

Лабораторная работа 2.2 (дополнение к описанию)

ИЗМЕРЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ПОМОЩИ МОСТИКА УИТСТОНА

Цель работы: изучение одного из методов измерения электрического сопротивления и применение закона Ома для расчета электрических цепей, расширяющих пределы измерения амперметра и вольтметра.

ВВЕДЕНИЕ

В работе 2.1 отмечалось, что стрелочные приборы являются измерителями силы тока, так как угол поворота стрелки приборов зависит от силы тока, протекающего через прибор. Минимальное значение измеряемой силы тока, очевидно, зависит как от конструкции прибора, так и от качества его изготовления – трения в подшипниках подвижной части прибора. Максимальная же сила тока, измеряемая прибором, соответствует показанию шкалы при полном отклонении стрелки и называется пределом измерения. Однако, предел измерения прибора можно увеличивать, подключая к нему специальные электрические цепи.

Для амперметра такой цепью является шунт (ответвление), которым является резистор $R_{ш}$, подключаемый параллельно к прибору (см. рис. 1п, а). При этом ток I в измеряемой цепи в точке «А» разветвляется на ток прибора $I_{пр}$ и ток шунта $I_{ш}$.

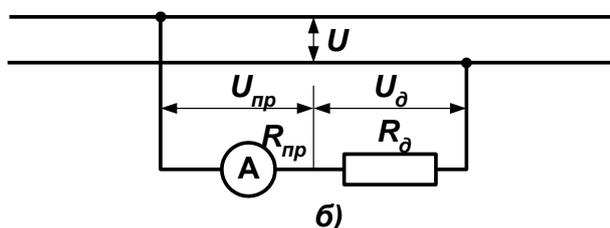
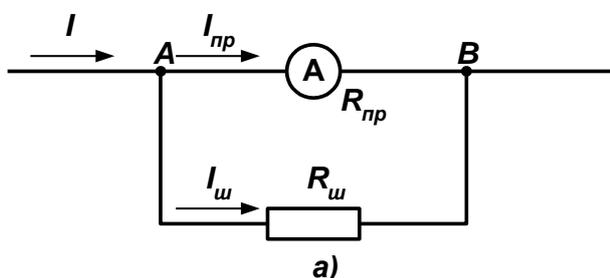


Рис. 1п

Зная сопротивление прибора $R_{пр}$, можно рассчитать сопротивление шунта $R_{ш}$ для расширения (увеличения) предела измерения силы тока прибором в n раз. При этом сила тока, протекающая через прибор $I_{пр}$, должна составлять n -ю часть силы тока в цепи I ($I_{пр} = I/n$), а сила тока через шунт равняться:

$$I_{ш} = I - I_{пр} = \frac{n-1}{n} I. \quad (1п)$$

Так как напряжение на приборе и шунте одинаково (см. рис. 1п, а), то из закона Ома следует, что $R_{пр} \times I_{пр} = R_{ш} \times I_{ш}$ или

$$R_{np} \frac{I}{n} = R_{ш} \cdot \frac{n-1}{n} I ,$$

откуда

$$R_{ш} = \frac{R_{np}}{n-1} . \quad (2п)$$

Таким образом, с помощью подбора шунтов к одному и тому же прибору, можно измерять силу тока в большом диапазоне значений.

Измеритель силы тока – **амперметр** – включают в цепь последовательно с другими резисторами, поэтому измеряемый им ток I_{np} всегда меньше тока, протекающего в цепи до подключения прибора. На сопротивлении прибора возникает падение напряжения, равное

$$U_{np} = I_{np} \times R_{np} . \quad (3п)$$

Поэтому при использовании амперметров стремятся к выполнению условия $R_{np} \ll R_{цепи}$, чтобы R_{np} возможно меньше изменяло силу тока в цепи. Однако падение напряжения на приборе (3п) может быть использовано для измерения напряжения на участке цепи, так как $U_{np} \sim I_{np}$, что реализуется в **вольтметрах**.

