

Министерство образования и науки Челябинской области
ГБПОУ «Троицкий технологический техникум»

**Методические указания
по выполнению практических работ**

по дисциплине: **ОП.11 Электрические измерения**
по специальности **13.02.03 Электрические станции, сети и системы**

г. Троицк, 2023 г.

Методические указания для выполнения лабораторных работ разработаны на основе рабочей программы по дисциплине «Электрические измерения» по специальности 13.02.03 Электрические станции, сети и системы.

Разработчик: Перфильева Л.С., преподаватель профессионального цикла высшей квалификационной категории.

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой методической комиссии по программам подготовки специалистов среднего звена технического профиля

Протокол № 6 от «30» мая 2023 г.

Содержание:

1. Пояснительная записка
2. Общие требования по выполнению работы и оформлению отчета; критерии оценивания работ
3. Тематика и содержание практических работ
4. Список используемой литературы.

1. Пояснительная записка

Целью проведения практических работ является:

- лучшее усвоение материала, закрепление полученных теоретических знаний и практических умений по учебной дисциплине;
- формирование умений применять теоретические знания при решении поставленных вопросов;
- формирование общих и профессиональных компетенций

Согласно учебному плану и рабочей программы дисциплины общий объем на выполнение практических работ составляет 4 часа.

2. Общие требования по выполнению работы и оформлению отчета; критерии оценивания работ.

Обучающийся должен:

- строго выполнять весь объем самостоятельной подготовки, указанный в описании соответствующих лабораторных (практических) работ;
- знать, что выполнению каждой работы предшествует проверка готовности обучающегося, которая проводится преподавателем;
- знать, что после выполнения работы обучающийся должен представить отчет о проделанной работе с обсуждением полученных результатов и выводов.

Критерии оценки лабораторных (практических) работ.

Например:

Оценка «5» - работа выполнена в полном объеме и без замечаний.

Оценка «4» - работа выполнена правильно с учетом 2-3 несущественных ошибок, исправленных самостоятельно по требованию преподавателя.

Оценка «3» - работа выполнена правильно не менее чем на половину или допущена существенная ошибка.

Оценка «2» - допущены две (и более) существенных ошибок в ходе работы, которые обучающиеся не может исправить даже по требованию преподавателя или работа не выполнена.

Отчет по практической работе должен включать в себя:

1. Название практической работы.
2. Цель работы.
3. Электрическую схему работы, выполненную в соответствии с требованиями ЕСКД.
4. Расчетные формулы и примеры расчетов. Таблицу с расчетными данными.
5. Выводы по работе.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями СПДС и ЕСКД на листах формата А4 разборчивым почерком чернилами одного цвета (синего или черного). Чертежи, схемы выполняются карандашом с помощью чертежных инструментов.

Каждую практическую работу начинают с нового листа, на который нанесена рамка рабочего поля со штампом (приложение 1). Рамки отстоят от внешней стороны листа слева на 20 мм, от других сторон на 5 мм.

Описки, графические неточности, обнаруженные в процессе выполнения работы, допускается исправлять подчисткой или закрашиванием белой краской и нанесением на том же месте исправленного текста. Титульный лист оформляется в соответствии со стандартом техникума.

4. Тематика и содержание практических работ

Перечень практических работ

№ п/п	Наименование работы	Кол-во часов	Тема
1	Изучение конструкции измерительных механизмов различных систем.	2	3.2
2	Расчет шунтов и добавочных сопротивлений.	2	3.4

Практическая работа №1

Изучение конструкции измерительных механизмов различных систем.

Цель работы: сформировать знания и умения отличать технические средства измерения электрических величин, принцип их действия, погрешности измерений и различия между классами точности.

Оборудование и оснащение: электроизмерительные приборы, макеты измерительных механизмов, методические указания.

Краткие теоретические сведения

Приборы магнитоэлектрической системы

Действие приборов магнитоэлектрической системы основано на взаимодействии магнитного потока постоянного магнита и измеряемого тока, проходящего по обмотке подвижной катушки, помещенной в этом магнитном поле (рисунок 1).

