

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

Измерение тока

- Амперметр включается в цепь *последовательно* на измеряемом участке цепи.
- В цепях постоянного тока применяют *магнитоэлектрические* приборы.
- Сопротивление амперметра должно быть на *два порядка меньше* сопротивления любого элемента измеряемой цепи.
- Для расширения предела измерения амперметра (в n раз) служат *шунты* – резисторы с сопротивлением меньшим, чем сопротивление амперметра. Шунты включаются параллельно амперметру (рис.). В многопредельных амперметрах шунты располагаются внутри прибора. Расчет сопротивления шунта:

•Ток, протекающий через амперметр I_A , должен быть в n раз меньше измеряемого тока в цепи I : $I = nI_A$

•Ток, протекающий через шунт $I_{ш}$, будет равен $I_{ш} = I - I_A = nI_A - I_A = (n - 1)I_A$

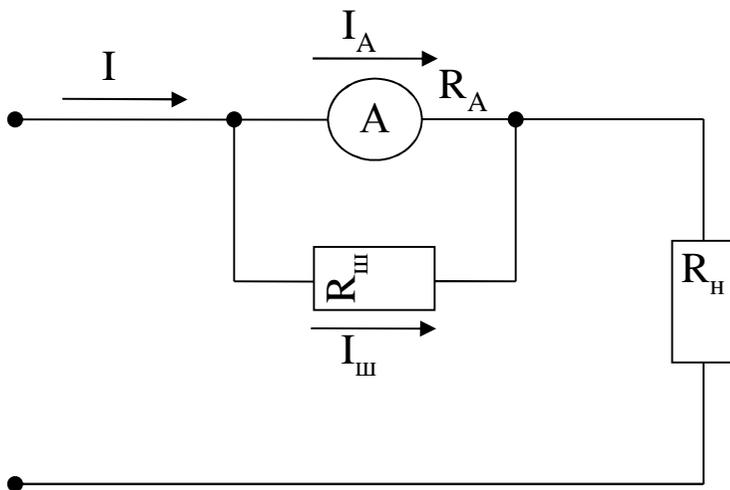
•Сопротивление шунта найдем из закона Ома $I_{ш}R_{ш} = (n - 1)I_A R_{ш} = I_A R_A$

где R_A – сопротивление амперметра, Ом;
 $R_{ш}$ – сопротивление шунта, Ом.

Тогда сопротивление шунта будет равно:

$$R_{ш} = \frac{R_A}{n - 1}$$

- Чтобы расширить предел измерения амперметра в n раз, необходимо включить параллельно амперметру шунт сопротивлением в $n - 1$ раз меньше чем сопротивление амперметра.



Измерение напряжения

- Вольтметр присоединяют *параллельно* с измеряемым элементом цепи R_H .
- Сопротивление вольтметра должно быть *на два порядка больше* сопротивления любого элемента измеряемой цепи.
- Для расширения предела измерения вольтметра (в n раз) применяют *добавочные резисторы*, включаемые последовательно с вольтметром (рис.).
- Расчет добавочного сопротивления R_D :
 - Падение напряжение на вольтметре U_V должно быть в n раз меньше измеряемого напряжения U : $U = nU_V$
 - Падение напряжения на добавочном резисторе будет равно
- Применим закон Ома для участка цепи:

$$U_D = U - U_V = nU_V - U_V = (n - 1)U_V$$

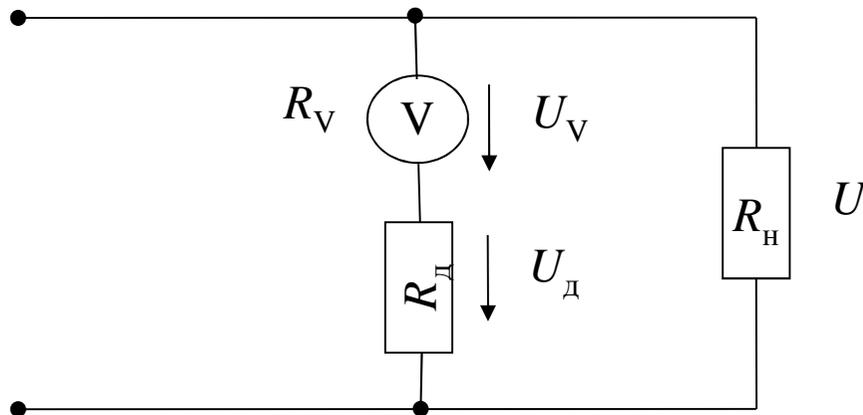
$$I = \frac{U_V}{R_V} = \frac{U_D}{R_D} = \frac{(n - 1)U_V}{R_D}$$

где R_V – сопротивление вольтметра, Ом

- Выразим сопротивление добавочного резистора

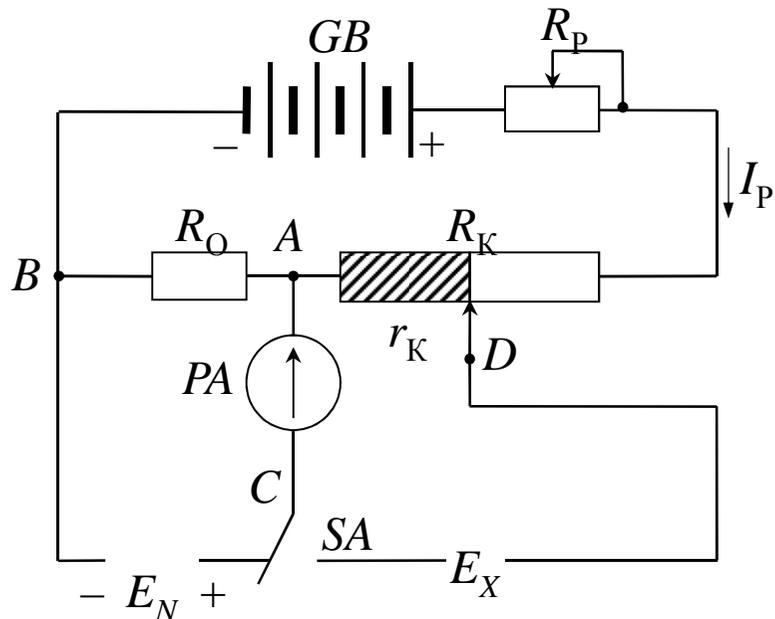
$$R_D = (n - 1)R_V$$

- Сопротивление добавочного резистора должно быть в $n - 1$ раз больше сопротивления вольтметра для увеличения предела измерений в n раз.



Компенсационный метод

- Измерение малых значений ЭДС, напряжений, токов и сопротивлений с высокой точностью.
- Основан на сравнении неизвестной ЭДС или напряжения с известной мерой.
- Принципиальная схема компенсатора (потенциометра) постоянного тока:



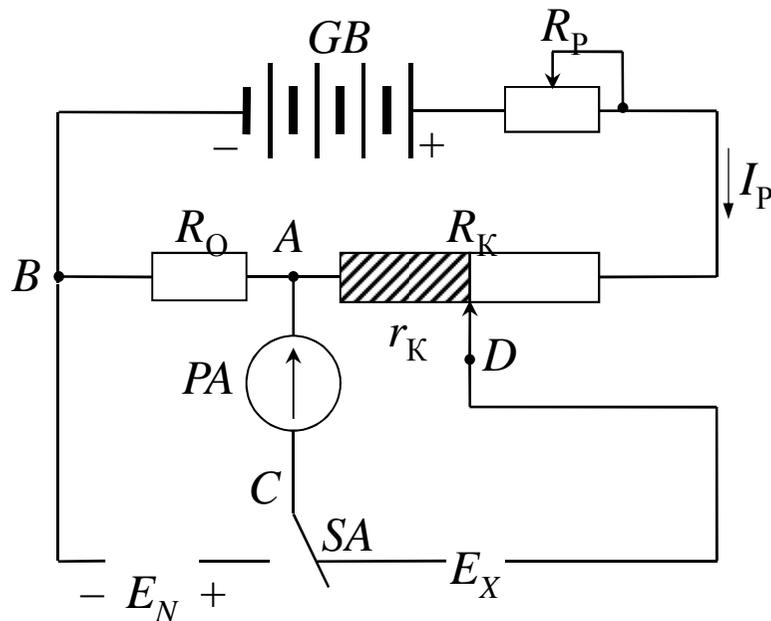
R_O – образцовый резистор;
 R_K – компенсационный резистор.
 GB – вспомогательный источник ЭДС.
 PA – гальванометр.
 I_P – рабочий ток.
 R_P – регулировочный реостат.
 E_N – ЭДС нормального элемента Вестона
 E_X – неизвестная ЭДС или напряжение.

