

Тема 3. Постоянный ток¹

Лабораторная работа № 5 (2.4)

Применение закона Ома для расчетов в цепях постоянного тока

Введение

Георг Ом в 1827 году экспериментально установил закон, согласно которому отношение разности потенциалов $\varphi_1 - \varphi_2$ на концах проводника к силе тока I в этом проводнике при неизменных внешних условиях есть величина постоянная. Эту величину называют *электрическим сопротивлением проводника* R . Часто закон Ома записывают в виде:

$$I = U / R, \quad (1)$$

где $U = \varphi_1 - \varphi_2$ называют *электрическим напряжением*. Эту форму записи называют законом Ома для однородного (не содержащего источников ЭДС) участка цепи или просто для участка цепи.

Напомним, что ЭДС (*электродвижущая сила*) это физическая величина, характеризующая энергию источника, за счет которой создается и поддерживается электрический ток в цепи. ЭДС, как и потенциал, измеряется в вольтах. Второй важной характеристикой источника является его *внутреннее сопротивление* r . Эквивалентная схема источника тока приведена на рис. 5.1. Характеристики источников исследуются при выполнении работы 6.

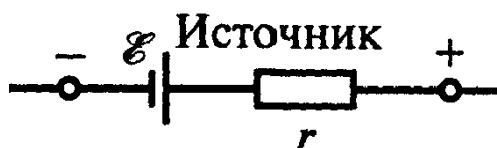


Рис. 5.1.

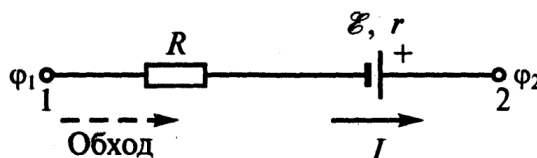


Рис. 5.2.

Участок цепи, содержащий ЭДС, называется неоднородным (см. рис. 5.2).

В данном случае ток на участке создается внешним источником, который на рисунке не показан, так как предполагается, что нам известен результат его действия, то есть сила тока на этом участке цепи.

Разность потенциалов между точками 1 и 2 будет равна алгебраической сумме напряжения на однородном участке и ЭДС (\mathcal{E}), то есть имеет место соотношение:

$$I R_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}, \quad (2)$$

где R_{12} - сопротивление участка цепи между точками 1 и 2, равное сумме сопротивления резистора R и внутреннего сопротивления источника r . Это выражение называют законом Ома для неоднородного участка цепи.

¹ Подготовлено преподавателями КОЭФ Александровым В.Н. и Семашем В.Д.

Знак в соотношении (2) перед \mathcal{E} определяют следующим образом. Вначале произвольно выбирается положительное направление тока, например, указанное на рис. 5.2. Если при обходе участка (здесь от точки 1 к точке 2) в том же направлении мы проходим «внутри» источника от отрицательного к положительному полюсу, то ЭДС считается *положительной*. В противном случае ЭДС считается *отрицательной*.

Если при последующих расчетах значение тока окажется положительным, то предположение об его направлении было верным. Если вычисленный ток окажется отрицательным, то его реальное направление на данном участке цепи противоположное.

Например, для неоднородного участка, показанного на рис. 5.2, направление тока выбрано от точки 1 к точке 2 (то есть от φ_1 к φ_2). Тогда:

$$I R_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E} = U + \mathcal{E}. \quad (2a)$$

Если точки 1 и 2 замкнуть между собой, то получится так называемая полная цепь (цепь без внешних источников). В этом случае $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ и выражение (2a) принимает вид:

$$I R_{12} = I (R + r) = \mathcal{E} \quad \text{или}$$
$$I = \mathcal{E} / (R + r). \quad (3)$$

Полученное соотношение (3) называется *законом Ома для полной цепи*. Если полная цепь (или неоднородный участок цепи) содержит несколько источников ЭДС, то в числителе выражения (3) должна стоять алгебраическая сумма всех ЭДС, знаки которых выбираются в соответствии с описанным правилом знаков, а в знаменателе вместо r – сумма внутренних сопротивлений всех источников.

Распределение потенциала вдоль электрической цепи принято отображать в виде *потенциальной диаграммы*. Это график, по горизонтальной оси которого откладываются значения сопротивления цепи, измеренные относительно некоторой исходной точки, а по вертикальной оси откладываются значения напряжения в соответствующем месте цепи относительно той же исходной точки.

Экспериментальные задачи, поставленные в работе:

- определить, используя закон Ома, значения двух неизвестных сопротивлений с помощью (методом) амперметра и вольтметра с учетом сопротивления измерительных приборов;
- определить ЭДС и внутреннее сопротивление двух источников с помощью закона Ома;
- экспериментально проверить применимость закона Ома для неоднородных электрических цепей;
- изучить распределение потенциала в неразветвленных цепях.