Основными частями прибора являются постоянный магнит 2, между полюсами 1 которого укреплен ферромагнитный сердечник 3 цилиндрической формы. Сердечник предназначен для уменьшения магнитного сопротивления между полюсами и обеспечения равномерного распределения магнитного потока в воздушном зазоре. В воздушном зазоре между полюсами постоянного магнита и сердечником расположена катушка 4, которая жестко связана с осью и стрелкой, перемещающейся своим концом по шкале прибора. При прохождении тока через катушку возникает магнитное поле, которое взаимодействует с магнитным полем постоянного магнита.

Электромагнитный вращающий момент, действующий на катушку, пропорционален силе тока и магнитной индукции в воздушном зазоре. Так как магнитное поле в воздушном зазоре распределено равномерно и направлено радиально, а противодействующий момент, создаваемый пружинами, пропорционален углу поворота подвижной части прибора, то угловое отклонение стрелки пропорционально измеряемому току, то есть $\alpha = S I$, где S - чувствительность прибора.

Достоинства приборов магнитоэлектрической системы: высокая чувствительность, большая точность, относительно небольшое влияние внешних магнитных полей, малое потребление энергии, малое влияние температуры, равномерность шкалы.

Недостатки: работает только в цепи постоянного тока, чувствителен к перегрузкам, высокая стоимость, обусловленная сложностью конструкции.

Электроизмерительные приборы магнитоэлектрической системы предназначаются для измерения силы тока и напряжения в качестве амперметров и вольтметров. Магнитоэлектрический прибор является составной частью омметра, с помощью которого непосредственно измеряют электрическое сопротивление.

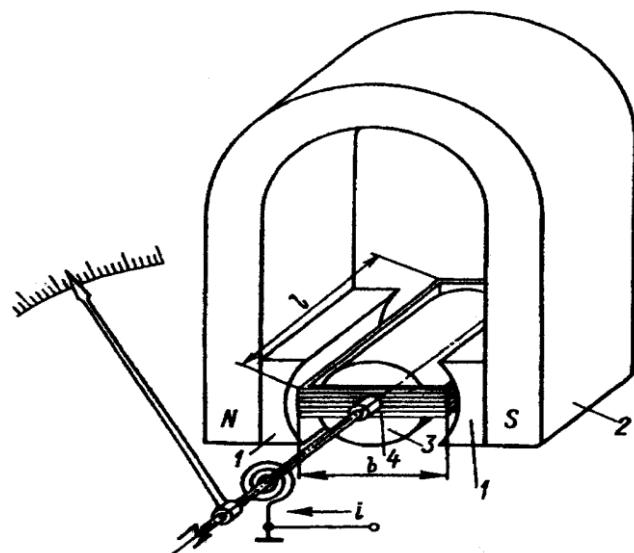


Рис. 1 Магнитоэлектрический измерительный механизм.

Применяя термопреобразователи и выпрямители, магнитоэлектрические приборы используют для измерений в цепях переменного тока.

Почти все технические измерения в цепях постоянного тока осуществляются приборами данной системы. Лишь в немногих случаях, когда значение имеет не точность, а дешевизна и надежность приборов, постоянный ток измеряется электроизмерительными приборами электромагнитной системы.

Приборы электромагнитной системы

Действие приборов электромагнитной системы основано на взаимодействии магнитного поля тока неподвижной катушки 1 и сердечника 2 из ферромагнитного материала, выполненного в форме пластины (рисунок 2). Созданное измеряемым током магнитное поле катушки намагничивает сердечник и втягивает его в катушку, поворачивая при этом стрелку, укрепленную на одной оси с сердечником.

При изменении направления тока в катушке меняются и магнитные полюса сердечника, следовательно, направление перемещения подвижной частей остается неизменным, и прибор оказывается пригодным для измерения в цепях как постоянного, так и переменного токов.

Угол поворота α стрелки прибора определяется по формуле

$$\alpha = k \cdot I^2 \cdot \frac{dL}{d\alpha}$$

где I - ток, протекающий по катушке; L -индуктивность катушки; k - постоянный коэффициент.

