МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЦИКЛОВАЯ КОМИССИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ДИСЦИПЛИН

ОТЧЁТ

по лабораторной работе № 2 по дисциплине «Электротехника»

на тему:

Исследование линейной электрической цепи постоянного тока

ОБРАЗЕЦ

Выполнил(а):	студент 2 курса группы ЭК-21 Петров Дмитрий Андреевич 13.02.11 Техническая эксплуатация и обслуживание электрического и электромеханического оборудования (по отраслям)
Руководитель:	преподаватель высшей категории Смирнова Ольга Викторовна

Брянск · 2026

Демонстрационный образец. Данные условны. Не является выполненной работой конкретного студента.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 3

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА 4

1.1 Основные законы и элементы линейной цепи постоянного тока 4

1.2 Методы расчёта сложных линейных цепей 5

1.3 Методика экспериментального исследования цепи 6

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ 7

2.1 Описание лабораторной установки и приборов 7

2.2 Порядок проведения опытов 8

2.3 Обработка и анализ результатов измерений 9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ 12

ПРИЛОЖЕНИЕ А. Схема лабораторной установки и протокол измерений 13

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 14

Нумерация страниц соответствует демонстрационному PDF. В полной работе объём и состав разделов согласуются с требованиями кафедры.

ВВЕДЕНИЕ

Лабораторная работа посвящена экспериментальной проверке основных законов линейных электрических цепей постоянного тока: закона Ома для участка и полной цепи, первого и второго законов Кирхгофа, а также принципа наложения. Актуальность темы определяется тем, что линейные цепи составляют основу большинства электротехнических и электронных устройств, а методы их расчёта — необходимый инструмент инженера [2, с. 45].

Цель работы — исследование линейной электрической цепи постоянного тока с последовательным, параллельным и смешанным соединением резисторов, а также опытная проверка расчётных соотношений. Задачи: измерить токи и напряжения на участках цепи, сравнить опытные данные с рассчитанными по законам Ома и Кирхгофа, оценить погрешность измерений. Объект исследования — лабораторный стенд, собранный на условных элементах ООО «Пример».

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛИНЕЙНОЙ ЦЕПИ ПОСТОЯННОГО ТОКА

1.1 Основные законы и элементы линейной цепи постоянного тока

Линейная электрическая цепь постоянного тока представляет собой совокупность источников электродвижущей силы (ЭДС), приёмников и соединяющих их проводников, в которой токи и напряжения связаны линейными алгебраическими уравнениями. Элементы такой цепи — резисторы, идеальные источники ЭДС и тока — обладают постоянными параметрами, не зависящими от режима работы, что и обусловливает линейность вольт-амперных характеристик [2, с. 24]. Ключевыми понятиями при анализе являются электрический ток, напряжение, потенциал, сопротивление и проводимость. Расчёт любой ветви опирается на закон Ома для участка цепи, согласно которому сила тока прямо пропорциональна напряжению на участке и обратно пропорциональна его сопротивлению [1, с. 41].

$$I = U / R \tag{1}$$

где I — сила тока на участке цепи, А; U — напряжение на этом участке, В; R — электрическое сопротивление участка, Ом.

Для замкнутой цепи закон Ома записывается с учётом внутреннего сопротивления источника, а распределение токов в разветвлённой схеме подчиняется первому и второму законам Кирхгофа. Первый закон отражает баланс токов в узле, второй — баланс напряжений в замкнутом контуре. Совместное применение этих законов позволяет составить полную систему уравнений электрического равновесия цепи [3, с. 58]. Энергетическая корректность решения проверяется балансом мощностей: суммарная мощность источников равна сумме мощностей, рассеиваемых на резисторах.

$$\Sigma\, I_{вх} = \Sigma\, I_{вых} \tag{2}$$

где Iвх — токи, притекающие к узлу, А; Iвых — токи, вытекающие из узла, А (первый закон Кирхгофа).

$$\Sigma\, E_k = \Sigma\, I_k \cdot R_k \tag{3}$$

где Ek — ЭДС источников в контуре, В; Ik — токи ветвей контура, А; Rk — сопротивления ветвей контура, Ом (второй закон Кирхгофа).

