия $\varepsilon \leq \varepsilon_{\phi}$.

Пример

Имеется 10 независимых значений результата измерения линейного размера.

Определить длину с вероятностью 0,95. Точность измерения не ниже $2\varepsilon_{\phi} = 2\text{см}$.

Решение

1.Используя вспомогательные вычисления получим: $\hat{l}_{0,95} = 392$, $S_l = 2,5$

2.Больше чем на 3 $S_l = 7,5$ от среднего не отличается ни одно из значений. Следовательно ошибок нет.

3. Допустим есть основание полагать, что измерения подчиняются нормальному закону.

$$S_1 = \frac{2.5}{\sqrt{10}} \approx 0.79$$

4. Стандартное отклонение среднего арифметического равно

5. При $n = 10$ $P = 0.95$ по графику распределения Стьюдента находим $t = 2.3$.

6. Так как $\varepsilon = t \cdot S_1 = 0.79 \cdot 2.3 = 1.82 > \varepsilon_0 = 1$, то необходимо увеличить количество экспериментальных данных.

7. Пусть $\bar{x}_1 = 390$, следовательно $\bar{x}_1 = 391.8$ и $S_1 = 2.48$.

8. Для проверки нормальности закона распределения используем составной критерий: при $n = 11$, $d_{\text{min}} \leq d = 0.8526 \leq d_{\text{max}}$ и ни одно из численных значений x_i не отличается от среднего больше чем на $2.5 S_1$. Т.о. результат проверки не противоречит гипотезе о нормальности.

$$S_1 = \frac{2.48}{\sqrt{11}} \approx 0.75$$

9. Стандартное отклонение среднего арифметического

10. При $n = 11$, $P = 0.95$, $t = 2.2$ $\varepsilon = t \cdot S_1 = 1.65 > \varepsilon_0 = 1$, следовательно необходимо увеличивать количество экспериментальных данных. При таком задании $n \approx 20$.

На практике беспрестанно повышать точность т.о. нельзя, т.к. рано или поздно определяющим становится не рассеяние расчета, а недостаток информации о поправках. Следовательно точность многократных измерений ограничивается дефицитом информации.

Измерительный приемочный контроль объекта по заданному параметру, когда нормированы его предельные значения. Для случая приемочного контроля объекта по заданному параметру, если он ограничен двумя предельными значениями, допустимая погрешность измерений не должна превышать 1/3 части допуска (Т) параметра:

$$[\Delta] \leq T/3.$$

Такое соотношение будет удовлетворительным при случайном характере контролируемого параметра и случайной погрешности измерений.

При контроле погрешности средства измерения (поверке СИ) погрешность измерения не должна превышать 1/3 основной погрешности поверяемого средства измерений, если погрешности поверяемого СИ и погрешности поверки имеют случайный характер:

$$[\Delta] \leq \Delta_{\text{СИ}}/3.$$

Арбитражная перепроверка результатов приемочного контроля.

При арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля, с учетом уже приведенных допущений, допустимая погрешность измерений не должна превышать 1/3 часть погрешности измерений параметра при его приемочном контроле ($\Delta_{\text{пр}}$):

$$[\Delta] \leq \Delta_{\text{пр}}/3.$$

Таким образом, измерения параметра при приемочном контроле, при арбитражной перепроверке результатов приемочного контроля или при поверке (приемочном контроле) средств измерений представляют собой тривиальные измерительные задачи, в ходе решения которых допустимую погрешность измерений определяют, исходя из традиционного в метрологической практике соотношения

$$[\Delta] \leq (1/5 \dots 1/3) \cdot B/3.$$

где В – допуск контролируемого параметра, погрешность измерения в ходе приемочного контроля или основная погрешность поверяемого СИ.

При сортировке объектов на группы по заданному параметру допустимую погрешность назначают в зависимости от минимального группового допуска ($T_{гр}$):

$$[\Delta] \leq T_{гр}/3.$$

При ориентировочной (приближенной) оценке физической величины можно назначить практически любую допустимую погрешность, которая не приведет к существенному искажению результатов измерений. Обычно в таком случае измерение осуществляют с произвольной погрешностью, которую и принимают за допустимую. Затем оценивают реализуемую погрешность измерений и возможное искажение значения измеряемой физической величины. Формальное описание такой задачи выбора допустимой погрешности измерений:

$$[\Delta] = \Delta.$$

Исследование физической величины, включая исследование точности воспроизведения физической величины и/или исследование изменения физической величины под воздействием переменных (или неопределенных) факторов. При измерении параметра в процессе научного исследования, допустимую погрешность измерений определяют, исходя из конкретной цели исследований.

Можно исследовать точность воспроизведения физической величины на одном объекте (толщина пластины, высота цилиндра и т.д.) или на множестве номинально одинаковых объектов (э.д.с. термодвигателя одной партии, массы деталей одного типоразмера, диаметры шариков для подшипника качения и др.). Эту задачу можно ограничить оценкой размаха R измеряемых физических величин, или расширить вплоть до выявления вида и числовых характеристик распределения исследуемой случайной величины.