Подготовка к работе: переключатель SA в положение E_N и изменяют рабочий ток I_P до тех пор, пока ток в гальванометре не уменьшится до нуля; потенциал точки A равен потенциалу точки C , а потенциал точки B равен потенциалу точки D . Падение напряжения в образцовом резисторе стало равно ЭДС нормального элемента

$$I_P R_O = E_N$$

Измерение неизвестной ЭДС: переключатель SA в положение E_X . В этот момент через гальванометр по цепи $E_X - r_K - PA - E_X$ проходит ток. Это значит, что падение напряжения, вызванное рабочим током в компенсационном резисторе, оказалось больше или меньше измеряемого напряжения. При помощи движка начинают изменять значение сопротивления компенсационного резистора r_K и тем самым изменять сравниваемое падение напряжения $I_P r_K$ с измеряемой ЭДС E_X . Движок перемещают до тех пор, пока ток, проходящий через гальванометр, не станет равен нулю. В момент полной компенсации, когда ток гальванометра равен нулю, имеем

$$I_P r_K = E_X$$



Из последних двух соотношений можно выразить измеряемую ЭДС через ЭДС нормального элемента

$$\frac{I_P R_O}{I_P r_K} = \frac{E_N}{E_X}, \Rightarrow E_X = \frac{r_K}{R_O} E_N$$

Точность измерений зависит от точности значения ЭДС нормального элемента, точности значений компенсационного и образцового резисторов и от чувствительности гальванометра.

Измерение сопротивлений

Существует четыре метода измерения сопротивлений:

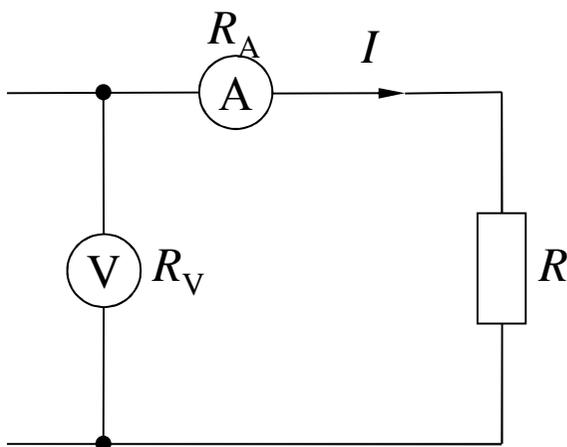
- 1) метод амперметра и вольтметра;
- 2) мостовой метод;
- 3) потенциометрический;
- 4) резонансный метод.

Резонансный метод используется в радиотехнике при измерении сопротивлений на заданной частоте. Наибольшее распространение получили первые два метода.