Подготовка протокола к работе

(Выполняется во внеаудиторное время перед получением допуска к работе).

Запишите в тетради номер и название работы.

Запишите заголовок: «Задание 1. Определение сопротивлений резисторов методом амперметра – вольтметра».

Зарисуйте схемы рис. 4.3.

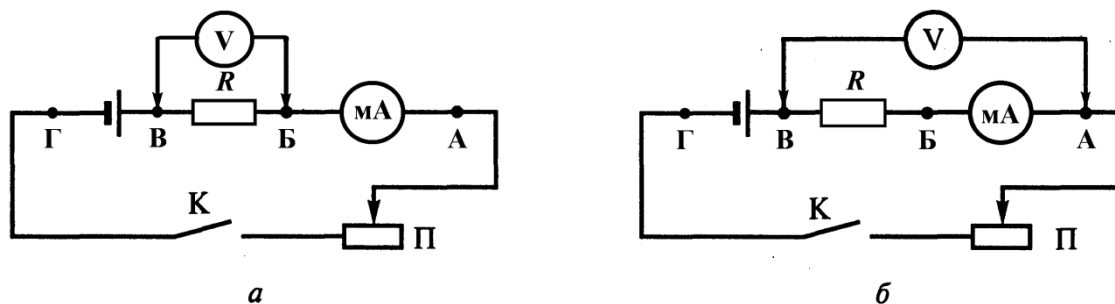


Рис. 5.3.

В этом задании определяется сопротивление резистора R двумя способами.

В первом случае (*а*) амперметр измеряет общий ток, протекающий через вольтметр и измеряемое сопротивление R , а вольтметр – только напряжение на этом же сопротивлении.

Выведите формулу для расчетов R . Для этого вначале запишите закон Ома для участка цепи, содержащего только этот резистор: $R = U_R / I_R$. Здесь и в дальнейшем при использовании закона Ома для каждого конкретного случая рекомендуется записывать входящие в него величины вместе с индексами, обозначающими соответствующий участок. (Примеры см. ниже). Такая запись поможет избежать путаницы в применении закона Ома для разных участков.

Величину I_R можно определить как разность $I_A - I_V$, где I_A – показания амперметра, а I_V – сила тока через вольтметр. В свою очередь $I_V = U_V / R_V$, где U_V – показания вольтметра. В данном случае $U_R = U_V$. Исходными данными для расчета сопротивления вольтметра R_V служат используемый предел измерения прибора U_{\max} и соответствующее ему значение силы тока $I_{\text{табл}}$ в таблице в нижней части шкалы прибора.

Запишите полученную формулу для R с расшифровкой всех обозначений.

Во втором случае (*б*) вольтметр будет показывать общее падение напряжения на амперметре и сопротивлении R , а амперметр – силу тока только через искомое сопротивление.

Выведите вторую формулу для вычисления R по аналогии с выводом формулы для случая (*а*). Сопротивление амперметра в этом случае определяется как $R_A = U_{\text{табл}} / I_{\max}$, где I_{\max} – предел измерения амперметра и соответствующее ему значение напряжения $U_{\text{табл}}$ в таблице в нижней части шкалы прибора.

Запишите ее с расшифровкой всех обозначений.

Подготовьте таблицу 1 для записи условий эксперимента и результатов измерений одного из предложенных Вам резисторов, например, красного цвета.

Таблица 1

I , ед. шкалы	I , мА	U , ед. шкалы	U , В	$R_{кр}$, Ом	$\Delta R_{кр}$, Ом
Среднее значение $R_{кр}$					

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Подготовьте таблицу 2 для записи условий эксперимента и результатов измерений второго резистора, например, зеленого цвета.

Таблица 2

I , ед. шкалы	I , мА	U , ед. шкалы	U , В	$R_{зел}$, Ом	$\Delta R_{зел}$, Ом
Среднее значение $R_{зел}$					

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Запишите заголовок: «**Задание 2. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника**».

Для измерений в этом задании также используется схема рис. 5.3 б) с той разницей, что вольтметр подключается к точкам «А» и «Г», то есть к неоднородному участку цепи. В этом случае вольтметр подключен к неоднородному участку цепи. Если резистор R считать внутренним сопротивлением источника, то напряжение на концах этого участка:

$$\varphi_{Г} - \varphi_{А} = U = \mathcal{E} - I(r + R_A),$$

где U и I – показания вольтметра и амперметра, соответственно. Поскольку в данном уравнении два неизвестных \mathcal{E} и r , то необходимо произвести измерения тока и напряжения дважды (при различных положениях движка реостата Π).