Противодействующий момент создается пружиной 3, воздушный успокоитель 4 обеспечивает плавное перемещение стрелки.

Так как угол поворота стрелки пропорционален квадрату силы тока, а производная индуктивности катушки является величиной непостоянной, то шкала прибора оказывается неравномерной.

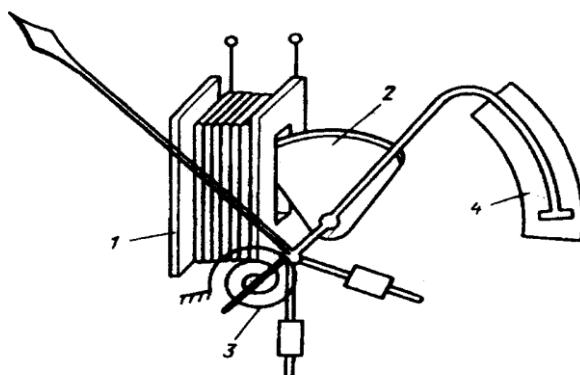


Рис. 2 Электромагнитный измерительный механизм

Достоинства приборов электромагнитной системы: пригодность для работы в цепях постоянного и переменного токов, простота и надежность конструкции, дешевизна, устойчивость к перегрузкам.

Недостатки: чувствительность к внешним магнитным полям, сравнительно большая потребляемая мощность, относительно низкие чувствительность и точность.

Область применения: в качестве амперметров и вольтметров для технических измерений.

В лабораторных приборах высокого класса точности для уменьшения влияния внешних магнитных полей применяют экранирование.

Приборы электродинамических и ферродинамических систем

Подвижная катушка 1 измерительного механизма электродинамической системы, укрепленная на оси 3 или растяжках, может поворачиваться внутри неподвижной. При протекании в обмотках катушек токов i_1 и i_2 возникают электромагнитные силы, стремящиеся так повернуть подвижную часть, чтобы магнитные потоки B_1 и B_2 подвижной и неподвижной катушек совпали.

Неподвижная катушка 2 обычно выполняется из двух одинаковых частей, разделенных воздушным зазором. Благодаря этому обеспечиваются требуемая конфигурация магнитного поля и удобство расположения оси. Неподвижная и подвижная катушки механизма (обычно бескаркасные) имеют круглую или прямоугольную форму и изготавливаются из медного или алюминиевого провода. Подвижная катушка укрепляется на опорах или растяжках. Для подвода тока к подвижной катушке используются спиральные пружины или растяжки.