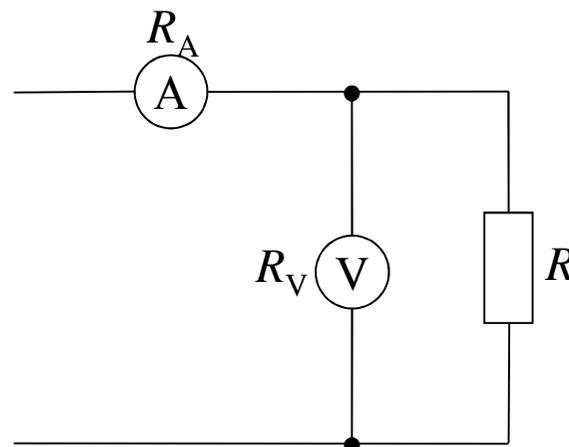
Метод амперметра и вольтметра

Простой метод, но его точность невелика (1 – 5%). На этом методе основана работа омметров.

Принцип действия: используя амперметр для измерения тока и вольтметр для измерения напряжения на элементе цепи сопротивление можно рассчитать по закону Ома. Возможны две схемы подключения вольтметра и амперметра:



Вольтметр до амперметра

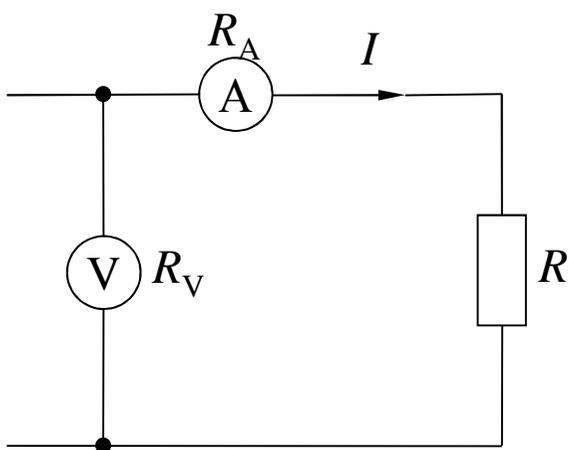


Вольтметр после амперметра

Вольтметр до амперметра: амперметр будет измерять истинный ток I , а вольтметр покажет сумму падения напряжения на измеряемом сопротивлении R и на амперметре $U_{\text{изм}} = U_R + U_A$. Измеренное значение сопротивления будет равно:

$$R_{\text{изм}} = \frac{U_{\text{изм}}}{I} = \frac{U_R + U_A}{I} = R + R_A$$

где R_A – сопротивление амперметра.



Абсолютная ошибка измерения составит

$$\Delta R = |R_{\text{изм}} - R| = R_A$$

Относительная ошибка измерения составит

$$\delta = \frac{R_A}{R}$$

Относительная ошибка будет тем меньше, чем больше измеряемое сопротивление. Если измеряемое сопротивление сопоставимо с сопротивлением амперметра, ошибка может составлять 100% и более. Таким образом, схема применима для измерения *больших сопротивлений* (в сравнении с сопротивлением амперметра).

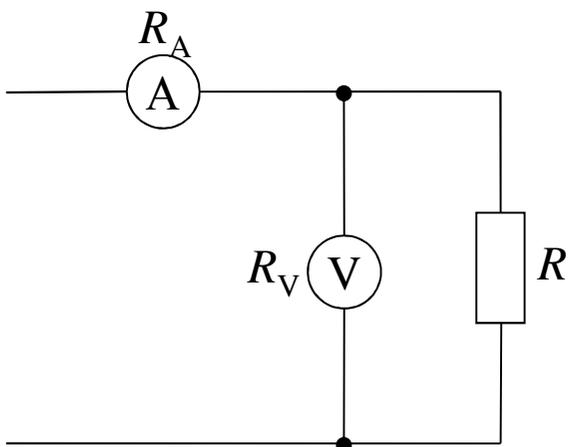
Вольтметр после амперметра: вольтметр покажет истинное напряжение на измеряемом сопротивлении, а амперметр покажет сумму токов, проходящих через измеряемое сопротивление и через вольтметр: $I_{\text{изм}} = I_R + I_V$. Измеренное сопротивление будет равно:

$$R_{\text{изм}} = \frac{U}{I_{\text{изм}}} = \frac{U}{I_R + I_V} = \frac{1}{\frac{I_R}{U} + \frac{I_V}{U}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + \frac{1}{R_V}} = \frac{RR_V}{R + R_V}$$

где R_V – сопротивление вольтметра.