Запишите систему уравнений для определения \mathcal{E} и r , обозначив в 1-м уравнении показания приборов при первом измерении как U_1 и I_1 , а во 2-м уравнении показания при втором измерении как U_2 и I_2 . Выведите и запишите формулу для вычисления r . Запишите формулу для определения \mathcal{E} после подстановки r в любое из уравнений системы. Запишите расшифровку всех обозначений в формулах.

Подготовьте таблицу 3 для записи условий эксперимента и результатов измерений двух различных источников.

Таблица 3

№ источника	№ измерения	I , ед. шк.	I , мА	U , ед. шк.	U , В	\mathcal{E} , В	r , Ом
1	1						
	2						
2	3						
	4						

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Запишите заголовок: «Задание 3. Измерения и расчет неоднородной цепи».

Зарисуйте в тетради схему рис. 5.4.

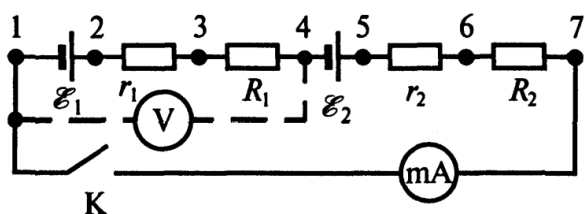


Рис 5.4.

этом учитывать не нужно.

Запишите формулы для расчетов:

- силы тока $I_{\text{теор}}$ и напряжения между точками 1 и 4 (U_{1-4}) при замкнутом ключе,
- напряжения между точками 1 и 7 ($U_{1-7(p)}$) при отсутствии тока в цепи разомкнутом ключе. Сопротивление вольтметра при этом учитывать не нужно.

Подготовьте таблицу 4 для записи результатов измерений и построения потенциальных диаграмм.

Таблица 4

Участки	$U_{\text{замкн}}$, В	$U_{\text{разомкн}}$, В	R_{Σ} , Ом
1-2			0
1-3			
...
1-7			

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Для получения практического допуска ознакомьтесь с предложенным набором оборудования.

В качестве источников используются выпрямители ВС 4-12. Реостат П предназначен для регулировки измерительного тока. В комплект оборудования входят два резистора, сопротивление которых необходимо определить. Обратите внимание на то, что они отличаются по цвету. При выполнении работы их удобно записывать как $R_{\text{кр}}$ и $R_{\text{зел}}$.

При выполнении второго задания для большей наглядности эксперимента вместо этих резисторов в цепь включается один из двух «больших» остеклованных резисторов (каждый в сочетании со «своим» источником). Он играет роль внутреннего сопротивления соответствующего источника. Это сделано для большей наглядности эксперимента по определению r , так как собственное внутреннее сопротивление выпрямителей мало.

В работе используются приборы серии М2000. Они являются универсальными (в том смысле, что они могут измерять как напряжение, так и силу тока) и многопредельными. Вид и предел измерений зависят от того, к каким клеммам прибора присоединены измерительные провода, а также от положения переключателей на панелях приборов.

В качестве вольтметров – это приборы М2018 или М2017. М2018 включается в цепь через зажимы «-» и «VA», а М2017 - через зажимы «-» и «V». В качестве миллиамперметров – это приборы М2020 или М2015. Они включаются в цепь через зажимы «-» и «A».

Ознакомьтесь с надписями и таблицами в нижней части шкал приборов. Верхние из них используются для расчета сопротивлений вольтметров, а нижние – для расчета сопротивлений амперметров.

Указания по выполнению работы

Задание 1. Определение сопротивлений резисторов методом амперметра – вольтметра

После получения допуска к работе *обозначьте* на схеме рис. 5.3а зажим «-» каждого из приборов. *Соберите* цепь, включив в нее в качестве R один из неизвестных резисторов. При сборке можно использовать любой из двух предложенных выпрямителей.

Рекомендуется 1-м шагом собрать цепь без вольтметра, а 2-м шагом подключить вольтметр параллельно резистору.

Установите при помощи переключателей рода работ приборов (с учетом положения переключателя «множитель шкалы») пределы измерений, близкие к 1А для амперметра и 12В для вольтметра.

Установите движок реостата в среднее положение.

Пригласите инженера или преподавателя для проверки правильности собранной цепи.

После проверки, *включите* источник питания.

Оцените, на какую часть шкалы отклонилась стрелка вольтметра. Для повышения точности измерений нужно, чтобы она при измерениях устанавливалась в правой части шкалы как можно ближе к концу. Если это не выполняется, *выключите* выпрямитель, *установите* другой предел измерений вольтметра. *Вновь включите* выпрямитель и *проверьте* выполнение этого

условия.

При необходимости аналогичным образом *установите* нужный предел измерений миллиамперметра.

Проведите отсчет показаний приборов. Для повышения точности отсчёта приборы снабжены зеркальной шкалой. Отсчёт нужно проводить, располагая глаза так, чтобы стрелка «совпадала» с её отражением.