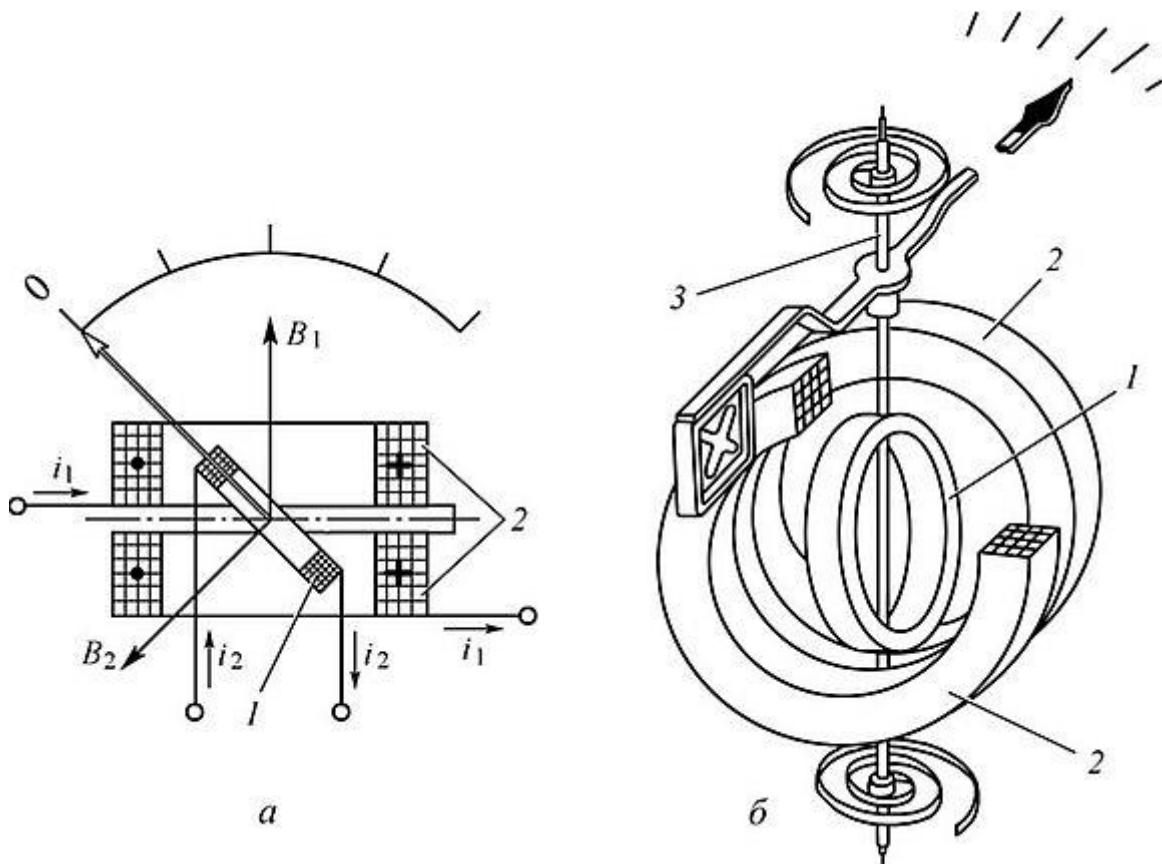


Рис. 3. Электродинамический измерительный механизм: *а* — устройство; *б* — внешний вид. 1 — подвижная катушка; 2 — неподвижная катушка; 3 — ось

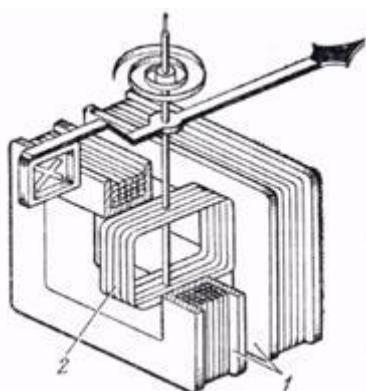


Рис. 4 Электродинамический измерительный механизм

Принцип действия ферродинамических ИМ не отличается от электродинамических. Механизмы ферродинамической системы отличаются от рассмотренных выше электродинамических тем, что неподвижная катушка имеет магнитопровод из магнитомягкого листового материала.

На рис. 5 приведена одна из конструкций такого ИМ.

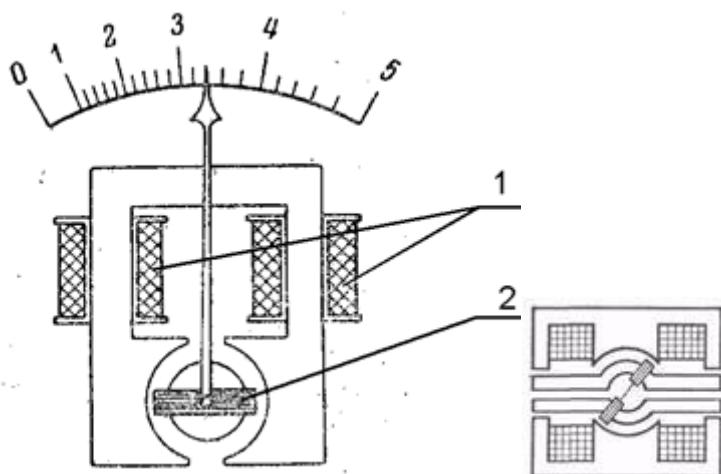


Рис. 5 Устройство ферродинамического ИМ (однокатушечная и двухкатушечная система)

Неподвижная катушка 1, состоящая из двух половин, расположена на двух стержнях магнитопровода. Между полюсами укреплен цилиндрический сердечник. Обе части магнитопровода выполняются из листовой стали.

