Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет
имени Гагарина Ю.А.»

Кафедра «Естественные и математические науки»

ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА

Методические указания к лабораторной работе «Исследование цепи постоянного тока»
для студентов направлений

09.03.01 «Информатика и вычислительная техника»
09.03.04 «Программная инженерия»
15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическоеобеспечение машиностроительных производств»
18.03.01 «Химическая технология»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

Очной, очно-заочной и заочной формы обучения

Энгельс 2025

Лабораторная работа 2

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Цель работы: опытным путем определить потери напряжения и мощности в цепи в зависимости от тока в цепи. Определить внутреннее сопротивление источника и сопротивление линии. Проверить баланс мощностей в цепи. Исследовать КПД передачи энергии от источника к приемнику.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Электрическая энергия может совершать полезную работу в том случае, если образована простейшая электрическая цепь, состоящая из трех основных элементов: источника электрической энергии (далее источника); приемника электрической энергии (далее приемник или нагрузка); электрических проводов связывающих источник с нагрузкой. Простейшая электрическая цепь может содержать также выключатели, измерительные приборы, предохранители и т.д.

При расчетах и анализе электрической цепи источники и приемники изображают в виде схемы замещения. Схема замещения простейшей электрической цепи показана на рис.1.

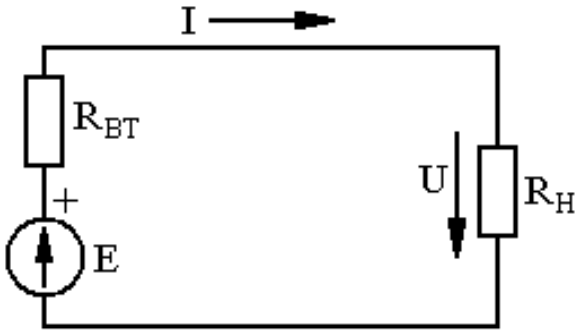

Рис.1. Простейшая электрическая цепь

Для простейшей электрической цепи справедливы следующие соотношения:

$U = E - R_{BT}I$ – уравнение электрического равновесия;

$$I = \frac{E}{R_н + R_{вт}}$$ – закон Ома для простейшей цепи,

$P_И = P_Н + P_{ВТ}$ – уравнение баланса мощностей;

где E – ЭДС источника, в вольтах; $R_Н$ – сопротивление нагрузки, Ом; $R_{ВТ}$ – внутреннее сопротивление источника, Ом; $U_Н$ – напряжение на зажимах приемника, в вольтах; I – ток в цепи, в амперах; $P_И = E \cdot I$ – мощность, развиваемая источником, в ваттах; $P_{ВТ} = R_{ВТ} \cdot I^2$ – мощность потерь в источнике, в ваттах; $P_Н = U_Н \cdot I$ – полезная мощность на нагрузке, в ваттах.

При передаче электрической энергии по линии электропередачи в ней теряется часть напряжения $\Delta U_Л = 2R_Л \cdot I$ и мощности $\Delta P_Л = 2R_Л \cdot I^2$. В связи с этим напряжение на зажимах нагрузки меньше, чем напряжение источника на величину

$$U_Н = U_И - \Delta U_Л = E - I(R_{ВТ} + 2R_Л),$$

где $R_Л$ – сопротивление одного провода двухпроводной линии.

Схема замещения цепи с учетом сопротивления линии показана на рис.2.

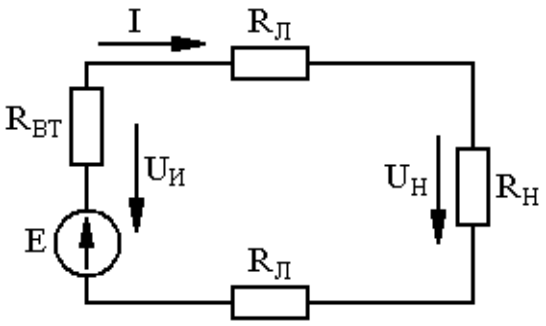

Рис.2. Неразветвленная цепь постоянного тока

Линии передачи выполняются медными, алюминиевыми и реже стальными проводами. Сопротивление металлического проводника зависит от его длины *l*, площади поперечного сечения *S* и электропроводящих свойств металла, из которого выполнен проводник

$$R = \frac{\rho \cdot l}{S} = \frac{l}{\gamma \cdot S}$$

где ρ – удельное электрическое сопротивление, в СИ [ρ] = Ом·м, следовательно, $1\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 1\,\text{мкОм} \cdot \text{м}$

γ - удельная проводимость, [γ] = См/м.