Запишите в таблицу 1 показания приборов в единицах шкалы.

Сдвиньте движок реостата на 4-5см в любую сторону и *повторите* измерения с записью показаний приборов во вторую строчку таблицы 1.

Сдвиньте движок реостата на 4-5см в другую сторону относительно его первоначального положения и снова *повторите* измерения с записью в третью строку таблицы 1.

Отключите правый по схеме вывод вольтметра (точка **Б** на рис. 5.3б). *Запишите* в тетради показания амперметра как I_0 . *Сравните* его с результатом последнего из предыдущих измерений, используя символы «меньше, больше, равно», оценив тем самым влияние подключения вольтметра на силу тока в цепи.

Выключите источник.

Выпишите значение используемого предела измерений вольтметра $U_{\text{макс}}$ в Вольтах и единицах шкалы. *Рассчитайте* цену единицы шкалы вольтметра. *Выразите* показания вольтметра в Вольтах с записью в таблицу 1.

Аналогичным образом *пересчитайте* показания миллиамперметра.

Определите и *запишите* как $I_{\text{табл}}$ ток полного отклонения вольтметра, соответствующий установленному пределу измерений. Для прибора М2017 он указан в нижней части шкалы. Для прибора М2018 - в нижней строке таблицы на шкале напротив используемого при измерениях положения переключателя множителя шкалы.

Рассчитайте сопротивление вольтметра R_V , как $U_{\text{макс}} / I_{\text{табл}}$. *Рассчитайте* сопротивление $R_{\text{кр}}$ для каждого измерения и его среднее значение.

Перейдите ко второй схеме измерений. Для этого *подключите* свободный вывод вольтметра к точке **А** (рис. 5.3б) и *замените* красный резистор на зеленый.

После проверки схемы лаборантом или преподавателем, *проведите* необходимые измерения.

Отключите левый по схеме вывод вольтметра. *Запишите* в тетради показания амперметра как I_0 . *Сравните* его с результатом последнего из предыдущих измерений, используя символы «меньше, больше, равно», оценив тем самым влияние подключения вольтметра на силу тока в цепи для этого случая.

Выключите выпрямитель.

Определите сопротивление миллиамперметра. Для этого на шкале

приборов М2020 и М2015 *найдите* таблицу, в верхней строке которой указаны значения силы тока. Затем *найдите* в этой строке значение используемого предела измерений $I_{\text{макс}}$ и *выпишите* как $U_{\text{табл}}$ значение падения напряжения на приборе, указанное в соответствующем столбце таблицы. *Рассчитайте* и *запишите* в тетради значение R_A .

Рассчитайте величину $R_{\text{зел}}$ и $\Delta R_{\text{зел}}$ с записью результатов в таблицу 2. По указанию преподавателя *проверьте* правильность полученных результатов, измерив сопротивление резисторов при помощи мультиметра.

Задание 2. Определение ЭДС и внутреннего сопротивления источника

Включите в цепь вместо $R_{\text{зел}}$ один из «больших» остеклованных резисторов. В этом и следующем задании эти резисторы будут играть роль внутренних сопротивлений источников тока – r . *Подключите* вольтметр к точкам «А» и «Г» схемы 5.3. *Обратите* внимание на то, что в этом случае зажим «-» прибора должен быть подключен к точке «Г».

После проверки цепи инженером или преподавателем, *включите* выпрямитель и *запишите* показания приборов в единицах шкалы.

Измените произвольным образом положение движка реостата **П** и *повторите* измерения и запишите показания во второй строке таблицы 3.

Выключите выпрямитель.

Проведите аналогичные измерения для второго выпрямителя в сочетании с другим остеклованным резистором r_2 .

Выключите выпрямитель и *отключите* от него вольтметр и реостат **П**.

Вычислите значения ЭДС и r для каждого выпрямителя и *запишите* их в таблицу 3.

По указанию преподавателя *проверьте* правильность полученных результатов, измерив напряжения на выходах выпрямителей и сопротивления остеклованных резисторов при помощи мультиметра.

Задание 3. Измерения и расчет неоднородной цепи

Рассчитайте ожидаемое значение силы тока в цепи $I_{\text{теор}}$.

Соберите цепь по рис. 5.4. Для этого *соедините* последовательно источник с более высоким значением ЭДС, «его» резистор r_1 и резистор $R_{\text{кр}}$, как R_1 . Затем *подключите* к ним второй источник со «своим» резистором r_2 и $R_{\text{зел}}$, как R_2 . После этого *подключите* микроамперметр и ключ. Вольтметр при этом подключать не нужно, так как он используется только при проведении следующей серии измерений.

После проверки собранной цепи включите оба выпрямителя, *замкните* ключ, *измерьте* силу тока в цепи и *сравните* с теоретическим значением.

Выключите выпрямители и *исключите* из цепи амперметр.