Если необходимо убедиться, что рассеяние параметра исследуемого объекта при многократном воспроизведении не превышает некоторого заранее заданного или искомого значения R_N , удовлетворительным решением задачи может быть соотношение

$$R \leq R_N \text{ при } R \leq 2\Delta,$$

где R – оценка рассеяния параметра, включающая погрешность воспроизведения величины и погрешность ее оценки,

Δ – оценка погрешности измерения, которая в таком случае принимается за допустимое значение погрешности измерения, т.е. $[\Delta] = \Delta$.

В этом случае можно считать доказанным, что размах или поле практического рассеяния физической величины (RQ) при многократном воспроизведении не превышает значения погрешности измерения, то есть

$$RQ \ll \Delta$$

Во втором случае обычно строят гистограмму и полигон распределения исследуемой случайной величины, для чего необходимо выявить поле практического рассеяния (RQ) многократно воспроизводимой физической величины. Чтобы погрешности измерений не оказали значительного искажающего воздействия на поле рассеяния, при необходимости выбирают все более точные МВИ, добываясь методом последовательных приближений соотношения

$$\Delta = (1/10 \dots 1/6)RQ,$$

после чего достигнутое значение Δ принимают за допустимое значение погрешности измерения, т.е.

$$[\Delta] = \Delta.$$

При исследовании изменения физической величины под действием нормируемых переменных аргументов или неопределенных факторов необходимо назначить такую допустимую погрешность измерений, которая была бы пренебрежимо мала по сравнению с исследуемым изменением величины (ϵQ):

$$[\Delta] \ll \epsilon Q.$$

К такому значению погрешности также приходят методом последовательных приближений.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

2.1 Лабораторная работа № 1 (2 часа).

Тема: Качественные показатели электроизмерительных приборов, их классификация, маркировка и условно-графические обозначения

2.1.1 Цель работы:

Изучить качественные показатели электроизмерительных приборов, их классификацию, маркировку и условно-графические обозначения

2.1.2 Задачи работы:

1. Качественные показатели электроизмерительных приборов
2. Классификация электроизмерительных приборов
3. Маркировка электроизмерительных приборов

2.1.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

Амперметр, вольтметр, ваттметр

2.1.4 Описание (ход) работы:

Для обеспечения необходимой точности измерений электроизмерительные приборы должны удовлетворять ряду требований и обладать определенными качественными показателями. Наиболее важными качественными показателями являются:

- точность;
- стабильность;
- устойчивость к влияниям внешних факторов;
- чувствительность;
- собственное потребление;
- перегрузочная способность;
- изоляция токоведущих частей;
- механическая добротность.

Точность. В результате несовершенства конструкции, неточной подгонки отдельных элементов, неправильной градуировки, влияния внешних факторов, показание измерительного прибора всегда отличается от *действительного* значения измеряемой величины. Разность между показанием измерительного прибора $A_{\text{пр}}$ и действительным значением измеряемой величины $A_{\text{д}}$ называется *абсолютной погрешностью измерительного прибора* $\Delta_{\text{пр}}$:

$$\Delta_{\text{пр}} = A_{\text{пр}} - A_{\text{д}} .$$

За действительное значение измеряемой величины принимают значение, полученное с помощью более точных, образцовых приборов. Действительное значение отличается от *истинного*, так как даже самые точные приборы имеют погрешности.

Погрешности измерительных приборов делят на *случайные* δ и *систематические* f .
Общая абсолютная погрешность прибора

$$\Delta_{\text{пр}} = \delta + f .$$

Погрешности приборов зависят от условий работы. Чем больше отличаются условия работы от условий, в которых приборы создавались, градуировались и

поверялись, тем большая возможная их погрешность. Поэтому для характеристики точности измерительных приборов введено понятие *основной погрешности*.

Основной погрешностью называют погрешность, присущую приборам при нормальных условиях их эксплуатации. Нормальные условия регламентируются техническими условиями (ТУ) и соответствующими ГОСТами.