Для медных проводов ρ = 0,0175 мкОм·м; γ = 56 МСм·м

Для алюминиевых проводов ρ = 0,0286 мкОм·м; γ = 35 МСм·м.

С повышением температуры сопротивление металлического проводника увеличивается в соответствии с формулой

$$R_2 = R_1 + \alpha \cdot R_1 \cdot (\theta_2 - \theta_1) = R_1 \cdot (1 + \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)),$$

где R_1, R_2 – значение сопротивления при температурах θ_1 и θ_2 в Омах. Значение R_1 для различных проводников при температуре 20°С приводится в справочниках;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления, равный относительному изменению сопротивления при изменении температуры на 1°С.

Величина обратная сопротивлению называется проводимостью $G = \frac{1}{R}$. Единица измерения проводимости называется Сименсом (См).

На практике сечения проводов линии электропередачи выбирают с таким расчетом, чтобы потеря напряжения в них не превышала:

– для осветительной сети у наиболее удаленных источников света внутреннего рабочего освещения цехов и прожекторных установок наружного освещения не более минус 2,5%, плюс 5% номинального напряжения;
– для электрических двигателей минус 5%, плюс10%.

Для цепи постоянного тока выражение для энергии электрического тока, преобразуемой в приемнике с сопротивлением R (закон Джоуля-Ленца) имеет вид

$W = U \cdot I \cdot t = R \cdot I^2 \cdot t$.

Единица энергии 1В·1А·1с = 1В·А·с = 1 Вт·с = 1 Дж.

При расчетах электроэнергетических установок в качестве единиц энергии выбирают ватт-час или киловатт-час.

Мощность в цепи постоянного тока

$$P = \frac{W}{t} = U \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{U^2}{R}$$

Единица мощности 1В·1А = 1В·А = 1Вт (ватт).

В электроэнергетике широко применяют единицы мощности киловатт (кВт) и мегаватт (МВт), причем 1 кВт = 10^3 Вт и 1 МВт = 10^6 Вт, а в слаботочной и измерительной технике – милливатт (мВт), причем 1 мВт = 10^{-3} Вт.

Важнейшими характеристиками для простейшей цепи являются зависимости напряжения на зажимах приемника, мощности нагрузки, мощности потерь в источнике и КПД от тока. Эти зависимости при заданных значениях E и $R_{ВТ}$ могут быть выражены формулами

$$U = E - R_{ВТ} \cdot I$$

$$P_Н = U \cdot I = E \cdot I - R_{ВТ} \cdot I^2$$

$$P_{ВТ} = R_{ВТ} \cdot I^2$$

$$\eta = \frac{P_Н}{P_{ВТ} + P_Н}$$

Максимальная мощность в нагрузке развивается при равенстве сопротивления нагрузки и источника, то есть $R_Н = R_{ВТ}$. Это согласованный режим работы цепи. При этом КПД = 0,5. Он применяется в слаботочных цепях, в частности в электронных усилителях, где КПД не играет

существенной роли. В сильноточных цепях $R_H >> R_{BT}$, а КПД близок к единице. Зависимости U(I); $P_H(I)$; $P_{BT}(I)$; η(I) приведены на рис.3.

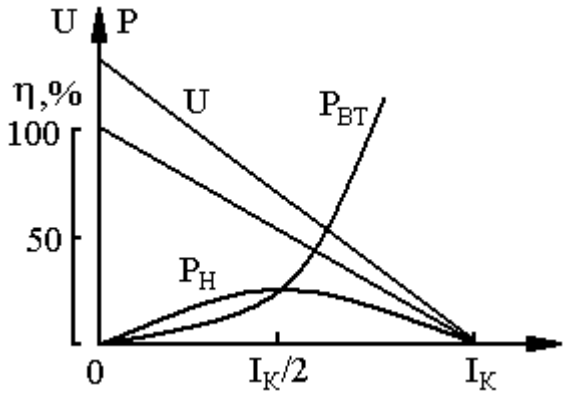

Рис.3. Зависимость напряжения, мощности и КПД простейшей цепи от нагрузки

На рис.3 ток I_K – ток короткого замыкания, когда сопротивление нагрузки равно нулю.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Описание экспериментальной установки

Исследуемая цепь состоит из источника постоянного тока, клеммы которого выведены на панель стенда, модели двухпроводной линии с выводами и ламп накаливания в качестве нагрузки. Для изменения режимов работы цепи на стенде имеются выключатели: S_1 для включения цепи; $S_2 \div S_6$ - для регулирования силы тока в цепи. Схема опыта представлена на рис.4. Напряжение источника питания не более 50 В.