Включите оба выпрямителя и замкните ключ. Подключая вольтметр поочередно к соответствующим участкам цепи, *проведите* серию измерений для замкнутой цепи ($U_{\text{замкн}}$) с записью результатов в таблицу 4.

Разомкните ключ. Проведите измерение напряжения между точками 1,4 и 1,7. Запишите их как $U_{\text{разомкн}}(1-4)$ и $U_{\text{разомкн}}(1-7)$, после чего *выключите* оба выпрямителя.

Задание 4. Построение потенциальных диаграмм

Рассчитайте и *запишите* в правый столбец таблицы 4 значения суммы сопротивлений между соответствующими точками цепи.

Потенциальная диаграмма - это график, по горизонтальной оси которого откладываются значения сопротивления цепи, измеренные относительно некоторой исходной точки, а по вертикальной оси - значения напряжения в соответствующем месте цепи относительно той же исходной точки. В нашем случае это точка 1 (см. рис. 5.4).

Нанесите на миллиметровку оси координат. На каждой оси *выберите* масштаб и *проведите* разметку осей. *Нанесите* на оси сопротивлений соответствующих участков цепи и *пронумеруйте* точки, соответствующие точкам измерений. При этом между точками 1 и 2 сопротивление принимается равным нулю, так как реальное внутреннее сопротивление источника \mathcal{E}_1 много меньше сопротивления резисторов в цепи. Это же относится и к точкам 4, 5.

Нанесите на график значения напряжения на каждом из измеренных участков с учетом знака напряжения. *Соедините* полученные точки прямыми линиями.

Потенциальная диаграмма в точках 1,2 и 4,5 должна представлять собой вертикальную линию, длина которой соответствует величине ЭДС соответствующего источника. Отрезки диаграммы между точками 2, 4 и 5, 7 должны быть параллельны друг другу, так как тангенс угла наклона равен $\Delta U/\Delta R$, то есть силе тока, которая в неразветвленной цепи одинакова в разных сечениях этой цепи. Их наклон наглядно показывает, почему изменение напряжения на участках цепи называют «падением напряжения». После обхода всей цепи потенциал обращается в ноль.

Постройте на этом же графике теоретическую потенциальную диаграмму для разомкнутой цепи. *Убедитесь* в том, что на концах разомкнутой цепи разность потенциалов равна алгебраической сумме всех входящих в нее ЭДС.

В этом состоит потенциальная **опасность** электрического оборудования, постоянно подключенного к электрической сети. Ведь даже если оно в данный момент не работает, то на его элементах может быть напряжение. Именно поэтому в «Правилах техники безопасности» такое оборудование продолжают называть действующим.

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

Лабораторная работа № 6 (2.5)

Измерение характеристик источников тока

Введение

Источники тока - это устройство, в котором под действием сторонних (не электростатической природы) сил происходит пространственное разделение электрических зарядов, то есть один электрод источника заряжается положительно, а второй отрицательно. Если электроды (их часто называют **полюсами** или **зажимами**) соединить проводником, то в нем создается электрическое поле, действующее на свободные заряды проводника. Эти заряды приходят в направленное движение, и в проводнике течет электрический ток.

Таким образом, источник тока должен обеспечить перемещение заряженных частиц как внутри источника, чтобы поддерживать пространственное разделение зарядов, так и на внешнем относительно источника участке цепи, чтобы создать электрический ток. Эту способность источников принято характеризовать величиной, которая получила название "электродвижущая сила" - \mathcal{E} или ЭДС. Она численно равна энергии, которую источник способен сообщить единичному положительному заряду для его перемещения по полной цепи. Единицей измерения ЭДС, по определению, служит «1 Вольт» - $1\text{В} = 1\text{Дж/Кл}$.

Эта энергия расходуется на преодоление сопротивления R на внешнем участке цепи (называемом нагрузкой) и внутреннего сопротивления источника r . Из закона Ома для полной цепи следует, что:

$$\mathcal{E} = IR + Ir = U + Ir = U_3 + Ir, \quad (1)$$

где I - сила тока в цепи, U - падение напряжения на нагрузке, обычно равное напряжению на зажимах источника и обозначаемое как U_3 .

Из соотношения (1) следует, что ЭДС источника тока равно напряжению на зажимах источника U_3 , когда сила тока в цепи I равна нулю. Это может быть реализовано двумя способами. Во-первых, путем подключения к зажимам источника вольтметра, имеющего большое (более 10^6 Ом) входное сопротивление и предназначенного для измерения соответствующего напряжения с необходимой точностью. Во-вторых, путем компенсации тока через исследуемый источник с помощью специальной электрической схемы, предварительно прокалиброванной по эталонному источнику тока. Последний способ называется измерением ЭДС «методом компенсации» и применяется в настоящей работе.

