



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УПРАВЛЕНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра «Физика»

ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № Э 7
Исследование работы источника
тока в замкнутой цепи
по дисциплине

«Физика»

Авторы

Жданова Т.П.,

Лемешко Г.Ф.,

Холодова О.М.

Ростов-на-Дону, 2025

Аннотация

В практикуме кратко изложены теоретические вопросы, необходимые для успешного выполнения лабораторной работы, рабочее задание и контрольные вопросы. Предназначен для организации самостоятельной работы студентов всех специальностей, изучающих физику.

Авторы

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Жданова Т.П.

к.ф.-м.н., доцент кафедры «Физика»
Лемешко Г.Ф.

старший препод. кафедры «Физика»
Холодова О.М.



Оглавление

Краткая теория.....	4
Вывод рабочей формулы.....	10
Порядок выполнения.....	11
Контрольные вопросы.....	14
Список литературы.....	15

Лабораторная работа № Э 7

Исследование работы источника тока в замкнутой цепи

Цель работы: 1) определить внутреннее сопротивление источника тока и его электродвижущую силу;

2) исследовать изменения полезной мощности и коэффициент полезного действия источника тока в зависимости от его нагрузки.

Оборудование: источник тока (выпрямитель напряжением 6 В), амперметр, вольтметр, реостат, соединительные провода.

Краткая теория

Электрический ток – это направленное упорядоченное движение заряженных частиц. В металлах носителями тока являются электроны. За направление тока принимается направление движения положительных частиц.

Сила тока – скалярная физическая величина, определяемая зарядом, проходящим через поперечное сечение проводника в единицу времени:

$$I = \frac{dq}{dt}; \quad I = \frac{q}{t} \text{ (если } I = \text{const).}$$

Плотность тока – векторная физическая величина, численно равная отношению силы тока сквозь поверхность, перпендикулярную направлению тока, к площади этой поверхности

$$j = \frac{I}{S}, \quad \vec{j} = ne\langle \vec{v} \rangle,$$

где S – площадь поперечного сечения проводника, $\langle \vec{v} \rangle$ – средняя скорость упорядоченного движения положительных зарядов в проводнике, n – концентрация зарядов, e – элементарный заряд. Вектор плотности тока совпадает с направлением электрического тока.

Физическая сущность электрического сопротивления

– противодействие, оказываемое материалом проводника движению электронов. Согласно классическим представлениям, электрическое сопротивление металлов обусловлено соударениями свободных электронов с ионами, расположенными в узлах кристаллической решетки металла.

Зависимость сопротивления от параметров проводника:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

где l – длина проводника, S – площадь поперечного сечения проводника, $\rho = \frac{l}{\gamma}$ – удельное сопротивление, γ – удельная проводимость.

Зависимость удельного сопротивления от температуры для металлических проводников:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

где α – температурный коэффициент сопротивления, ρ_0 – удельное сопротивление при 0°C , t – температура проводника.

Сопротивление системы проводников: при последовательном (а) и параллельном (б) соединениях:

$$\text{а) } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

$$\text{б) } \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

где $\frac{1}{R} = G$ – проводимость, n – число проводников.

Разность потенциалов численно равна работе электрических сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{\text{эл}}}{q}.$$

Электродвижущая сила численно равна работе сторонних (неэлектрических) сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{см}}}{q}.$$

Напряжение численно равно суммарной работе сторонних и электрических сил по перемещению единичного положительного заряда:

$$U = \frac{A_{\text{эл}} \pm A_{\text{см}}}{q},$$

где знак «-» соответствует случаю, когда сторонние силы направлены против сил электрических.

Таким образом, напряжение: $U = \varphi_1 - \varphi_2 \pm \mathcal{E}$.

На **однородном** участке цепи отсутствуют сторонние силы, т.е. $\mathcal{E} = 0$, поэтому $U = \varphi_1 - \varphi_2$.

Участок цепи, где на носители действуют сторонние силы, называют **неоднородным**.

Закон Ома:

для однородного участка цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{R} = \frac{U}{R},$$

для неоднородного участка цепи:

$$I = \frac{\varphi_1 - \varphi_2 + \mathcal{E}_{1,2}}{R},$$

для полной цепи:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{R + r},$$

в дифференциальной форме (для однородного участка цепи):

$$\vec{j} = \gamma \vec{E},$$

где U – напряжение на однородном участке цепи, $(\varphi_1 - \varphi_2)$ – разность потенциалов на концах участка цепи, \mathcal{E} – ЭДС источника тока, r – внутреннее сопротивление источника тока, \vec{j} – плотность тока, γ – удельная проводимость, \vec{E} – напряжённость электрического поля.