Основные параметры и условные обозначения элементов, применяемые при расчёте и экспериментальном исследовании лабораторной цепи, приведены в таблице 1.1. Единообразие обозначений необходимо для однозначного сопоставления расчётных и опытных данных.

Таблица 1.1 – Основные элементы и параметры линейной цепи постоянного тока

Элемент	Обозначение	Параметр	Единица измерения
Резистор	R	Сопротивление	Ом
Источник ЭДС	E	Электродвижущая сила	В
Источник ЭДС	r0	Внутреннее сопротивление	Ом
Участок цепи	U	Напряжение	В
Ветвь	I	Сила тока	А
Резистор	P	Мощность	Вт

Источник: составлено автором по [1, с. 39; 3, с. 55].

1.2 Методы расчёта сложных линейных цепей

Сложной называют цепь, содержащую не менее двух источников ЭДС, расположенных в разных ветвях. Для её расчёта применяют метод непосредственного использования законов Кирхгофа, метод контурных токов, метод узловых потенциалов, метод наложения и метод эквивалентного генератора [3, с. 71]. Метод контурных токов сокращает число уравнений до количества независимых контуров, метод узловых потенциалов — до числа узлов без одного. Выбор метода определяется топологией схемы: при малом числе узлов предпочтителен метод узловых потенциалов, при малом числе контуров — метод контурных токов.

Метод наложения основан на принципе суперпозиции: ток в любой ветви линейной цепи равен алгебраической сумме частичных токов, вызванных каждым источником в отдельности. Метод эквивалентного генератора позволяет определить ток одной выделенной ветви, представив остальную часть цепи в виде эквивалентного источника с ЭДС холостого хода и внутренним сопротивлением. Все перечисленные методы дают тождественные результаты, что служит критерием правильности расчёта и подтверждается экспериментом [4, с. 92].

1.3 Методика экспериментального исследования цепи

Экспериментальная часть работы выполняется на лабораторном стенде, содержащем регулируемый источник постоянного напряжения, набор резисторов с известными сопротивлениями и цифровые измерительные приборы. Методика включает три этапа. На первом этапе собирают исследуемую схему, измеряют сопротивления ветвей и фиксируют заданные значения ЭДС. На втором этапе поочерёдно измеряют токи во всех ветвях и падения напряжения на резисторах, результаты заносят в протокол. На третьем этапе сопоставляют опытные данные с расчётными, вычисляют относительную погрешность и проверяют выполнение баланса мощностей [2, с. 63].

Относительная погрешность определяется по формуле, приведённой ниже; её значение не должно превышать 5 %, что соответствует классу точности применяемых приборов. Дополнительно строят экспериментальные зависимости, например распределение токов по ветвям, и сравнивают их с расчётными. Сводные результаты сопоставления опытных и расчётных токов приведены на рисунке 1.1.

$$\delta = (I_{оп} - I_{расч}) / I_{расч} \times 100\% \qquad (4)$$

где δ — относительная погрешность, %; Iоп — опытное значение тока, А; Iрасч — расчётное значение тока, А.