Абсолютная погрешность в нормальных условиях недостаточно объективно характеризует точность измерительного прибора. Например, амперметры на 10 А и на 1 А, дающие абсолютную погрешность в 0,01 А, не являются одинаково точными. Более полное представление о точности прибора дает *относительная погрешность* $\Delta\%$, обычно выражаемая в процентах от действительного значения:

$$\Delta\% = \frac{\Delta_{np}}{A_d} 100\% .$$

Однако, относительная погрешность характеризует точность прибора только в данной точке его шкалы. Для характеристики точности измерительного прибора по всей его шкале введено понятие *приведенной погрешности*, под которой понимают относительную погрешность, выраженную в процентах от номинального, верхнего предела измерительного прибора:

$$\gamma = \frac{\Delta_{np}}{A_H} 100\% .$$

По допустимому значению приведенной погрешности все измерительные приборы делят на классы точности. Используя класс точности прибора, можно определить максимальную допустимую абсолютную погрешность измерения данным прибором:

$$\Delta_{\max} = \frac{\gamma A_H}{100}$$

Стабильность. Измерительные приборы состоят из отдельных узлов и деталей, изготовленных из различных материалов. В процессе эксплуатации под воздействием факторов окружающей среды могут изменяться их физико-механические, электрические, магнитные и другие свойства. Эти изменения влекут за собой появление погрешностей измерительных приборов. Чем стабильнее характеристики материалов, чем качественнее технология производства, тем меньше изменяются со временем погрешности измерительных приборов, тем они стабильнее в течении срока эксплуатации.

Устойчивость к влияниям внешних факторов. Внешнее магнитное и электрическое поле, накладываясь на внутреннее поле прибора, усиливают или ослабляют его, тем самым вызывают изменение основной погрешности.

Изменение температуры приводит к изменению упругих свойств пружин, изменению магнитного потока постоянных магнитов, изменению сопротивления металлических проводников. Это также приводит к изменению основной погрешности приборов.

Чем меньше влияние внешних факторов на приборы, тем они качественнее и достовернее получаемая информация.

Чувствительность. Измеряемая величина может изменяться во времени, поэтому измерительный прибор должен не только показывать ее значение, но и реагировать на ее изменение во времени. Эта способность характеризуется *чувствительностью* прибора. Чувствительностью называют отношение линейного или углового перемещения указателя к изменению значения измеряемой величины, вызывающему это перемещение.

Для приборов с равномерной шкалой чувствительность равна

$$S = \frac{\alpha}{X},$$

для приборов с неравномерной шкалой

$$S = \frac{d\alpha}{dX}.$$

Величиной, обратной чувствительности, является *цена деления* прибора

$$C = \frac{1}{S}.$$

Собственное потребление. Всякое измерение неизбежно связано с включением измерительных приборов в исследуемую цепь. Это влечет за собой изменение режима работы цепи. Степень этого влияния зависит от соотношения их сопротивлений и сопротивлений исследуемой цепи. Чем больше мощность, потребляемая измерительным прибором, тем больше его влияние на исследуемую цепь и больше погрешность измерения. Поэтому, собственное потребление энергии измерительным прибором является важным показателем его качества.

Перегрузочная способность. Обмотки измерительных приборов рассчитаны на длительную работу при номинальных токах и напряжениях. При этом их температура не превышает определенных, нормальных значений.

Токовые перегрузки при авариях, неправильных включениях и других непредусмотренных обстоятельствах могут повлечь за собой перегрев обмотки и преждевременное разрушение изоляции или даже сгорание обмотки. Кратковременные перегрузки большими токами опасны также значительными динамическими перегрузками в измерительном механизме, что может вызвать механические повреждения деталей и узлов.

Перегрузки по напряжению приводят к пробое изоляции и также сопровождаются токовыми перегрузками со всеми вытекающими последствиями.

Перегрузочная способность прибора определяется его конструктивными особенностями и так же, как и другие показатели, нормируется соответствующими ГОСТами.

Изоляция токоведущих частей. Эта изоляция должна обеспечивать надежность работы электроизмерительных приборов и безопасность их обслуживания. Кроме того, недостаточное сопротивление изоляции токоведущих частей может привести к заметным погрешностям измерений за счет токов утечки. Поэтому тот же ГОСТ нормирует и величину сопротивления изоляции прибора.

Механическая добротность. Подвижная часть показывающего электроизмерительного прибора обладает определенной массой. Если она не будет соответствующим образом уравновешена, то на подвижную часть, кроме вращающего и противодействующего моментов, будет также действовать дополнительный момент от силы тяжести. Это приведет к дополнительным погрешностям измерений, которые будут зависеть от положения прибора в момент измерения.

Если подвижная часть установлена на кернах в опорах, то на показания прибора оказывает влияние и момент трения. Измерительный прибор под влиянием момента трения перестает реагировать на незначительные изменения измеряемой величины. Чем больший вращающий момент развивает измерительный механизм при одной и той же измеряемой величине, тем меньше момент трения влияет на показания прибора.

2. Классификация электроизмерительных приборов

Показывающие приборы могут быть классифицированы по ряду признаков: назначение, род измеряемой величины, условия эксплуатации, защищенность от внешних магнитных или электрических полей, устойчивость к механическим воздействиям, точность, принцип действия и др.

По роду измеряемой величины электроизмерительные приборы подразделяют на амперметры, вольтметры, ваттметры, счетчики электрической энергии, омметры, фазометры, фарадметры, частотомеры и др.