При использовании источников тока важно обеспечить эффективное использование их энергии, которая выделяется как на нагрузке R , так и на внутреннем сопротивлении источника.

В соответствии с законом Джоуля-Ленца

$$P = \mathcal{E}I = I^2R + I^2r = P_n + I^2r, \quad (2)$$

где P – полная мощность источника и P_n – полезная мощность. Выразив силу тока через параметры источника (\mathcal{E} и r), можно записать:

$$P = \mathcal{E}I = \mathcal{E}^2 / (R + r) \text{ и } P_n = I^2R = \mathcal{E}^2R / (R + r)^2. \quad (3)$$

Соответственно КПД источника

$$\eta = P / P_n = R / (R + r). \quad (4)$$

Из соотношений (3) следует, что при возрастании R полная мощность монотонно убывает, а полезная сначала увеличивается, а затем убывает, то есть имеет максимум. Если взять производную от P_n по R , то можно получить, что полезная мощность максимальна при $R = r$ и равна $P / 2$. Что касается η , то с ростом R КПД монотонно увеличивается, стремясь к 1, а при $R = r$ равен 0,5.

Экспериментальные задачи, поставленные в работе:

- измерение электродвижущей силы источника тока методом компенсации;
- получение исходных данных для построения и исследования зависимостей полной и полезной мощностей и коэффициента полезного действия (кпд) источника тока от сопротивления нагрузки;
- определение оптимальных условий работы источника тока.

Описание экспериментальных установок

Схема установки для измерения ЭДС методом компенсации приведена на рис. 6.1.

В качестве вспомогательного источника \mathcal{E}_0 используется выпрямитель **ВС4-12**, к зажимам которого подключен реохорд AB . Компенсирующее напряжение снимается с вывода A и движка реохорда (точка D) и подается на исследуемый

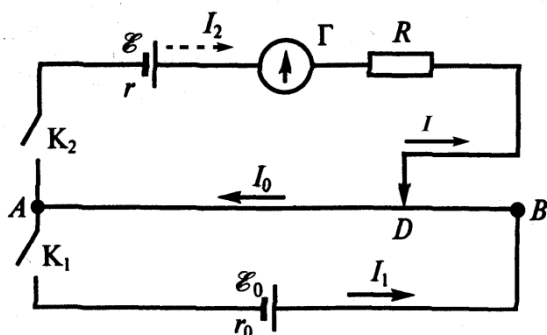


Рис. 6.1.

источник \mathcal{E} во встречной полярности. Момент компенсации фиксируется гальванометром (Γ). Ток при этом должен быть равен нулю. Тогда неизвестная ЭДС будет равна компенсирующему напряжению.

Величина этого напряжения подбирается изменением положения движка реохорда. Так как реохорд является делителем напряжения, то

$$U_{AD} = \mathcal{E}_0 R_{AD} / (R_{AB} + r_0),$$

где r_o -сопротивление вспомогательного источника. Хотя значения \mathcal{E}_o , R_{AB} и r_o заранее неизвестны, но в процессе измерений они не меняются. Поэтому для каждой измерительной установки можно считать, что U_{AD} пропорционально R_{AD} или L_{AD} (длине участка AD), то есть $U_{AD} = C L_{AD}$. Таким образом, фактически измерение ЭДС может быть сведено к измерению длины участка AD , при котором наступает компенсация. Конечно, предварительно нужно определить величину калибровочного множителя C , то есть, в конечном счете, проградуировать шкалу реохорда в Вольтах.

Для этого вместо исследуемого источника включаю эталонный источник, ЭДС которого известен с высокой точностью. Таким источником в данной работе служит нормальный элемент Вестона с $\mathcal{E}_н = 1,018\text{В}$. Затем подбирают такое положение движка реохорда L_n , при котором наступает компенсация, и определяют C , как $\mathcal{E}_н / L_n$.

При включении нормального элемента необходимо обеспечить его защиту от перегрузки. Для этого последовательно в цепь включено дополнительное сопротивление R , ограничивающее силу тока. После замены элемента Вестона на исследуемый источник этот резистор из цепи не удаляется, чтобы не нарушить градуировку установки.

В качестве исследуемых источников в работе используются "пальчиковые" аккумуляторы, установленные в общем корпусе. Чтобы составить из них батарею при выполнении **задания 2** нужно соединить разноименные (!) выводы между собой, а свободные выводы использовать для включения в схему. Теоретическое значение ЭДС такой батареи равно сумме ЭДС источников.

Встречное включение источников реализуется путем соединения их одноименных (!) выводов между собой. Свободные выводы источников такой батареи также оказываются одноименными. Полярность батареи в этом случае определяется полярностью свободного вывода от источника с более высоким значением ЭДС, а полярность свободного вывода от другого источника считается противоположной. Теоретическое значение ЭДС такой батареи равно разности ЭДС источников.