В воздушном зазоре помещается подвижная катушка 2, укрепленная на одной оси со стрелкой. Подвижная катушка выполняется без каркаса во избежание появления в нем индуцированных токов.

В воздушном зазоре образуется сильное равномерное магнитное поле, индукция которого пропорциональна току неподвижной катушки.

Взаимодействие тока подвижной катушки с магнитным полем в воздушном зазоре, создает врачающий момент, который, как и в электродинамическом измерительном механизме, пропорционален произведению токов катушек и косинусу угла сдвига между ними.

Благодаря малому сопротивлению магнитной цепи в воздушном зазоре может быть получена весьма значительная магнитная индукция, а, следовательно, и весьма большой врачающий момент.

Значительное увеличение врачающего момента по сравнению с электродинамическими механизмами дает возможность увеличить вес подвижной части без увеличения погрешности от трения и, следовательно, обеспечивает возможность получения прочной подвижной части.

Достоинства приборов ферродинамических систем:

Электродинамические измерительные механизмы работают как на постоянном, так и на переменном токе (примерно до 10 кГц.) с высокой точностью и обладают высокой стабильностью своих свойств.

Большая магнитная индукция в воздушном зазоре делает показания прибора практически независимыми от внешних магнитных полей.

Недостатки: применение стали влечет за собой появление составляющих основной погрешности от гистерезиса и вихревых токов.

Область применения: амперметры и вольтметры электродинамической и ферродинамической системы. Основная область применения электродинамических амперметров и вольтметров — точные измерения в цепях переменного тока, чаще всего в диапазоне частот от 45—50 Гц до тысяч герц. Их применяют также в качестве образцовых при поверке и градуировке других приборов.

Область применения ферродинамических амперметров и вольтметров — измерения переменных токов и напряжений в узком диапазоне частот при тяжелых условиях эксплуатации.

У электродинамических амперметров для токов до 0,5 А неподвижная и подвижная катушки соединяются последовательно (рис. 6 а).

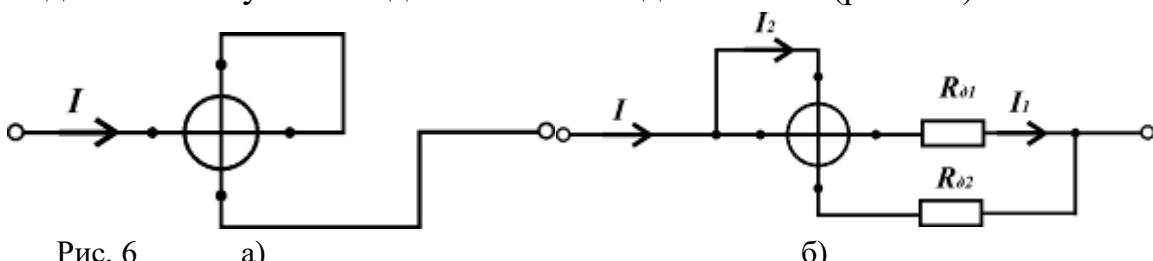


Рис. 6

а)

б)

Весь измеряемый ток при этом проходит через подвижную и неподвижную катушки, поэтому угол $\phi = 0$ (угол между векторами токов I_1 и I_2) , и

$$\alpha = \frac{1}{W} \frac{dM_{12}}{d\alpha} I^2$$

уравнение принимает вид:

У амперметров на токи от 0,5 А и выше катушки соединяются параллельно (рис. 6 б). Сопротивления параллельных цепей подбираются так, чтобы ток I_2 не превышал допустимого значения, т.е. уравнение приводится к виду:

$$\alpha = \frac{1}{W} k_1 k_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} I^2$$

Следовательно, у механизмов амперметров угол отклонения подвижной части зависит от квадрата измеряемого тока и производной $dM_{12}/d\alpha$.

