

**Федеральное агентство железнодорожного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования**

**«ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I»**

**Кафедра «Физика»
Лаборатория электрофизики**

**ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

**Методические указания
к лабораторной работе № 243**

С.-ПЕТЕРБУРГ

2016

Цель работы – исследование характеристик источника электрической энергии (источника тока) и режимов работы замкнутой цепи.

1. Краткие сведения из теории

Электрическая цепь – это совокупность устройств, предназначенных для производства, передачи, преобразования и использования электрической энергии. Все электротехнические устройства по назначению, принципу действия и конструктивному оформлению можно разделить на три большие группы:

- источники (генераторы, термоэлементы, фотоэлементы, химические элементы и т.д.);
- приёмники, или нагрузка (различные электромеханизмы, электродвигатели, электролампы и т.д.);
- проводники (соединяющие зажимы источника с зажимами приёмника), а также различная коммутационная аппаратура (выключатели, реле, контакторы и т.д.).

По отношению к источнику приёмник и провода образуют внешнюю цепь.

Источники электрической энергии (источники тока) – это участки цепи, на которых силы неэлектростатической природы (сторонние силы) перемещают положительные заряды из мест с меньшим потенциалом в места с большим потенциалом. Во внешней цепи положительные заряды движутся под действием сил электростатического поля из мест большего потенциала в места с меньшим потенциалом. Отрицательные заряды движутся по цепи в противоположном направлении.

Отметим здесь, что если бы в электрической цепи действовали только силы электростатического поля, то перемещение зарядов под их действием приводило бы к выравниванию потенциала в цепи. В результате все соединённые между собой проводники приобрели бы одинаковый потенциал и электрический ток прекратился бы.

Основными характеристиками источников тока являются их электродвижущая сила (ЭДС) \mathcal{E} и внутреннее сопротивление r .

ЭДС источника численно равна работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда (1 Кл) по замкнутой электрической цепи:

$$\varepsilon = \frac{A_{ст}}{q} . \quad (1)$$

Поскольку работа сил электростатического поля в замкнутой цепи равна нулю, то полная работа по перемещению заряда по всей замкнутой цепи совершается за счёт сторонних сил $A_{полн} = A_{ст}$.

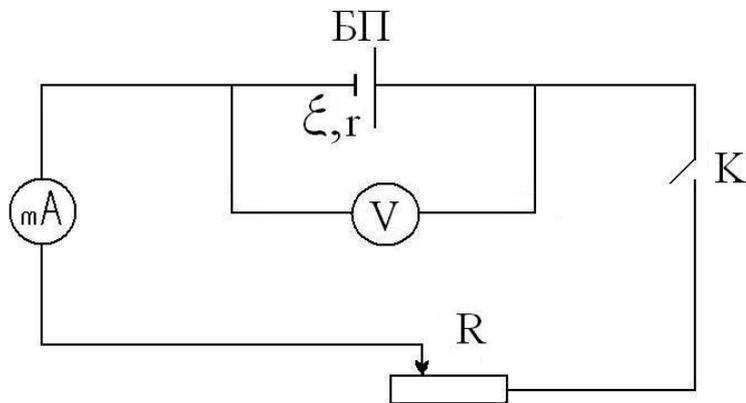


Рис. 1. Схема электрической цепи: БП – блок питания (источник тока), К – ключ, V – вольтметр, mA – миллиамперметр, ε – ЭДС источника, r – внутреннее сопротивление источника, R – переменное сопротивление внешней цепи (нагрузка).

Отметим здесь, что в работе используются миллиамперметр, сопротивление которого R_A мало, и вольтметр, сопротивление которого R_V велико, по сравнению с нагрузкой R и внутренним сопротивлением r . Поэтому в дальнейшем полагается, что $R_A = 0$ и падением напряжения на амперметре можно пренебречь ($U_A = 0$), $R_V \rightarrow \infty$ и током через вольтметр можно пренебречь ($I_V = 0$).

При замыкании ключа К в цепи протекает ток силой I . По закону Ома:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r} , \quad (2)$$

где ε – ЭДС источника, R – сопротивление внешней цепи, r – внутреннее сопротивление источника.