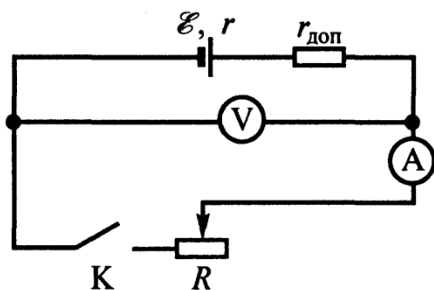


Рис. 6.2.

Схема установки для исследования влияния сопротивления нагрузки на эффективность использования энергии источника приведена на рис. 6.2. В качестве внутреннего сопротивления источника r (по аналогии с работой 5) используется дополнительное сопротивление - $r_{доп}$.

Подготовка протокола к работе

Запишите № и название работы.

Запишите заголовок: «Задание 1. Определение калибровочного множителя»

установки».

Нарисуйте схему измерительной установки (рис. 6.1).

Выпишите формулу для расчета калибровочного множителя установки:

$C = \mathcal{E}_n / L_n$, где \mathcal{E}_n - ЭДС нормального элемента, L_n - положение движка реохорда при условии компенсации. *Выпишите* значение ЭДС нормального элемента и подготовьте таблицу 1.

Таблица 1

№	L_n , мм	C_i , В/мм
1		
2		
3		
C_{cp}		

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Запишите заголовок: «**Задание 2. Определение ЭДС аккумуляторов**».

Выпишите формулу для расчета экспериментальных значений ЭДС.

Нарисуйте схемы последовательного и встречного соединений двух аккумуляторов.

Запишите формулы для вычисления расчетных значений ЭДС при различном соединении аккумуляторов и *подготовьте* таблицу 2.

Таблица 2

Аккумулятор	L_i , мм	\mathcal{E}_i , В	$\mathcal{E}_{расч}$, В
1			
2			
1+2			
1-2			

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Запишите заголовок: «**Задание 3. Исследование зависимости полной и полезной мощности от сопротивления нагрузки**».

Нарисуйте схему измерительной установки (рис. 6.2).

Выпишите формулы для расчета полной и полезной мощности и *подготовьте* таблицу 3.

Таблица 3

№ измерения	R , Ом	U , В	I , мА	$P_{полн}$, Вт	$P_{пол}$, Вт	η

Оставьте место в тетради для записи вычислений и их результатов.

Указания по выполнению работы

Задание 1.

После получения допуска к работе *соберите* установку в соответствии со схемой рис. 6.1, включив вместо исследуемого источника нормальный элемент Вестона. При этом нормальный элемент и выпрямитель должны подключаться через соответствующие ключи к общему выводу реохорда одноименными (!) полюсами. *Обратите* внимание на то, что первым должен замыкаться ключ, который подключается к выпрямителю. В качестве ограничивающего сопротивления R *используйте* сопротивление типа «ДВТ», которое включается в цепь крайними выводами. *Обратите* внимание на то, что для перемещения движка реохорда предусмотрена вращающаяся ручка в его правой части.

После проверки собранной установки преподавателем или инженером, *включите* выпрямитель. *Нажмите* ключ и *установите* движок реохорда в положение, при котором ток через гальванометр станет равным нулю.

Отпустите ключ. Во избежание перегрузки элемента Вестона и выхода его из строя *не держите* ключ нажатым излишне долго.

Запишите 1-е значение L_H в таблицу 1.

Сдвиньте движок реохорда произвольным образом. *Нажмите* ключ и снова *установите* движок реохорда в положение, при котором ток через гальванометр станет равным нулю. *Отпустите* ключ. *Запишите* новое значение L_H .

Опять сдвиньте движок произвольным образом и *проведите* измерения в 3-й раз.

Рассчитайте каждое из значений множителя C_i , а также его среднее значение C_{cp} , которым воспользуйтесь при выполнении следующего задания.

Задание 2.

Отключите элемент Вестона и *подключите* вместо него один из аккумуляторов, соблюдая полярность.

Измерьте L_1 , запишите в таблицу 2, рассчитайте ε_1 .

Повторите измерения для второго аккумулятора \mathcal{E}_2 , а также для последовательного и встречного соединения этих аккумуляторов.

Сравните экспериментальные и расчетные значения ЭДС 2-х аккумуляторов при различном их соединении.

Задание 3

Соберите установку в соответствии со схемой рис. 6.2.

В этой установке в качестве источника используется выпрямитель ВС-14м, роль внутреннего сопротивления источника $r_{\text{доп}}$ играет сопротивление типа Р34, роль нагрузки - магазин сопротивлений, для измерения напряжения применен мультиметр, а для измерения силы тока - многопредельный прибор типа Ц4511. *Предъявите* собранную установку для проверки преподавателю или инженеру.