У электродинамических вольтметров неподвижная и подвижная катушки соединены последовательно вместе с добавочным резистором из манганина (рис. 7). Секционированием добавочного резистора можно получить разные пределы измерения $U_{1\text{ном}}$, $U_{2\text{ном}}$, $U_{3\text{ном}}$.

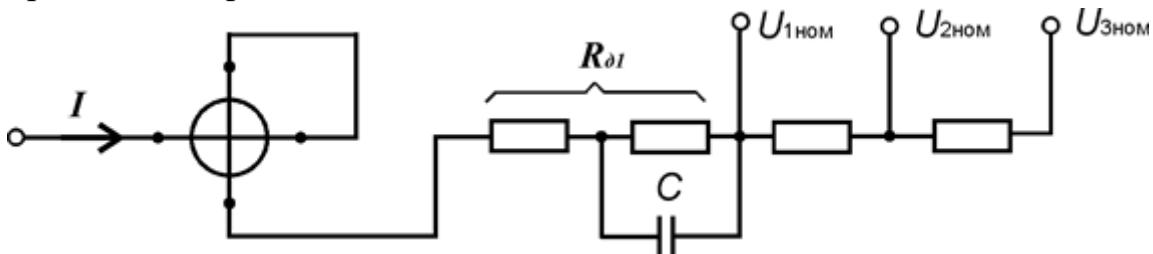


Рис. 7 Схема электродинамического вольтметра

Если ток полного отклонения $I = U/Z_B$, где Z_B - полное сопротивление вольтметра, то подставив его в (21), получим:

$$\alpha = \frac{1}{W Z_B^2} \frac{dM_{12}}{d\alpha} U^2$$

т.е. характер шкалы у вольтметра такой же, как и у амперметра.

Для получения шкалы, близкой к равномерной, у амперметров и вольтметров размеры подвижной катушки выбирают так, чтобы она находилась практически в равномерном магнитном поле. Устройство ферродинамических амперметров и вольтметров аналогично.

Задание:

1. Ознакомиться с приборами, заполнить таблицу.
2. Вычислить допустимую абсолютную погрешность измерительных приборов и записать в таблицу.

Таблица 1

Название прибора	Наименование системы	Условное обозначение системы	Класс точности	Диапазон измерений	Цена деления	Остальные данные прибора	Допускаемая абсолютная погрешность, Δ_n
Вольтметр							
Амперметр							
Ваттметр							

Контрольные вопросы:

1. Что такое абсолютная погрешность электроизмерительного прибора?
2. Что такое класс точности электроизмерительного прибора?
3. Какие условные обозначения имеются на шкале электроизмерительного прибора?
4. Какие виды погрешностей вы знаете?
5. Как классифицируются электроизмерительные приборы?

Содержание отчета

1. Тема, цель работы, задание.
2. Таблица, расчеты допустимой абсолютной погрешности.
3. Ответы на контрольные вопросы.

Практическая работа №2

Расчет шунтов и добавочных сопротивлений.

Цель работы: изучить методику расчета шунтов и добавочных резисторов для расширения пределов измерения амперметра и вольтметра.

Оборудование и оснащение: методические указания по выполнению практических работ.

Задание и порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с методическими указаниями.
2. Решить задачи согласно варианту, используя теоретические сведения и примеры решения задач.
3. Составить отчет по работе.

Краткие теоретические сведения

Амперметр измеряет силу тока в цепи, и поэтому его сопротивление должно быть очень малым, т. е. $R_A \ll R$, R – сопротивление цепи

Каждый амперметр рассчитан на некоторую максимальную силу тока, при превышении которой прибор может перегореть. При измерении токов большей величины, чем те, на которую рассчитан амперметр, применяются шунты. Шунт – это сопротивление, которое включается последовательно в цепь измеряемого тока. Параллельно сопротивлению шунта присоединяют зажимы амперметра А (рис. 1). Чтобы через амперметр прошла меньшая часть измеряемого тока, сопротивление шунта должно быть меньше сопротивления амперметра.