В зависимости от условий эксплуатации приборы и вспомогательные части по своему исполнению разделяются на три группы: А – приборы, предназначенные для работы в закрытых сухих отапливаемых помещениях; Б – приборы, предназначенные для работы в закрытых неотапливаемых помещениях; В – приборы для работы в полевых (B_1) или морских (B_2) условиях.

По защищенности от внешних полей показывающие приборы подразделены на две категории с допускаемыми изменениями показаний (в %), в зависимости от класса точности.

По устойчивости к механическим воздействиям показывающие приборы разделяют на обыкновенные, обыкновенные с повышенной прочностью и устойчивые к механическим воздействиям – тряскопрочные (ТП), вибрационнопрочные (ВП), нечувствительные к тряске (тряскоустойчивые) (ТН), нечувствительные к вибрации (вибрационноустойчивые) (ВН), ударопрочные (УП).

Тряскопрочными, вибрационнопрочными или ударопрочными называют приборы, способные противостоять разрушающему влиянию механических воздействий и продолжать нормально работать после их воздействия.

Тряскоустойчивыми или вибрационноустойчивыми называют приборы, способные нормально работать в условиях тряски или вибрации.

По точности показывающие приборы и вспомогательные части, предназначенные для работы в комплекте с ними (шунты, добавочные сопротивления, делители напряжения) разделяют на следующие классы:

приборы: 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0.

вспомогательные части: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5 и 1,0.

По способу преобразования измеряемой величины во вращающий момент, действующий на подвижную часть, а также по конструктивным особенностям измерительного механизма показывающие приборы бывают: магнитоэлектрические с подвижной рамкой, магнитоэлектрические с подвижным магнитом, электромагнитные, электромагнитные поляризованные, электродинамические, ферродинамические, индукционные, магнитоиндукционные, электростатические, вибрационные, тепловые, биметаллические.

По принципу действия и конструктивным особенностям преобразователя, применяемого в комплекте с магнитоэлектрическим измерительным механизмом, приборы разделяются на: выпрямительные, термоэлектрические и электронные.

По способу создания противодействующего момента все показывающие приборы делают с механическим или магнитным противодействующим моментом, либо в виде логометров.

3. Маркировка электроизмерительных приборов

Для того, чтобы можно было легко получить необходимую информацию по измерительному прибору, на лицевой стороне прибора, обычно на шкале указаны при помощи условных обозначений: единица измеряемой величины; класс точности прибора; ГОСТ, по которому прибор изготовлен; род тока и число фаз; система измерительного механизма; категория защищенности прибора от влияния внешних полей; группа прибора

по условиям эксплуатации; рабочее положение прибора; испытательное напряжение прочности электрической изоляции токоведущих частей; положение прибора относительно земного магнитного поля, если это влияет на показания прибора; номинальная частота или диапазон рабочих частот; тип (шифр) прибора; год выпуска и заводской номер прибора; товарный знак завода-изготовителя и др.

Для унификации обозначений отдельных типов электроизмерительных приборов и устройств заводы применяют при обозначении системы прибора следующие буквы: М – магнитоэлектрическая, Д – электродинамическая, Э – электромагнитная, Ц – выпрямительная, Т – термоэлектрическая, Ф – электронная, ЭЛ и ЭД – электродинамическая и ферродинамическая. Самопишущие приборы, независимо от их системы, обозначают буквой Н, приборы сопротивления (мосты, потенциометры, добавочные сопротивления, катушки и магазины сопротивлений) – буквой Р. Типы всякого рода установок обозначают буквой У.

В приборах, предназначенных для работы в тропических условиях, после цифр в обозначении типа ставят букву Т (тропический). Такое унифицированное обозначение типов значительно облегчает выбор нужных приборов.

2.2 Лабораторная работа № 2 (2 часа).

Тема: Поверка и градуировка электроизмерительных приборов

2.2.1 Цель работы

Поверка градуировки приборов методом сличения с показаниями образцового прибора, определение абсолютной и относительной погрешности, вариации показаний прибора и наибольшей погрешности.

2.2.2 Задачи работы:

1. Порядок поверки, способы и правила поверки
2. Электрическая схема эксперимента
3. Рабочие таблицы

2.2.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. фазометр
2. ваттметры
3. амперметр
4. источник питания

i. Описание (ход) работы:

1. Ознакомиться с приборами, записать системы приборов, их пределы измерения, классы точности в таблицу 3.1.
2. Произвести внешний осмотр поверяемого ваттметра и проверить исправность электрических цепей прибора омметром.
3. Выполнить проверку уравновешенности подвижной части поверяемого ваттметра.
4. Собрать электрическую цепь по рисунку 1.