Напряжение на зажимах источника и сила тока связаны законом Ома для участка цепи:

$$I = \frac{U}{R} . \quad (3)$$

Приравнивая правые части в (2) и (3) получаем соотношение:

$$U = \frac{\varepsilon}{1 + \frac{r}{R}} \quad (4)$$

Из (4) видно, что напряжение на зажимах реального источника тока приближённо равно ЭДС источника, если внешнее сопротивление велико по сравнению с внутренним: $R \gg r$. При разомкнутой цепи $R \rightarrow \infty$, $I = 0$ и напряжение на зажимах равно электродвижущей силе источника: $U = \varepsilon$.

Одним из способов измерения значения ЭДС является измерение напряжения в режиме холостого хода, который возникает при обрыве цепи или отключении сопротивления нагрузки (т.е. при отсутствии тока). В нашем случае переход в режим холостого хода происходит при размыкании ключа К.

Полной мощностью называется мощность выделяющаяся во всей цепи:

$$P_0 = \frac{A_{полн}}{t} = \frac{A_{см}}{t} = \frac{q\varepsilon}{t} = I\varepsilon = \frac{\varepsilon^2}{R+r} . \quad (5)$$

Полезной мощностью называется мощность, выделяющаяся во внешней цепи (потребляемая нагрузкой R):

$$P = IU = I^2 R = \frac{\varepsilon^2 R}{(R+r)^2} \quad (6)$$

Отношение полезной мощности к мощности, выделяемой во всей цепи, называется **коэффициентом полезного действия** (КПД) источника тока:

$$\eta = \frac{P}{P_0} = \frac{U}{\varepsilon} = \frac{R}{R+r} . \quad (7)$$

Из уравнения (6) следует (студентам рекомендуется показать это самостоятельно), что при значении сопротивления нагрузки равном внутреннему сопротивлению источника ($R = r$) достигается максимум полезной мощности, равный

$$P_{\max} = \frac{\varepsilon^2}{4r} \quad (8)$$

В этом случае говорят, что электрическая цепь работает в *согласованном режиме*, а именно это режим передачи от источника к сопротивлению нагрузки наибольшей мощности.

Если сопротивление нагрузки равно нулю, то такой режим называется режимом *короткого замыкания*. Из закона Ома (2) видно, что при этом достигается максимальное значение силы тока, который называется **током короткого замыкания** $I_{к.з.}$. Его значение:

$$I_{к.з.} = \frac{\mathcal{E}}{r} \quad (9)$$

При протекании в цепи тока короткого замыкания полезная мощность и КПД обращаются в ноль, что следует из (6 и (7).

2. Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

Измерения проводятся на универсальной установке, блок-схема которой изображена на рис.2.

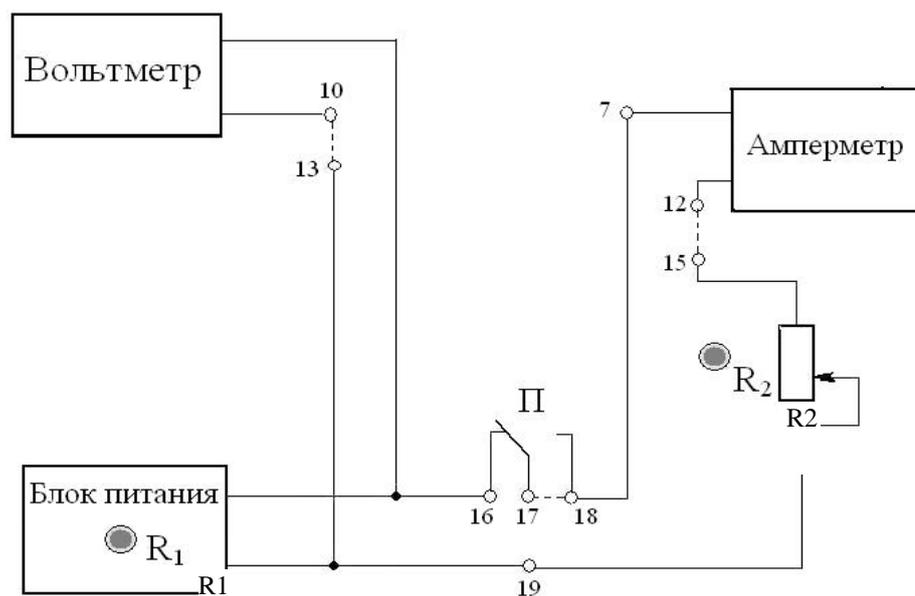


Рис. 2. Схема лабораторной установки.