Сила тока короткого замыкания:

$$I_{\text{к.з.}} = \frac{\mathcal{E}}{r}.$$

Работа тока за время t :

$$A = I U t = I^2 R t = \frac{U^2}{R} t.$$

Закон Джоуля-Ленца (количество теплоты, выделяемой при прохождении тока через проводник):

$$Q = I^2 R t .$$

Полезная мощность тока (выделяемая в нагрузке):

$$P_{\text{полезная}} = I^2 R = IU = \frac{U^2}{R} .$$

Полная мощность, выделяемая в цепи:

$$P_{\text{полная}} = I \cdot \mathcal{E} .$$

Мощность, теряемая в источнике:

$$P_{\text{потерь}} = I^2 r .$$

Коэффициент полезного действия источника тока:

$$\eta = \frac{P_{\text{полезная}}}{P_{\text{полная}}} = \frac{R}{R + r} .$$

Правила Кирхгофа:

1) Алгебраическая сумма токов, сходящихся в узле, равна нулю:

$$\sum_i I_i = 0 \text{ или } \sum_j I_j = \sum_k I_k \text{ - для узлов,}$$

2) В любом замкнутом контуре, произвольно выбранном в разветвленной электрической цепи, алгебраическая сумма произведений сил токов I_i на сопротивления R_i соответствующих участков этого контура равна алгебраической сумме ЭДС \mathcal{E}_k , встречающихся в этом контуре

$$\sum_i I_i R_i = \sum_k \mathcal{E}_k .$$

Применяя правила Кирхгофа, следует соблюдать следующие указания:

1. Перед составлением уравнений произвольно выбрать: а) направления токов и указать их стрелками на чертеже (хотя бы один ток должен входить в узел и хотя бы один выходить); б) направления обхода контуров (например, по часовой стрелке).

2. При составлении уравнений по *первому* правилу Кирхгофа считать токи, входящие в узел - положительными, а выходящие - отрицательными.

Число уравнений, составляемых по первому правилу Кирхгофа, должно быть на единицу меньше числа узлов, содержащихся в цепи.

3. При составлении уравнений по *второму* правилу Кирхгофа надо считать, что:

а) произведение силы тока на сопротивление участка контура $I_i R_i$ входит в уравнение со знаком "плюс", если направление тока в данном участке совпадает с выбранным направлением обхода контура, в противном случае произведение $I_i R_i$ входит в уравнение со знаком "минус",

б) ЭДС входит в уравнение со знаком "плюс", если она повышает потенциал в направлении обхода контура, т.е. если при обходе приходится идти от минуса к плюсу внутри источника тока; в противном случае ЭДС входит в уравнение со знаком "минус".

Число уравнений, составленных по второму правилу Кирхгофа, должно быть равно числу независимых контуров, имеющих в цепи.

Вывод рабочей формулы

Запишем закон Ома для полной цепи для разных значений внешних сопротивлений реостата R_i и R_k , которым соответствуют

силы тока I_i и I_k :

$$I_i = \frac{\mathcal{E}}{R_i + r} \quad \text{и} \quad I_k = \frac{\mathcal{E}}{R_k + r} .$$

Решая эту систему двух уравнений, получаем:

$$r = \frac{I_k R_k - I_i R_i}{I_i - I_k} .$$

Используя закон Ома для однородного участка цепи, получаем:

$$\boxed{r = \frac{U_k - U_i}{I_i - I_k}} \quad \text{и} \quad \boxed{\mathcal{E} = U_i + I_i r} , \quad (1)$$

где i и k - номера измерений силы тока и напряжения.

Полезная мощность (мощность нагрузки) определяется формулой:

$$P_{нагр.} = I^2 R = IU \quad (2)$$

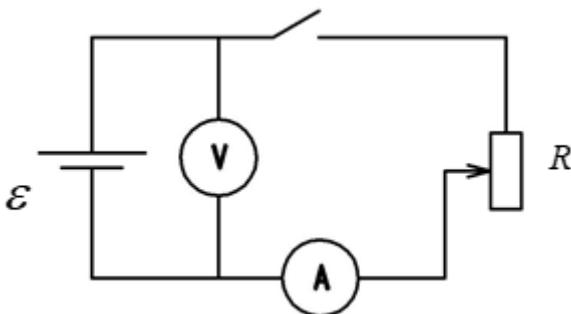
и является функцией внешнего сопротивления. При определенных условиях принимает максимальное значение. Чтобы определить эти условия, необходимо исследовать функцию (2) на экстремум:

$$\frac{dP_{нагр.}}{dR} = \mathcal{E}^2 \frac{r^2 - R^2}{(r + R)^4} = 0 \quad \Rightarrow \quad R = r .$$

Таким образом, полезная мощность источника тока становится наибольшей, когда внешнее сопротивление цепи равно внутреннему сопротивлению источника тока. При этом $\eta = 0,5$.