Электрическая схема эксперимента

Рисунок 1

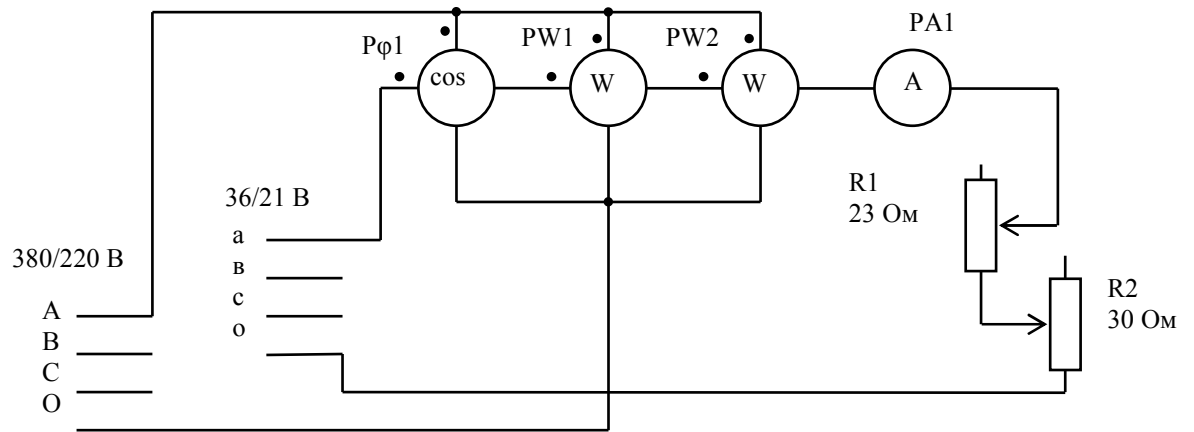


Таблица 3.1 Параметры электроизмерительных приборов

Позиционное обозначение прибора	Тип прибора	Система измерительного механизма	Пределы измерения	Класс точности
Рф1 - Д578 PW1 - Д566 PW2 - Д307 РА1 - АСТ				

Таблица 3.2 Результаты эксперимента

№ оп	Показания приборов			Погрешности				Вариация %
	Пове- ряемый	Образцовый		Абсолютная		Приведенная		
		Ход вверх	Ход вниз	Ход вверх	Ход вниз	Ход вверх	Ход вниз	
1								
2								
3								
...								
10								

- Включить источники питания, с помощью реостата плавно установить значение тока, соответствующее отклонению стрелки поверяемого прибора на всю шкалу и прогреть приборы в течении 5 минут.
- Увеличить сопротивление реостата до максимальной величины, установив стрелки ваттметров на минимальные значения.
- Произвести поверку ваттметра на всех оцифрованных делениях шкалы при непрерывном увеличении мощности нагрузки до номинального значения и последующем уменьшении ее до минимума. Результаты измерений занести в таблицу 3.2.
- Выполнить расчет абсолютной и приведенной погрешности измерения в каждом опыте, а также вариации показаний прибора. Результаты расчетов занести в таблицу 3.2.

2.3 Лабораторная работа № 3 (2 часа).

Тема: Методы и средства измерения сопротивлений

2.3.1 Цель работы:

Изучение и освоение методик измерения активных сопротивлений на постоянном токе косвенными методами с помощью амперметра и вольтметра, одного вольтметра и одного амперметра.

2.3.2 Задачи работы:

- Метод амперметра и вольтметра
- Метод одного вольтметра
- Метод одного амперметра

2.3.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Амперметры
2. вольтметры
3. резисторы
4. источник постоянного напряжения

2.3.4 Описание (ход) работы:

1. Заготовить отчет по лабораторной работе. В отчете вычертить схемы для измерения сопротивления методом амперметра-вольтметра, методом одного вольтметра, методом одного амперметра, электрическую схему эксперимента, а также рабочие таблицы.
2. Собрать электрическую цепь по рисунку 2.1.
3. Используя параметры элементов цепи, установить пределы измерения приборов.
4. Цифровым омметром измерить точные значения сопротивлений резисторов R1, R2, и R3. Результаты измерений занести в таблицу 2.1. Эти значения в дальнейших расчетах считать истинными значениями сопротивлений резисторов.
5. Измерить сопротивления резистора R1 методом амперметра-вольтметра, используя схему по рисунку 1.1а. Для этого включить вилку XT4 в розетку XS1, вилку XT5 в розетку XS4, вилку XT6 в розетку XS3, остальные розетки должны оставаться свободными. Включить вилку XT1 в розетку XS5. Далее, установить регулятор напряжения источника G1 в нулевое положение и включить источник. Регулятором плавно увеличивать напряжение до тех пор, пока ток в цепи не достигнет значения 50 мА. Записать показания амперметра PA1 (I_1) и вольтметра PV2 (U_1) в таблицу 2.2.