1. Для сборки электрической цепи замкните проводами клеммы 10-13, 12-15, 17-18 (на рисунке соответствующие провода указаны пунктирными линиями).

2. После проверки лаборантом (преподавателем) собранной цепи включите установку в сеть.

3. Определите пределы измерения и погрешности вольтметра и миллиамперметра. Заполните таблицу приборов (табл. 1)

Таблица 1.

Наименование прибора	Пределы измерения	Погрешность прибора
Вольтметр		
Амперметр		

4. Поставьте переключатель Π в положение 18 (при таком положении сопротивление нагрузки R_2 отключено от блока питания, тока в цепи нет). С помощью потенциометра R_1 установите нужное значение ЭДС (работа производится с **двумя значениями ЭДС** ε_1 и ε_2 , которые рекомендуются преподавателем), запишите в таблицу.

5. Переключатель Π поставьте в положение 16 (в цепи появится ток). Вращая ручку потенциометра R_2 определите максимальное и минимальное значения тока. Весь интервал значений тока разделите на 8 – 10 частей. Измерения значений тока и напряжения проводите поворачивая ручку потенциометра R_2 так, чтобы перейти от одного крайнего положения до другого. При этом ручку R_1 на блоке питания трогать **НЕЛЬЗЯ**, т.к. вы измените значение ЭДС. Всего должно быть измерено не менее 8 значений тока и напряжения.

Таблица 2. $\varepsilon_{1,2} = \dots$ В

№	U , В	I , мА	P_0 , мВт	P , мВт	η	R , Ом	r , Ом
1							
2							
3							
...							
10							

6. Выполнить задания из пунктов 4, 5 при втором значении ЭДС ε_2 . Результаты измерений запишите в табл. 3, подобную табл. 2.

7. Расчётная часть работы заключается в определении полной, полезной мощности и КПД по формулам (5), (6), (7), а также внутреннего

и нагрузочного сопротивлений с использованием законов (2) и (3). Результаты расчётов запишите в таблицы.

8. Рассчитайте среднее значение внутреннего сопротивления и его погрешность (по формуле случайных погрешностей). Запишите результат в виде: $r = \bar{r} \pm \Delta r$.

9. По вычисленным значениям мощностей и КПД для каждого значения ЭДС на миллиметровой бумаге на одном рисунке постройте три зависимости: $P_0(R)$, $P(R)$ и $\eta(R)$.

10. Используя графики найдите значение тока короткого замыкания и значение тока, соответствующего максимуму полезной мощности.

11. В точках максимальной полезной мощности оцените погрешности исследуемых величин ΔP_0 , ΔP и $\Delta \eta$ методом косвенных измерений.

12. Сформулируйте свои выводы о согласованности теории с проделанными измерениями и расчётами.

3. Контрольные вопросы

1. Что называется электродвижущей силой? Каков её физический смысл?
2. На каких элементах электрической схемы выделяется полезная и полная мощность?
3. Какую максимальную мощность можно получить от источника тока?
4. При каких значениях нагрузочного сопротивления достигается максимальная полезная мощность? Чему равен КПД в этом случае?
5. При каких значениях силы тока полезная мощность обращается в ноль?
6. Что такое ток короткого замыкания? Как он выражается через характеристики источника тока?
7. При каких значениях нагрузочного сопротивления достигается максимальный КПД источника тока?
8. Чему равен КПД, если значение полной мощности максимально?

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ИСТОЧНИКА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Методические указания к лабораторной работе № 243

Составители: **Галанов** Евгений Константинович
Лапшин Владимир Фёдорович

Редактор и корректор

План 2016 г., №

Подписано в печать с оригинал-макета .

Формат 60×84 1/16. Бумага для множ. апп. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,5. Тираж 500 экз.

Заказ

Петербургский государственный университет путей сообщения.

190031, СПб., Московский пр., 9.

Типография ПГУПС. 190031, СПб., Московский пр., 9.