Относительная ошибка измерения составит

$$\delta = \frac{\Delta R}{R} = \frac{R - R_{\text{изм}}}{R} = 1 - \frac{R_{\text{изм}}}{R} = 1 - \frac{R_V}{R_V + R} = \frac{R}{R_V + R}$$

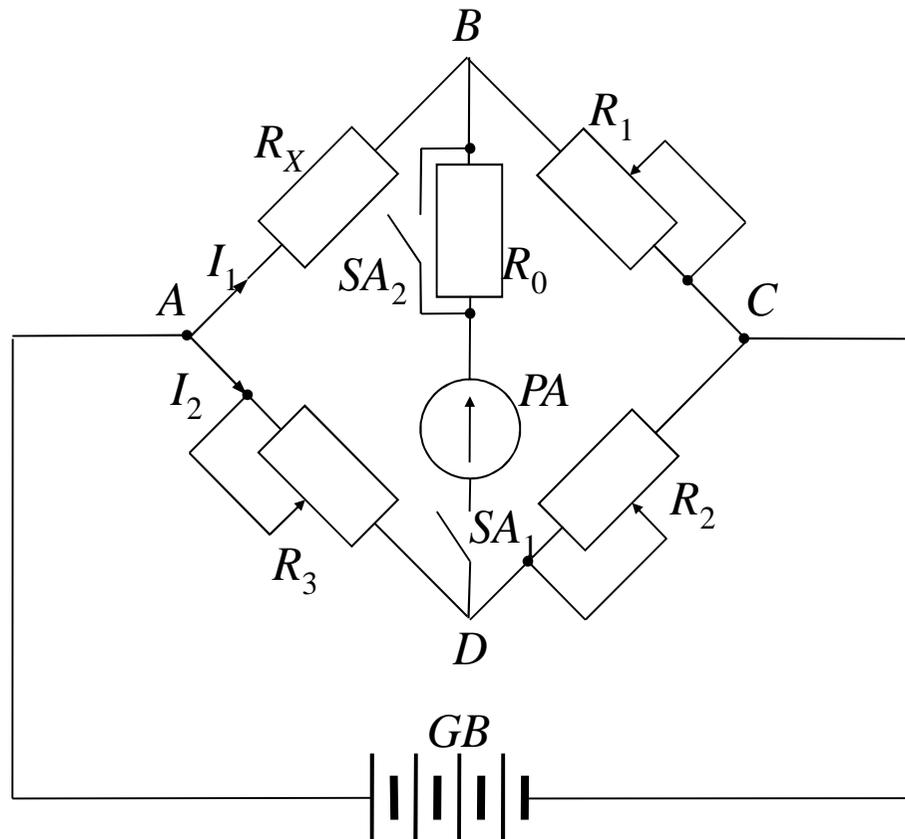


будет тем меньше, чем меньше измеряемое сопротивление (по отношению к сопротивлению вольтметра). Таким образом, для измерения *малых сопротивлений* надо включать вольтметр после амперметра.

Таким образом, имея очень точные амперметр и вольтметр, можно получить большую погрешность измерения сопротивления, если неправильно выбрать схему включения приборов. Эта погрешность называется *погрешность метода измерения*.

Мостовой метод

Наиболее распространен. Реализуется в цифровых приборах. Одинарный мост имеет четыре плеча (сопротивления R_1 – R_3 и R_x), источник питания GB и нуль-индикатор PA .