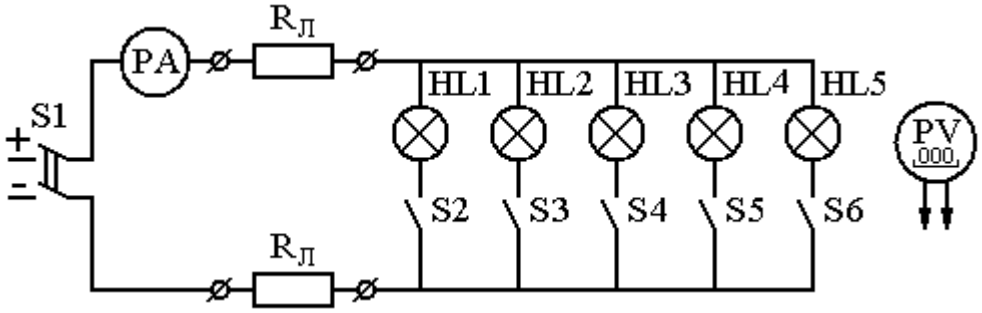

Рис.4. Схема опыта

ПРИБОРЫ И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Для измерения тока на стенде установлены аналоговые показывающие амперметры класса точности 1,5. Систему прибора и предел измерения необходимо выбрать согласно заданию, пункт 4.1. Напряжение необходимо измерять цифровым вольтметром постоянного тока типа ВР – 11А или цифровым мультиметром АРРА – 201.Порядок работы с этими приборами приведен на стенде. Там же даны формулы для подсчета погрешностей цифровых приборов.

В данной лабораторной работе при измерениях используется метод непосредственного отсчета с прямыми однократными измерениями.

Точность прямых измерений оценивается определением абсолютной максимальной погрешности прибора. Для аналоговых показывающих приборов абсолютная погрешность определяется по формуле

$$\Delta A = \frac{A_m \cdot G}{100},$$

где A_m – верхний предел измерения прибора; G– класс точности прибора.

Для цифровых приборов выражение для определения абсолютной погрешности для каждого типа приборов различно и приведено на лабораторном стенде.

Результат измерения записывается в виде

$$A \pm \Delta A$$

где A – показание прибора.

При выполнении лабораторной работы в таблицу наблюдений записывать показания приборов.

ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

1. Перед сборкой схемы убедитесь в том, что стенд отключен от сети. Ручка пакетного выключателя при этом находится в положении «откл», а сигнальная лампа не горит.

2. Стенд включается только преподавателем или лаборантом после проверки схемы.

3. При измерениях не касаться оголенных токоведущих частей. Провода от измерительных приборов держать за изолированные части.

4. По окончании измерений выключить стенд.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Выбрать измерительные приборы. Для этого у преподавателя получить данные по напряжению источника и мощности ламп накаливания. Амперметр выбрать по максимальному току нагрузки.

2. Получить выбранные приборы у преподавателя и записать их технические характеристики, указав: наименование прибора, его марку, тип системы измерительного механизма, предел измерения, класс точности, заводской номер.

3. Собрать схему опыта и показать ее преподавателю для проверки.

4. При отключенной нагрузке (тумблеры S2÷S6 отключены) замерить напряжение источника в режиме холостого хода и записать в рабочую тетрадь ($U_{ИХХ}$).

5. Включить одну лампочку в нагрузке и произвести замеры тока в цепи I, напряжения на зажимах источника $U_И$, напряжения на нагрузке $U_Н$ и падение напряжения на активном сопротивлении $R_Л$ провода линии $\Delta U_{пров}$. Результаты наблюдений записать в табл.1.

Далее поочередно включать остальные лампы нагрузки, не выключая предыдущих, проводя каждый раз измерения тока и напряжения.

Таблица 1

Данные наблюдений				
№ п/п	I, A	$U_И$, B	$U_Н$, B	$\Delta U_{пров}$, B

Примечание: При измерении напряжения на проводе линии следует вольтметр переключить на меньший предел измерения.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

По данным наблюдений вычислить и записать в табл.2 следующие величины:

мощность развиваемую источником $P1 = I \cdot U_{ИХХ}$;

мощность отдаваемую источником $P_И = I \cdot U_И$;

потери мощности в источнике $\Delta P_{ВТ} = P1 - P_И$;

сопротивление одного провода линии $R_Л = \Delta U_{пров}/I$;

потерю напряжения в линии $\Delta U_Л\% = \dfrac{U_И - U_Л}{U_И} \cdot 100$;

потери мощности в линии $\Delta P_Л = 2R_Л \cdot I^2$;

мощность нагрузки $P_Н = I \cdot U_Н$;

КПД в цепи $\eta = \dfrac{P_н}{P1} = \dfrac{P1 - \sum \Delta P}{P1} = \left(1 - \dfrac{\sum \Delta P}{P1}\right)$,

где $\sum \Delta P = \Delta P_{вт} + \Delta P_л$.