Для того чтобы вольтметр, включаемый параллельно исследуемому участку, незначительно изменял силу тока цепи, он должен обладать большим сопротивлением. Это достигается с помощью добавочного сопротивления, включаемого последовательно с прибором. Изменяя добавочное сопротивление, можно менять предел измерения вольтметра.

Действительно, пусть прибор с добавочным сопротивлением R_{δ} включен параллельно исследуемому участку, находящемуся под напряжением U (рис. 1п, б). При расширении предела измерения напряжения прибора U_{np} в n раз, напряжение на нем должно составлять n -часть U ($U_{np} = U / n$), а напряжение на R_{δ} равно:

$$U_{R_{\delta}} = U - U_{np} = \frac{n-1}{n} U . \quad (4п)$$

Так как резисторы R_{np} и R_{δ} соединены последовательно, то по ним течет одинаковый ток. Поэтому:

$$\frac{U_{np}}{R_{np}} = \frac{U_{R_{\delta}}}{R_{\delta}} \quad \text{или} \quad \frac{1}{n} \frac{U}{R_{np}} = \frac{n-1}{n} \frac{U}{R_{\delta}} ,$$

откуда

$$R_{\delta} = R_{np} \times (n - 1) . \quad (5п)$$

Таким образом, один и тот же «измерительный механизм» регистрации тока в стрелочных приборах может быть использован и как амперметр, и как вольтметр. А подключая к этому «механизму» различные $R_{ш}$ и R_{δ} , можно измерять таким прибором силу тока и напряжение в большом диапазоне значений. Но для вычисления $R_{ш}$ и R_{δ} необходимо знать значение R_{np} с достаточно высокой точностью. Применение для этой цели омметра запрещается, так как большой тестовый ток омметра, как правило, выводит из строя исследуемый прибор – он «перегорает»! Поэтому для измерения R_{np} разработаны специальные электрические схемы, одна из которых называется «Мостиком Уитстона».

Схема такого «мостика» приведена на рис. 2.2.1 (см. стр. 98 Лабораторного практикума). Она состоит из четырех резисторов, соединенных друг с другом в замкнутую цепь. Противоположные точки соединения резисторов A и C замкнуты содержащей микроамперметр (гальванометр - Г) перемычкой (мостиком), которая и

дала название этой схеме. К точкам B и D схемы подключается источник ЭДС. Проанализируем работу этого «мостика».

Очевидно, что разность потенциалов между точками A и C зависит, как от величин сопротивления резисторов схемы, так и соотношениям этих величин между собой. Однако подбором резисторов можно добиться «баланса моста», т.е. такого состояния, при котором разность потенциалов на концах перемычки AC и, следовательно, ток через мостик будут равны нулю, что регистрируется гальванометром. Из равенства потенциалов (отсутствия напряжения) на концах перемычки AC , пользуясь законом Ома, можно легко показать, что при балансе моста выполняется соотношение: $R_1 / R_2 = R_3 / R_4$.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Схема лабораторной установки представлена на рис. 2.2.2 (см. Лабораторный практикум). Неизвестным сопротивлением служит сопротивление прибора микроамперметра ($R_{пр}$), его включают в одно из плеч мостика Уитстона (между точками A и B). Во второе плечо верхней половины моста (между точками A и D) включен магазин сопротивлений (R_m), при помощи которого осуществляют балансировку схемы. Между точками A и C включен гальванометр (микроамперметр с нулем посередине шкалы). В качестве нижней половины моста (точки B и D) используется реохорд, который представляет собой отрезок проволоки с высоким удельным сопротивлением, натянутый на подставке из изолятора. Вдоль проволоки может перемещаться подвижный контакт (ползун), с помощью которого может изменяться соотношение отрезков проволоки длиной соответственно l_1 и l_2 , расположенных по разные стороны от ползуна. Реохорд снабжен линейкой для измерения l_1 и l_2 по положению ползуна. Для случая однородной проволоки постоянного сечения можно считать, что сопротивления R_1 и R_2 отрезков l_1 и l_2 пропорциональны их длине. Сравнивая рисунки 2.2.1 и 2.2.2, отметим, что между ними имеется следующая замена обозначений: R_1 на $R_{пр}$, R_2 на R_m , R_3 на R_1 и R_4 на R_2 .