Установите переключатель сопротивления Р34 в положение "500 Ом". Включите мультиметр и установите предел измерений 20V постоянного тока. *Включите* источник. Не замыкая ключ К, запишите показания мультиметра как $\mathcal{E}=\dots$ и используйте полученное значение в дальнейшем в качестве ЭДС источника. (Несмотря на неправомерность такой замены, в данном случае она вполне допустима, так как исследуемые закономерности не зависят от абсолютного значения ЭДС).

Установите на магазине сопротивлений значение $R = 50$ Ом. *Установите* на миллиамперметре режим измерения постоянного тока и предел измерений, равный 30мА. *Замкните* ключ. При необходимости, *измените* предел измерений миллиамперметра так, чтобы стрелка находилась в правой части шкалы, но не зашкаливала. *Запишите* значения U и I в таблицу 3.

Повторите измерения, увеличивая сопротивление R через 50 Ом до 400 Ом, далее через 20 Ом до 600 Ом и снова через 50 Ом до 1000 Ом.

По данным измерений *рассчитайте* полную и полезную мощности и η . *Постройте* на одном листе графики изменения этих величин. *Определите* по графикам значения R и η , при которых $P_{\text{пол}}$ максимальна, и *сравните* с теоретическими.

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

Дополнительный материал по теме 3

Заметим, что ЭДС характеризует свойства источника, а сила тока является "вторичной", ибо зависит как от внутреннего сопротивления источника, так и от сопротивления нагрузки. Поэтому более правильно источники электрической энергии было бы называть "источниками ЭДС". Но исторически принято название «источник тока» и им пользуются чаще всего.

«Истинным» источником тока можно считать источник, у которого очень большое внутреннее сопротивление. Тогда сила тока не будет зависеть от сопротивления нагрузки. И, напротив, источники с малым r можно считать источниками напряжения, так как в этом случае напряжение на нагрузке будет мало отличаться от ЭДС источника. Такие источники называют идеальными.

При длительной работе химических источников тока (батареек и аккумуляторов) в результате химических реакций внутри источника расходуется активное вещество, уменьшается плотность электролита (растет его удельное сопротивление), то есть увеличивается внутреннее сопротивление источника и, следовательно, снижается мощность, отдаваемая в нагрузку ("батарея садится").

Рекомендуемая литература:

2. Е.М. Гершензон, Н.Н. Малов, А.Н. Мансуров. Курс общей физики. Электродинамика. §§ 5.2, 5.5 – 5.7. – М., Академия, 2001.

3. С.Г. Калашников. Электричество. §§ 57, 58, 67, 68. 7-е изд., стереот. – М.: Физматлит, 2008.

4. Д.В. Сивухин. Общий курс физики, т.3, Электричество. §§ 43, 44. М.: Физматлит, 2006.

Примерные контрольные вопросы по теме 3

1. Какое направление электрического тока принято считать положительным?
2. Что такое ЭДС?
3. Какой участок цепи называется однородным, а какой неоднородным?
4. Запишите закон Ома для участка цепи, содержащего ЭДС?
5. В чем заключается правило знаков?
6. Сформулируйте закон Ома для полной цепи.
7. Что такое проводимость? В каких единицах она измеряется?
8. Как соотносится (больше или меньше) общее сопротивление последовательно соединенных проводников с сопротивлением каждого из них?
9. Как рассчитать общее сопротивление при параллельном сопротивлении проводников? Как оно соотносится (больше или меньше) с сопротивлением каждого из этих проводников?
10. Известны два типа химических источников тока: гальванический элемент и аккумулятор. В чем их различие?
11. Как со временем меняются характеристики химических источников тока?
12. Какие другие типы источников тока, кроме химических, Вы знаете?

13. Почему напряжение на зажимах источника иногда не равно ЭДС?
14. Нарисуйте потенциальную диаграмму Вашей цепи, если источники поменять местами.
15. Нарисуйте потенциальную диаграмму Вашей цепи, если изменить полярность включения одного из источников.
16. В чем состоит потенциальная опасность неработающего, но подключенного к электрической сети оборудования?
17. Можно ли скомпенсировать ЭДС \mathcal{E} , если $|\mathcal{E}_0| < |\mathcal{E}|$ (рис. 6.1)?
18. Одинаков ли множитель C для различных установок, имеющих в лаборатории?
19. Сформулируйте закон Джоуля-Ленца.
20. Выведите условие получения максимума полезной мощности в цепи.
21. При каких условиях от данного источника тока можно получить максимальный ток? Как такой ток называется?
22. Сформулируйте правила Кирхгофа.
23. Сформулируйте правило знаков для ЭДС и падений напряжений при записи второго правила Кирхгофа.
24. Примените правила Кирхгофа для объяснения «работы» установки на рис. 6.1.