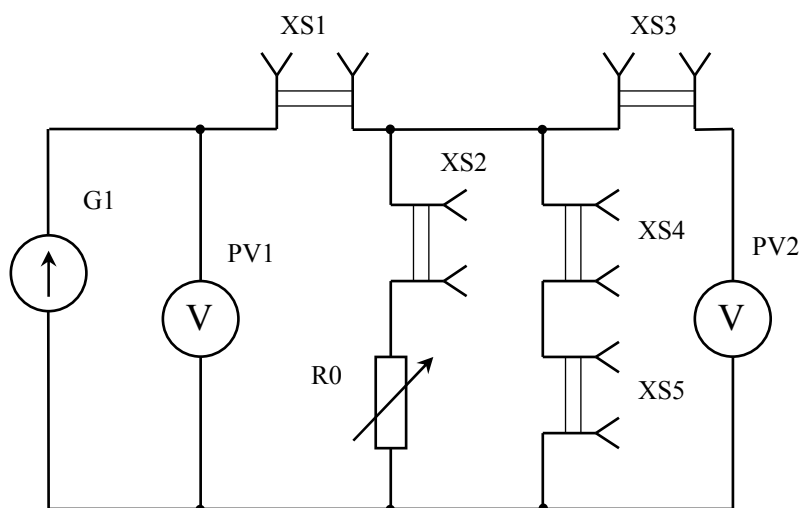


Рисунок 2.1 Электрическая схема эксперимента

Таблица 2.1 Параметры элементов цепи

G1	PV1	PV2	PA1	R0, Ом	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом
ВУП-2 0-250 В	В7-38 1000 В	АМВ 75 В, 1667 Ом	МА-11/5 150 мА	МСП-60 0,01- 10000			

6. Сопротивление резистора R3 измерить так же, как и резисторов R1, R2, при этом ток цепи установить равным 90 мА.

7. Измерить сопротивления резисторов R1, R2, R3 методом амперметра-вольтметра, используя схему по рисунку 1.1б. Для этого включить вилку ХТ5 в розетку ХS1, вилку ХТ4 в розетку ХS4, вилку ХТ6 в розетку ХS3, остальные розетки должны оставаться свободными. Поочередно включая резисторы R1, R2, R3 в розетку ХS5, записать показания амперметра и вольтметра в таблицу 2.2. При выполнении данного опыта напряжение источника должно быть таким, чтобы токи в цепи резисторов не превышали 100 мА.

8. Измерить сопротивления резисторов R1 методом одного вольтметра, используя схему по рисунку 1.2. Для этого включить вилку ХТ5 в розетку ХS1, вилку ХТ6 в розетку ХS3, остальные розетки должны оставаться свободными. При выполнении данного опыта напряжение источника должно быть стабильным, равным 75 вольт. Установить регулятор напряжения источника G1 в нулевое положение и включить источник. Регулятором плавно увеличить напряжение до 75 вольт (напряжение источника контролируется вольтметром PV1). Записать показания вольтметра PV2 в таблицу 2.2 (U_1 , U_2 , U_3). Далее, вынуть вилку ХТ6 из розетки ХS3, включить в нее резистор R1 и скорректировать напряжение источника (должно быть 75 вольт). Записать показания вольтметра PV2 (U_{V1}) в таблицу 2.2. Аналогично выполнить опыты по определению сопротивления резисторов R2 и R3, включив их поочередно в розетку ХS3 и записав показания вольтметра PV2 (U_{V2} и U_{V3}) в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 Результаты экспериментов

Опыт по рис.	I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА	I_0 , мА	U_1 , В	U_2 , В	U_3 , В	U_{V1} , В	U_{V2} , В	U_{V3} , В
1.1а				—				—	—	—
1.1б				—				—	—	—
1.2	—	—	—	—						
1.3			—		—	—	—	—	—	—

9. Измерить сопротивления резисторов R1 методом одного амперметра, используя схему по рисунку 1.3. Для этого включить вилку ХТ4 в розетку ХS1, вилку ХТ5 в розетку ХS5, вилку ХТ6 в розетку ХS2, остальные розетки должны оставаться свободными. Установить величину сопротивления резистора R0 равной 2000 Ом. Установить регулятор напряжения источника G1 в нулевое положение и включить источник. Увеличить напряжение источника G1 до 100 вольт (напряжение источника контролируется вольтметром PV1). Записать показание амперметра PA1 (I_0) в таблицу 2.2. Далее, вынуть вилку ХТ6 из розетки ХS2 и включить резистор R1 в розетку ХS4.

Скорректировать напряжение источника до значения 100 вольт и записать показание амперметра в таблицу 2.2.

10. Повторить предыдущий опыт с резистором R2 при напряжении источника 100 вольт, (измерение тока образцового резистора R_0 можно не выполнять). Записать показание амперметра в таблицу 2.2.