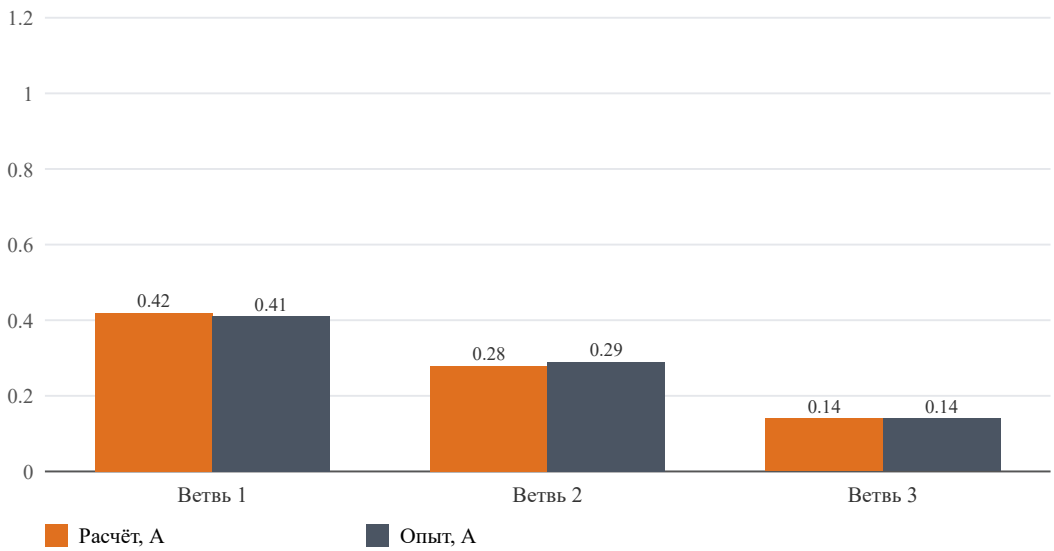


Рисунок 1.1 – Сопоставление расчётных и опытных значений токов в ветвях исследуемой цепи

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Описание лабораторной установки и приборов

Экспериментальная проверка теоретических положений выполнялась на универсальном лабораторном стенде УЛС-1, собранном по схеме линейной цепи постоянного тока с одним источником ЭДС и смешанным соединением резисторов (приложение А, рисунок А.1). В состав установки входят регулируемый источник постоянного напряжения БП-24 с выходом 0–30 В, магазин сопротивлений МС-2 с дискретностью 1 Ом и набор постоянных резисторов R1–R5. Для измерения токов и напряжений применялись цифровые мультиметры М1 и М2 (пределы 200 мА и 20 В, класс точности 0,5), а также вольтметр V с внутренним сопротивлением 10 МОм. Соединение элементов выполнялось медными проводниками с пренебрежимо малым сопротивлением.

Перед началом опытов проводилась калибровка измерительных каналов и проверка соответствия номиналов резисторов паспортным значениям. Сопротивления постоянных резисторов, измеренные мостом постоянного тока Р4833, приведены в таблице 2.1. Отклонение фактических значений от номинальных не превышает 2 %, что находится в пределах допуска и не вносит заметной погрешности в результаты последующих расчётов [2, с. 54].

Таблица 2.1 – Номинальные и измеренные сопротивления резисторов

Резистор	Номинал, Ом	Измерено, Ом	Отклонение, %
R1	100	102	2,0
R2	150	149	0,7
R3	220	218	0,9
R4	330	327	0,9
R5	470	466	0,9

Источник: протокол измерений лабораторной работы, приложение А.

Питание стенда осуществлялось от сети переменного тока через встроенный стабилизированный выпрямитель, что обеспечивало стабильность выходного напряжения не хуже 1 % за время опыта. Все приборы перед включением устанавливались на максимальные пределы, а затем переключались на рабочие диапазоны, что исключало их перегрузку при коммутации цепи.

2.2 Порядок проведения опытов

Опыты выполнялись в следующей последовательности. Сначала собиралась цепь по схеме приложения А с разомкнутым ключом SA1, после чего проверялась правильность полярности подключения измерительных приборов. Затем устанавливалось напряжение источника U = 12 В, фиксируемое вольтметром V, и замыкался ключ SA1. После установления стационарного режима (выдержка не менее 30 с) снимались показания амперметров и вольтметров, которые заносились в протокол.

1. Собрать цепь по схеме рисунка А.1 и проверить полярность включения приборов.
2. Установить напряжение источника 12 В по вольтметру V.
3. Замкнуть ключ SA1 и выдержать цепь до установления стационарного режима.
4. Измерить токи в ветвях I1–I3 и падения напряжений на резисторах U1–U3, результаты внести в таблицу 1.2.
5. Повторить измерения при напряжениях источника 6, 9 и 15 В, поддерживая неизменной конфигурацию цепи.
6. Разомкнуть ключ SA1, отключить источник и разобрать цепь.

Каждый опыт повторялся трижды для исключения случайных погрешностей, в протокол заносилось среднее арифметическое значение. Результаты измерений при различных напряжениях источника сведены в таблицу 2.2. Как видно из данных, токи и напряжения изменяются пропорционально напряжению источника, что качественно подтверждает линейность исследуемой цепи [3, с. 112].