Таблица 2

Результаты вычислений								
P1, Вт	$P_И$, Вт	$\Delta P_{ВТ}$, Вт	$\Delta U_Л$, %	$R_Л$, Ом	$\Delta P_Л$, Вт	$P_Н$, Вт	$\Sigma\Delta P$, Вт	η, %

По результатам наблюдений и вычислений построить на двух графиках следующие зависимости:

на первом $U_И(I)$; $U_Н(I)$; $\Delta U_Л(I)$;

на втором $\Sigma\Delta P(I)$; $P_Н(I)$; $\eta(I)$.

Составить уравнение баланса мощностей для исследуемой цепи и проверить его при максимальном токе.

Вычислить максимальную относительную погрешность измерения тока, напряжения, мощности, записать по одному значению указанных величин с оценкой погрешности.

СОДЕРЖАНИЕ И ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА ПО РАБОТЕ

Отчет оформляется каждым студентом на отдельном листе или в отдельной тетради. Отчет должен содержать название института, лабораторной работы, формулировку цели работы, схему опыта, перечень применяемых приборов и их характеристики, результаты наблюдений и вычислений: формулы, используемые при вычислениях, графики, выполненные на миллиметровой бумаге (или бумаге в клетку).

В отчете должны быть сведения по оценке точности измеряемых и вычисляемых величин.

В конце отчета делаются выводы по работе, в которых приводится анализ изменения каждой из зависимостей, приведенных на графике. В выводах по потере напряжения в линии дать заключение о пригодности линии для осветительной сети. Дать заключение о правильности применяемых приборов, учитывая, что при правильном применении прибора его стрелка должна показывать измеряемые значения во второй половине шкалы прибора.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Начертите простейшую электрическую цепь и напишите для нее закон Ома, уравнение равновесия напряжений, уравнение баланса мощностей.

2. От каких величин зависит сопротивление проводов?

3. Написать уравнение баланса мощностей для простейшей цепи, дать ему анализ.

4. При каком условии цепь работает в согласованном режиме? Каковы достоинства и недостатки этого режима? Где он применяется?

5. Каковы допустимые значения потери напряжения в линии при осветительной нагрузке?

6. Какими способами можно снизить потери напряжения в линии?

7. Написать формулы энергии и мощности в цепи постоянного тока и указать единицы их измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богданов, В. В. Электротехника : учебное пособие / В. В. Богданов, О. Б. Давыденко, Н. П. Савин, А. В. Сапсалев. - Новосибирск : НГТУ, 2019. - 148 с. - ISBN 978-5-7782-3954-8. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785778239548.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа: по подписке.
2. Ермуратский, П. В. Электротехника и электроника / П. В. Ермуратский, Г. П. Лычкина, Ю. Б. Минкин. - Москва : ДМК Пресс, 2013. - 416 с. - ISBN 978-5-94074-894-6. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785940748946.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
3. Клепча, В. Ф. Электротехника. Лабораторный практикум : учеб. пособие / В. Ф. Клепча- 3-е изд. , стер. - Минск : РИПО, 2019. - 179 с. - ISBN 978-985-503-867-3. - Текст : электронный // ЭБС "Консультант студента" : [сайт]. - URL : https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9789855038673.html (дата обращения: 15.09.2023). - Режим доступа : по подписке.
4. Марченко, А. Л. Электротехника : учебное пособие / А. Л. Марченко. — Москва : ИНФРА-М, 2022. — 236 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-017056-5. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1587594 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
5. Электротехника. В примерах и задачах : учебное пособие / Е. И. Алгазин, В. В. Богданов, А. В. Сапсалев [и др.] ; под общ. ред. Е. И. Алгазина. - Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2020. - 128 с. - ISBN 978-5-

7782-4287-6. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/1869119 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
6. Гальперин, М. В. Электротехника и электроника : учебник / М.В. Гальперин. — 2-е изд. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2023. — 480 с. — (Высшее образование). - ISBN 978-5-00091-779-4. - Текст : электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/2030904 (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа: по подписке.
7. Маркелов, С. Н. Электротехника и электроника : учебное пособие / С. Н. Маркелов, Б. Я. Сазанов. — Москва : ИНФРА-М, 2020. — 267 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-014451-1. - Текст: электронный. - URL: https://znanium.com/catalog/product/982772 (дата обращения: 18.09.2023). – Режим доступа: по подписке.

Методические указания составил _____/А.С. Мостовой/