11. Рассчитать величину сопротивления резисторов R1, R2, R3, используя данные опытов по пунктам 2.5 – 2.7 (схема 1.1а). В расчете сначала использовать формулу 1.1, а затем формулу 1.2. Вычислить относительную ошибку измерения при определении сопротивлений по обеим формулам. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

12. Рассчитать величину сопротивления резисторов R1, R2, R3, используя данные опыта по пункту 2.8 (схема 1.1б). В расчете использовать формулу 1.1. Вычислить относительную ошибку измерения сопротивления каждого резистора. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

13. Рассчитать величину сопротивления резисторов R1, R2, R3, используя данные опыта по пункту 2.9 (схема 1.2). Вычислить относительную ошибку измерения сопротивления каждого резистора. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

14. Рассчитать величину сопротивления резисторов R1, R2, используя данные опытов по пунктам 2.10 – 2.11 (схема 1.3). Вычислить относительную ошибку измерения сопротивления каждого резистора. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

15. Провести сравнительный анализ результатов измерений и сделать выводы с оценкой достоинств и недостатков каждого метода.

Таблица 2.3 Результаты расчетов

Опыт по рис.	R1, Ом	R2, Ом	R3, Ом	γ_1 , %	γ_2 , %	γ_3 , %
1.1a1						
1.1a2						
1.1б						
1.2						
1.3						

2.4 Лабораторная работа № 4 (2 часа).

Тема: Косвенные методы измерения индуктивности и емкости

2.4.1 Цель работы:

Освоение методик измерения индуктивности и емкости косвенными методами, изучение используемой для этих целей измерительной техники и способов ее применения.

2.4.2 Задачи работы:

1. Метод амперметра и вольтметра
2. Метод амперметра, вольтметра и ваттметра

2.4.3 Перечень приборов, материалов, используемых в лабораторной работе:

1. Амперметр
2. Вольтметр
3. ваттметр
4. резисторы

5. дроссель
6. батарея конденсаторов
7. частотомер
8. источник питания
9. источник постоянного напряжения

2.4.4 Описание (ход) работы:

1. Заготовить отчет по лабораторной работе. В отчете вычертить схемы для измерения индуктивности и емкости методом амперметра-вольтметра, методом вольтметра, амперметра и ваттметра, электрическую схему эксперимента, а также рабочие таблицы.

2. Собрать электрическую цепь по рисунку 2.1.

3. Используя параметры элементов цепи, установить пределы измерения приборов.

4. Измерить индуктивность катушки L1 методом амперметра-вольтметра, используя схемы по рисунку 1.1. Для этого сначала реализовать схему на постоянном токе (рис. 1.1а): включить вилку XT1 в розетку XS1, вилку XT3 в розетку XS5, остальные розетки должны оставаться свободными. Установить на вольтметре PV2 режим работы на постоянном токе. Вывести регулятор напряжения источника G1 в нулевое положение и включить источник. Регулятором плавно увеличивать напряжение до тех пор, пока ток в цепи не достигнет значения 50 мА. Записать показания амперметра PA1 (I_1) и вольтметра PV2 (U_2) в таблицу 2.2.

5. Реализовать схему на переменном токе (рис. 1.1б): включить вилку XT1 в розетку XS2, вилку XT5 в розетку XS3, вилку XT6 в розетку XS4. Установить на вольтметре PV2 режим работы на переменном токе. Вывести регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение и включить вилку XT2 в сеть. Регулятором медленно поднимая напряжение, установить ток цепи равным 0,5 А. Записать показания амперметра PA2 (I_2), вольтметра PV2 (U_2) и частотомера PF1 (f) в таблицу 2.2. Установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение и выключить его из сети.

6. Используя схему на переменном токе по рисунку 1.1б, измерить емкости нескольких конденсаторов. Для этого вынуть вилку XT3 из розетки XS5 и включить в эту розетку вилку XT4. Установить первое значение емкости конденсатора, указанное в таблице 2.2. Включить автотрансформатор в сеть. Регулятором поднять напряжение автотрансформатора, чтобы ток цепи был не менее 0,3 А. Записать показания амперметра PA2 (I_2), вольтметра PV2 (U_2) и частотомера PF1 (f) в таблицу 2.2. Установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение.

7. Установить следующее значение емкости конденсатора, увеличить напряжение автотрансформатора, чтобы ток цепи был не менее 0,3 А. Записать показания амперметра PA2 (I_2), вольтметра PV2 (U_2) и частотомера PF1 (f) в таблицу 2.2. Установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение.

8. Повторить опыт 2.7. со всеми емкостями, указанными в таблице 2.2. После окончания опытов установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение и выключить его из сети.

9. Измерить индуктивность катушки L1 методом амперметра, вольтметра и ваттметра, используя схему по рисунку 1.2. Для этого включить вилку XT1 в розетку XS2, вилку XT3 в розетку XS5, вилку XT5 в розетку XS3, вилку XT6 в розетку XS4. Установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение и включить автотрансформатор в сеть. Плавно увеличивать напряжение до тех пор, пока значение тока не установится в диапазоне 0,5 – 0,8 А. Записать показания вольтметра PV2, амперметра PA2, ваттметра PW1 и частотомера PF1 в таблицу 2.2. Установить регулятор автотрансформатора TV1 в нулевое положение и выключить его из сети.