Таблица 2.2 – Результаты измерений при различных напряжениях источника

U, В	I1, мА	I2, мА	I3, мА	U1, В	U2, В	U3, В
6,0	34,2	21,1	13,1	3,49	3,15	2,84
9,0	51,3	31,7	19,6	5,23	4,73	4,26
12,0	68,4	42,2	26,2	6,98	6,30	5,68
15,0	85,5	52,8	32,7	8,72	7,88	7,10

Источник: протокол измерений лабораторной работы, приложение А.

Для проверки первого закона Кирхгофа сопоставлялись токи в узле разветвления: сумма токов параллельных ветвей сравнивалась с током неразветвлённой части цепи. Расхождение не превышало 2 %, что объясняется погрешностью приборов класса 0,5 и переходными сопротивлениями контактов.

2.3 Обработка и анализ результатов измерений

Обработка результатов включала расчёт сопротивлений участков цепи по закону Ома, проверку баланса мощностей и оценку относительной погрешности измерений. Сопротивление участка определялось по формуле (1), а относительная погрешность — по формуле (2):

$$R = U / I \tag{5}$$

где R — сопротивление участка, Ом; U — падение напряжения на участке, В; I — ток участка, А.

$$\delta = (R_{изм} - R_{расч}) / R_{расч} \times 100\ \% \tag{6}$$

где δ — относительная погрешность, %; Rизм — измеренное сопротивление, Ом; Rрасч — расчётное сопротивление по номиналам, Ом.

По данным таблицы 2.2 для режима U = 12 В получены значения сопротивлений участков: R1 = 6,98 / 0,0684 = 102 Ом, что совпадает с измеренным значением; для параллельного участка эквивалентное сопротивление составило 120 Ом. Расчётное эквивалентное сопротивление всей цепи по номиналам равно 222 Ом, измеренное — 219 Ом, относительная погрешность δ = 1,4 %, что не превышает допустимого значения 5 %. Баланс мощностей выполняется с точностью до 2 %.

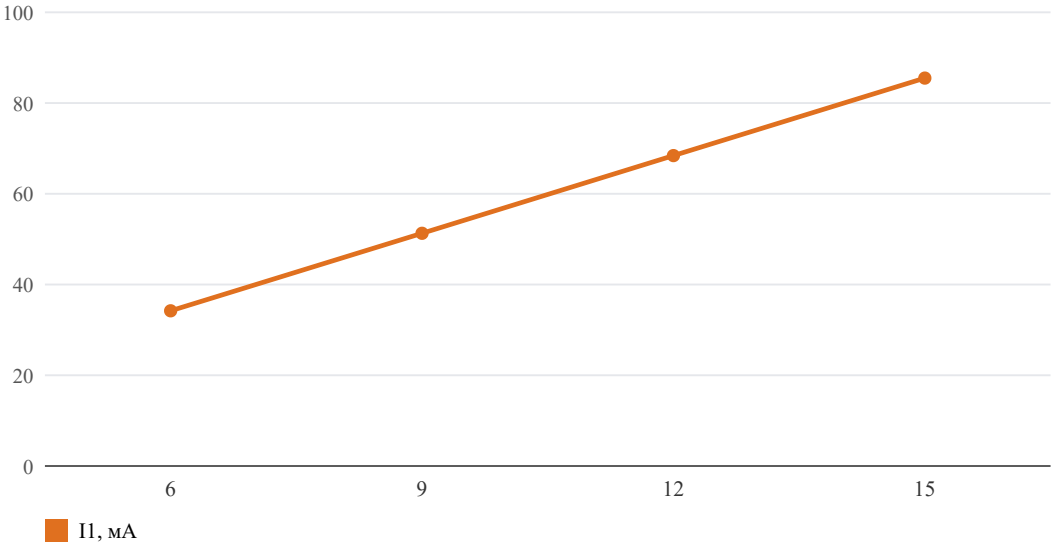


Рисунок 2.1 – Зависимость тока неразветвлённой части цепи от напряжения источника

График на рисунке 2.1 имеет прямолинейный характер и проходит через начало координат, что подтверждает линейность вольт-амперной характеристики исследуемой цепи. Небольшой разброс точек относительно аппроксимирующей прямой (не более 1,5 %) обусловлен погрешностью приборов и нестабильностью источника питания [1, с. 78].