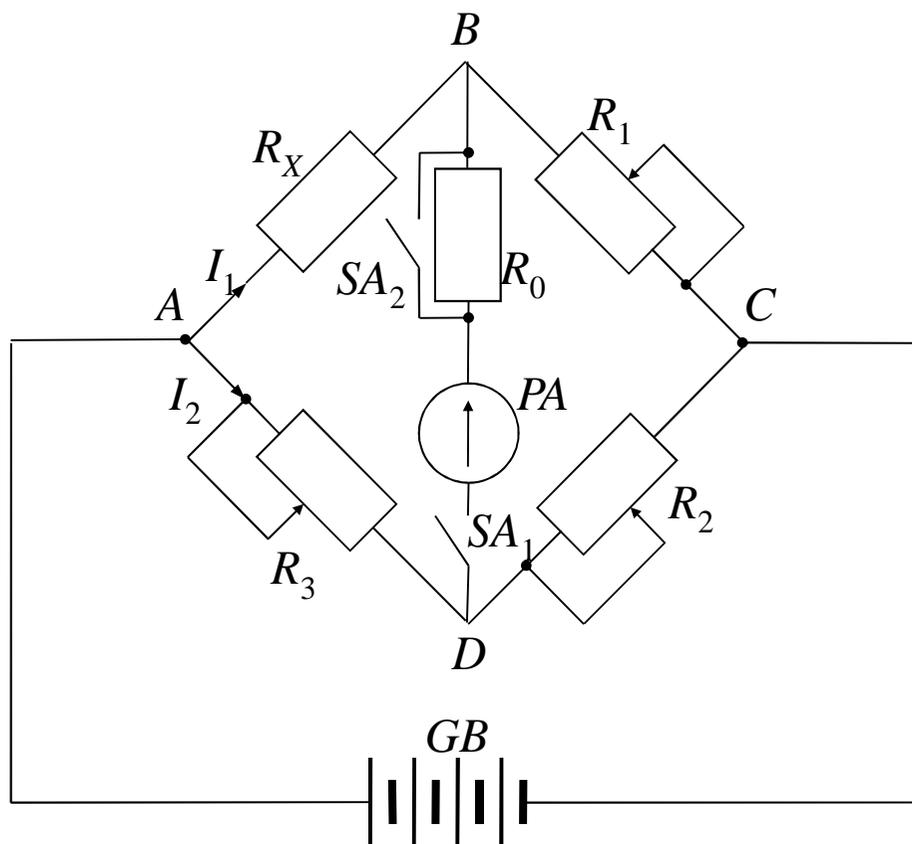
R_1 - плечо сравнения, а отношение сопротивлений R_2 и R_3 определяет диапазон изменения измеряемого сопротивления. Равновесие моста достигается изменением сопротивлений R_1 – R_3 до тех пор, пока ток, протекающий через нуль-индикатор, не станет равен нулю.

Схема одинарного моста постоянного тока

В состоянии равновесия потенциалы точек B и D равны, из чего можно выразить условие равновесия моста

$$\varphi_B = \varphi_D$$

$$\left. \begin{aligned} I_1 R_X &= \varphi_A - \varphi_B = \varphi_A - \varphi_D = I_2 R_3 \\ I_1 R_1 &= \varphi_B - \varphi_C = \varphi_D - \varphi_C = I_2 R_2 \end{aligned} \right\} \Rightarrow \frac{R_X}{R_1} = \frac{R_3}{R_2} \Rightarrow R_X = \frac{R_3}{R_2} R_1.$$



Наибольшее распространение получили мосты, у которых плавно изменяется сопротивление R_1 и скачками, кратными 10, отношение R_3/R_2 . Одинарный мост постоянного тока используется для измерения сопротивлений в диапазоне от 1 Ом до 100 МОм. Нижний предел измеряемых сопротивлений определяется сопротивлением соединительных проводов. В мосте используются резисторы, изготовленные из манганина (Ni – 4%, Cu – 84%, Mn – 12%).

Мост переменного тока

Общая схема такая же, как и для моста постоянного тока, только используется источник питания переменного тока.

Сопротивления, составляющие плечи моста, могут иметь как активную, так и реактивную составляющие (индуктивности и емкости). В последнем случае равновесие моста выражается двумя условиями:

условием для импедансов:

$$Z_X Z_2 = Z_1 Z_3$$

условием для фазовых углов

$$\varphi_X + \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_3$$