Найдем сопротивление шунта $R_{ш}$, который необходимо подключить к амперметру для измерения силы тока в цепи, в n раз превышающей силу тока, на которую рассчитан прибор: $I = n \cdot I_A$, (n – коэффициент шунтирования или коэффициент расширения предела измерения амперметра). Сопротивление амперметра обозначим через R_A . При подключении шунта часть измеряемой силы тока $I_{ш}$ пойдет по нему. Через амперметр должен идти ток, не превышающий I_A (рис. 1).

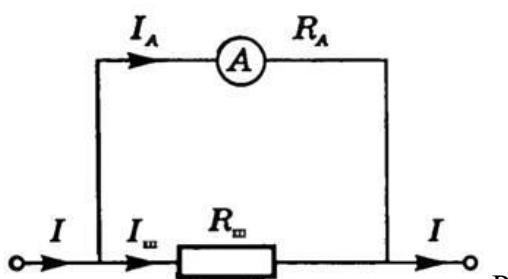


Рис.1

При параллельном соединении $I = n I = I_A + I_{\text{ш}}$, а напряжение на шунте и амперметре одинаково и, согласно закону Ома, равно: $I_A \cdot R_A = I_{\text{ш}} \cdot R_{\text{ш}}$. Исключая силу тока I_A из двух последних уравнений, получим

$$R_{\text{ш}} = R_A / (n - 1)$$

Для измерения напряжения на участке цепи применяют вольтметры. Включают вольтметр параллельно тем точкам цепи, напряжение между которыми надо измерить (рис. 2). Вольтметр не должен изменять напряжение на измеряемом участке цепи, поэтому сила тока, проходящего через вольтметр, должна быть много меньше, чем сила тока в измеряемом участке.

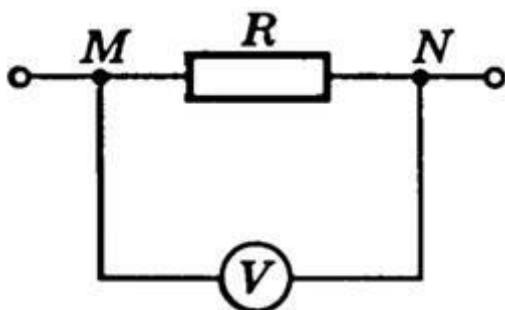


Рис. 2

Если сопротивление вольтметра R_V , то после включения его в цепь сопротивление участка будет равно: $R = R \cdot R_V / (R + R_V)$, что меньше первоначального значения сопротивления участка цепи.

Вследствие этого измеряемое напряжение на участке цепи уменьшится. Для того чтобы вольтметр не вносил заметных искажений в измеряемое напряжение, его сопротивление должно быть большим по сравнению с сопротивлением участка цепи, на котором измеряется напряжение: $R > R_X$

Любой вольтметр рассчитан на предельное напряжение U_V . С помощью подключения последовательно с вольтметром добавочного сопротивления R_d можно измерять в m раз большие напряжения: $U = m \cdot U_V$. Найдем добавочное сопротивление, необходимое для измерения напряжений, в m раз больших тех, на которые рассчитан прибор.

При включении в цепь вольтметра добавочного сопротивления вольтметр по-прежнему измеряет напряжение U_V , но это составляет лишь $1/m$ часть измеряемого напряжения. $U_V = U/m$

Напряжение на добавочном сопротивлении $U_d = U - U_V$ (рис. 3). Поэтому пределы измерения увеличиваются в m раз, и во столько же раз увеличивается цена деления вольтметра, следовательно, уменьшается его чувствительность.

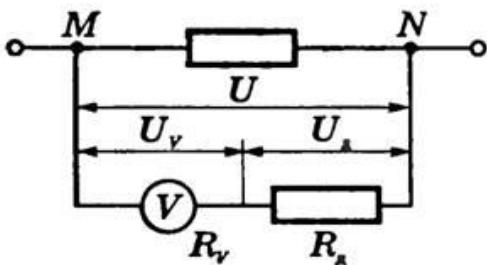


Рис. 3

В вольтметре и добавочном сопротивлении сила тока одинакова, так как они включены последовательно. Поэтому $U_V = I \cdot R_V$, $U_D = I \cdot R_D$ и $U = m \cdot U_V = m \cdot I \cdot R_V$.