Порядок выполнения работы

1. Собрать цепь по схеме, изображенной на рисунке.



2. Определить цену деления амперметра c_A и вольтметра c_V ; записать в таблицу.
3. Установить по заданию преподавателя первое значение силы тока, заметить при этом соответствующее значение напряжения.
4. Записать показания амперметра n_A и вольтметра n_V в делениях в таблицу.
5. Увеличивая последовательно силу тока (шаг изменения силы тока задает преподаватель), довести ее до максимального значения, снимая 8-10 значений I и U .
6. Вычислить значения силы тока и напряжения соответственно для всех измерений по формулам:

$$I = c_A \cdot n_A, \quad U = c_V \cdot n_V.$$

7. Вычислить сопротивление нагрузки для каждого измерения по формуле: $R = \frac{U}{I}$.

8. Вычислить мощность, выделяемую в нагрузке (полезная мощность) для каждого измерения по формуле: $P_{нагр.} = IU$.

9. Используя пять разных пар значений I и U (напр.: 1-6; 2-7; 3-8; 4-9; 5-10), по формулам (1) вычислить пять значений r и \mathcal{E} .

Пример. Пусть $i = 1$, $k = 6$. Тогда

$$r = \frac{U_6 - U_1}{I_1 - I_6}; \quad \mathcal{E} = U_1 + I_1 r \quad .$$

10. Результаты вычислений записать в таблицу.

11. Вычислить средние значения $\langle r \rangle$ и $\langle \mathcal{E} \rangle$.

12. Используя полученные значения силы тока I и среднее значение электродвижущей силы $\langle \mathcal{E} \rangle$, вычислить для каждого значения силы тока полную мощность, выделяемую в цепи, по формуле:

$$P = \langle \mathcal{E} \rangle I.$$

Таблица

$C_A =$						$C_V =$					
№	n_A	I	n_V	U	R	$P_{нагр.}$	r	\mathcal{E}	P	$P_{потерь.}$	η
	-	A	-	B	$Ом$	$Вт$	$Ом$	B	$Вт$	$Вт$	-
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
ср											

13. Рассчитать мощность потерь, т.е. мощность, выделяемую внутри источника, для каждого значения силы тока по формуле:

$$P_{\text{потерь}} = P - P_{\text{нагр.}}$$

14. Рассчитать коэффициент полезного действия для каждого значения силы тока по формуле: $\eta = \frac{R}{R + \langle r \rangle}$.

15. Внести все значения в соответствующие столбцы таблицы.

16. Построить графики зависимостей

$P = f(R)$, $P_{\text{нагр.}} = f(R)$, $\eta = f(R)$. Объяснить ход зависимостей.

Контрольные вопросы

1. Описать ход работы, объясняя смысл всех операций. Знать все обозначения, используемые в таблицах.
2. Дать определение электрического тока.
3. Что называется силой тока?
4. Что называется плотностью тока?
5. Какой проводник называется однородным?
6. Записать закон Ома для однородного участка цепи, для неоднородного участка цепи, для полной цепи, в дифференциальной форме.
7. Что такое сторонние силы?
8. Что такое разность потенциалов, электродвижущая сила, напряжение?
9. Сопротивление при последовательном и параллельном соединениях проводников.
10. Зависимость сопротивления от параметров проводника.
11. Зависимость сопротивления от температуры проводника.

12. Сила тока короткого замыкания.

13. Работа и мощность тока.

14. Закон Джоуля-Ленца.

15. Единицы измерения следующих величин: $I, U, R, j, \rho, \gamma, (\varphi_1 - \varphi_2), \mathcal{E}, r, P_{нагр.}, \eta$.

16. При каком сопротивлении нагрузки наблюдается максимальная мощность? Каков при этом коэффициент полезного действия?

Правила техники безопасности

При выполнении работы необходимо убедиться, что все токоведущие части электрической схемы изолированы. Категорически запрещается касаться руками или другими предметами зажимов цепи, находящихся под напряжением. По окончании работы обязательно отключить электрическую схему от источника напряжения.

Список литературы

1. Благин А.В. Физика для инженеров / А.В. Благин, Т.С. Беликова, Т.П. Жданова и др. – Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2022. – 601с.
2. Грабовский Р.И. Курс физики: учебное пособие для вузов / Р.И. Грабовский – Санкт-Петербург: Лань, 2024. – 609с.
3. Трофимова, Т. И., Физика. В таблицах и формулах: учебное пособие / Т. И. Трофимова. — Москва: КноРус, 2023. — 447 с.