10. Рассчитать величину активного, полного и реактивного сопротивления катушки L1, используя данные опытов по пунктам 2.4 – 2.5 (схема 1.1). Вычислить значение индуктивности катушки. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

11. Рассчитать величину реактивного сопротивления конденсатора C1, а также его емкость, в каждом из опытов по пунктам 2.6 – 2.8 (схема 1.1б). Вычислить относительную ошибку измерения емкости в каждом из опытов (истинным считать значение емкости, указанное в таблице 2.2). Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

12. Рассчитать величину активного, полного и реактивного сопротивления катушки L1, используя данные опыта по пункту 2.9 (схема 1.2). Вычислить значение индуктивности катушки. Результаты расчета занести в таблицу 2.3.

13. Провести сравнительный анализ результатов измерений и сделать выводы с оценкой достоинств и недостатков каждого метода.

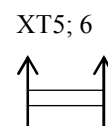
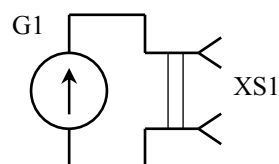
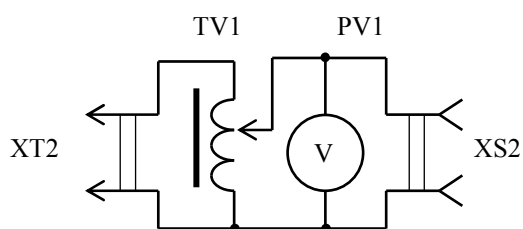
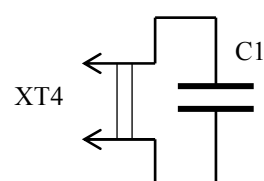
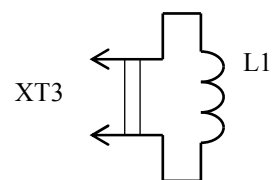
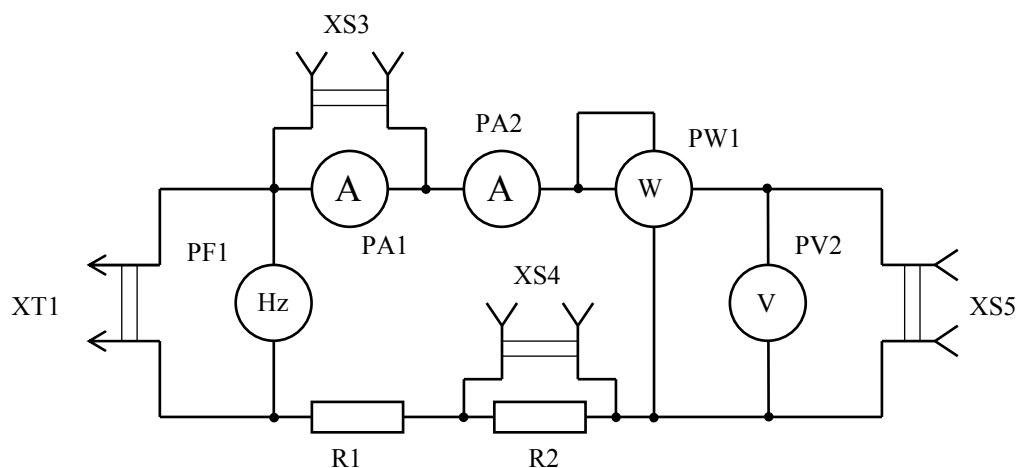


Рисунок Электрическая схема эксперимента

Таблица 2.1 Параметры элементов цепи

G1	PV1	PV2	PF1	PA1	PA2	PW1	R1, Ом	R2, Ом
ВУП-2 0-250 В	Э30 250 В	В7-38 1000 В	ЧЗ-7 0,1 КГц	МА-11/5 150 мА	Э59 1 А	Д529 75 В, 0,5 А	200	1000

Таблица 2.2 Результаты экспериментов

Опыт по рис.	C, мкФ	I ₁ , мА	I ₂ , А	U ₂ , В	f, Гц	P, Вт
1.1a	—		—		—	—
1.1б	—	—				—
1.1б	4	—				—
1.1б	8	—				—
1.1б	16	—				—
1.1б	24	—				—
1.2	—	—				

Таблица 2.3 Результаты расчетов

Опыт по рис.	C, мкФ	R _L , Ом	Z _L , Ом	X _L , Ом	L мГн	X _C , Ом	C, мкФ
1.1a	—		—			—	—
1.1б	—	—				—	—
1.1б	4	—	—	—	—		
1.1б	8	—	—	—	—		
1.1б	16	—	—	—	—		
1.1б	24	—	—	—	—		
1.2	—					—	—