Для ограничения силы тока через исследуемый прибор схема мостика питается не непосредственно от выпрямителя, обозначенном на схеме как источник ЭДС (\mathcal{E}), а через потенциометр (делитель напряжения) Π , в качестве которого используется школьный реостат. Включение питания производят ключом K_1 , а гальванометра ключом K_2 . Ключи K_1 и K_2 объединены в один двойной ключ, причем K_1 должен включаться первым. В случае баланса моста $R_{пр} / R_m = R_1 / R_2 = l_1 / l_2$. Отсюда $R_{пр} = R_m \times (l_1 / l_2)$. В частности, если $l_1 = l_2$, то $R_{пр} = R_m$.

В работе предлагается: измерить сопротивление измерительного механизма микроамперметра; сконструировать на его основе амперметр и вольтметр с заданными пределами измерений; проверить показания сконструированных приборов по показаниям эталонных приборов.

Измерения и обработка результатов

В лаборатории «Электричество» большинство лабораторных установок собираются студентами самостоятельно. Поэтому ниже, на примере сборки мостика

Уитстона в Задании 1, приводятся рекомендации по сборке установки и составлению таблиц для записи результатов измерений.

1. Сборку конкретной схемы моста, используемой в данной работе (см. рис 2.2.2 в Практикуме), рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- подсоедините проводами источник питания (выпрямитель ВС 4-12) к реостату (П);
- подключите проводами к этой цепи ключ K_1 и точки B и D реохорда;
- присоединить к концам реохорда цепочку из исследуемого микроамперметра и магазина сопротивлений (к крайним зажимам магазина), при этом следует соблюдать полярность подключения микроамперметра – «плюс» прибора к «плюсу» источника;
- точку соединения микроамперметра и магазина соединить с ползуном (точка C) реохорда через гальванометр и ключ K_2 . Напомним, что ключ K_2 должен включаться позже ключа K_1 , чтобы исключить влияние бросков тока в цепи при включении;
- установите ползун реохорда вблизи его середины, а ползун реостата вблизи его клеммы, подсоединенной к «плюсу» источника, и наберите на магазине сопротивлений величину 1 кОм (эту величину необходимо уточнить у инженеров), чтобы не допустить перегрузку микроамперметра при включении;
- пригласите преподавателя или инженера проверить правильность сборки установки.

2. При составлении таблиц для записи результатов измерений рекомендуется руководствоваться следующими правилами.

Первый столбец служит для записи номера измерений.

Вторая группа (один или несколько) столбцов служит для записи условий этого измерения. В Задании 1 – это значения l_1 и l_2 .

Третья группа столбцов служит для записи результатов прямых измерений. В Задании 1 это сумма показаний переключателей магазина сопротивления после того, как удастся добиться баланса моста при заданных значениях длины плеч реохорда.

Далее следуют столбцы для записи результатов промежуточных и окончательных вычислений. В нашем случае это записи значений сопротивления микроамперметра и погрешностей измерений, выполненных при различных длинах плеч реохорда.

При выполнении Заданий 2 и 3 и сборке их схем (см. рис. 2.2.3 и 2.2.4, соответственно) нужно учитывать, что в качестве источника тока в них используется выпрямитель ВС 4-12, выключатель которого можно использовать вместо ключа. Школьный реостат обозначен на них как «R» и «П», соответственно, а исследуемый прибор как « μA ». В Задании 2 параллельно этому прибору подключается магазин сопротивлений как шунт, а в Задании 3 этот же магазин подключается последовательно прибору как дополнительное сопротивление. В качестве контрольных приборов в этих заданиях используется цифровой мультиметр (см. работу 2.1), который обозначен на рисунках как «mA» и «V», соответственно.

Сборку схем рекомендуется начинать от источника тока. Например, в Задании 3 присоединить к нему сначала реостат «П», а затем к реостату контрольный прибор «V» и последовательную цепь из магазина сопротивлений R_d и исследуемого прибора « μA ».

После выполнения работы, разберите собранную электрическую цепь и наведите порядок на рабочем месте.