При последовательном соединении напряжение на участке равно сумме напряжений на отдельных резисторах участка, т. е. $U = U_V + U_D$. Следовательно, $m \cdot I \cdot R_V = I \cdot R_V + I \cdot R_D$. Отсюда $R_D = R_V \cdot (m-1)$

Примеры

1. Предел измерения вольтметра электромагнитной системы составляет 7,5 В при внутреннем сопротивлении $R_V = 200$ Ом. Определить добавочное сопротивление, которое необходимо включить для расширения предела измерения до 600 В.

Решение: 1. $m = U/U_V = 600/7,5 = 80$; 2. $R_D = R_V \cdot (m-1) = 200 \cdot (80-1) = 15800$ Ом.

2. Амперметр, имеющий внутреннее сопротивление 0,2 Ом и предел измерения 10 А, необходимо использовать для измерения тока до 500 А. Определить сопротивление шунта прибора и падение напряжения на амперметре и шунте.

Решение: 1. $R_{\text{ш}} = R_A / (I/I_A - 1) = 0,2 / (500/10 - 1) = 0,0041$ Ом
2. $U_{\text{ш}} = (I - I_A) \cdot R_{\text{ш}} = (500 - 10) \cdot 0,0041 = 2,009$ В
3. $U_A = I_A \cdot R_A = 10 \cdot 0,2 = 2$ В

Задание:

Вариант 1

1. Определить величину сопротивления шунта амперметра для расширения пределов измерения тока с 10 миллиампер до 10 Ампер. Внутреннее сопротивление амперметра равно 100 Ом.

2. Определить сопротивление шунта к амперметру с внутренним сопротивлением 0,016 ом, если показания прибора нужно увеличить в пять раз,

3. К амперметру включен шунт, сопротивление которого в 25 раз меньше сопротивления прибора. Какой ток протекает в цепи, если амперметр показал 3А?
4. Вольтметром на 15 В нужно измерить напряжение 120 В. Определить величину добавочного сопротивления, если внутреннее сопротивление вольтметра 2000 ом.
5. Амперметр с внутренним сопротивлением 0.016 Ом имеет коэффициент шунтирования 10. Определить сопротивление шунта

Вариант 2

1. Амперметр с наружным шунтом 0,005Ом рассчитан на предел измерения 60А, его внутреннее сопротивление 15Ом. Определить ток полного отклонения измерительной катушки прибора
2. Предел измерения вольтметра электромагнитной системы составляет 7,5 В при внутреннем сопротивлении 200Ом. Определить добавочное сопротивление, которое необходимо включить для расширения предела измерения до 600В.
3. Магнитоэлектрический прибор с сопротивлением 10Ом и током полного отклонения 7,5mA может быть использован в качестве амперметра на 30 А. Определить сопротивление шунта
4. Предел измерения вольтметра составляет 10В при внутреннем сопротивлении 300 Ом. Определить добавочное сопротивление, которое необходимо включить для расширения предела измерения до 500В.
5. Амперметр с внутренним сопротивлением 0.015 Ом имеет коэффициент шунтирования 10. Определить сопротивление шунта.

Контрольные вопросы:

1. Назначение шунтов.
2. Как рассчитать сопротивление шунта?
3. Назначение добавочных сопротивлений
4. Как рассчитать добавочный резистор?
5. Что такое коэффициент шунтирования?
6. Как определяют коэффициент расширения измерения напряжения?

Содержание отчета

1. Тема, цель работы, задание.

2. Условия задач, решения, результаты расчета.

3. Ответы на контрольные вопросы.

5. Список используемой литературы

1. Панфилов В.А. Электрические измерения. - М.: Академия, 2020.
2. Вострокнутов Н.Н. Электрические измерения. М., АСМС, 2020.
3. Конспекты лекций.