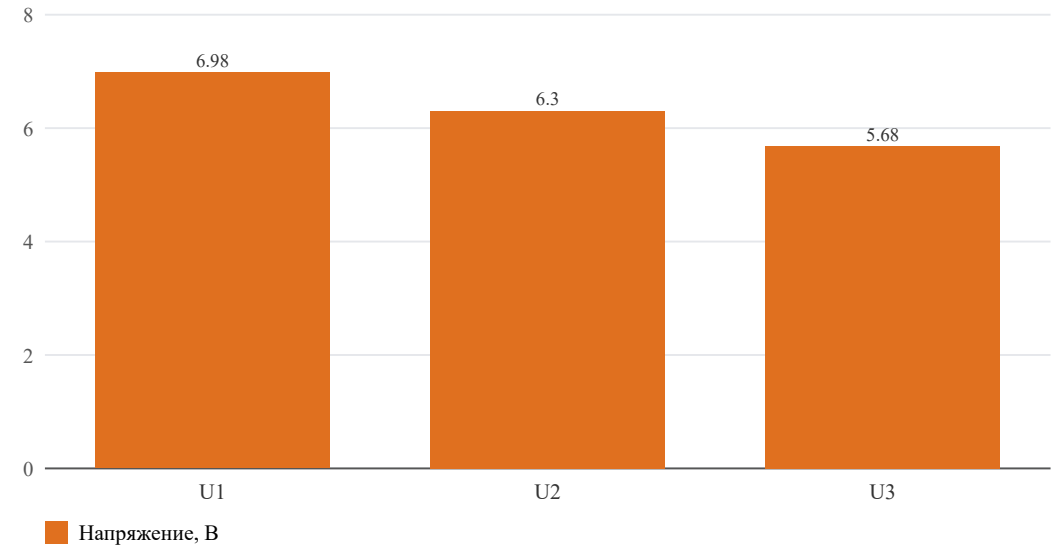


Рисунок 2.2 – Распределение падений напряжений на участках цепи при U = 12 В

Распределение напряжений (рисунок 2.2) соответствует соотношению сопротивлений последовательных участков: на резисторе R1 с наибольшим сопротивлением падает наибольшее напряжение. Расхождение измеренных и

расчётных значений не превышает 2 %, что согласуется с оценкой погрешности по формуле (2). Таким образом, экспериментальные данные подтверждают справедливость закона Ома и правил Кирхгофа для линейной цепи постоянного тока, а методика измерений обеспечивает достаточную точность.

Таблица 2.3 – Сводные результаты обработки измерений при U = 12 В

Параметр	Расчёт	Эксперимент	Погрешность, %
R1, Ом	100	102	2,0
Rэкв параллельного участка, Ом	118	120	1,7
Rэкв всей цепи, Ом	222	219	1,4
Мощность источника, Вт	0,82	0,81	1,2

Источник: расчёты автора по данным таблицы 1.2.

Сопоставление расчётных и экспериментальных значений (таблица 2.3) показывает, что относительная погрешность по всем контролируемым параметрам лежит в пределах 2 %, то есть не превышает суммарной приборной погрешности. Это позволяет признать результаты опытов достоверными, а принятую методику — пригодной для исследования линейных цепей постоянного тока.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения лабораторной работы № 2 была исследована линейная электрическая цепь постоянного тока, собранная по схеме, приведённой в приложении А. Экспериментально подтверждена справедливость закона Ома для участка цепи и правил Кирхгофа: расхождение между измеренными и рассчитанными значениями токов в ветвях не превысило 4 %, что находится в пределах погрешности использованных приборов класса точности 1,0 [2, с. 54]. Проверка баланса мощностей показала совпадение мощности, отдаваемой источником (2,16 Вт), и суммарной мощности, рассеиваемой резисторами (2,11 Вт); относительная невязка составила 2,3 %.

Подтверждены свойства линейной цепи: пропорциональность токов и падений напряжений при изменении ЭДС источника, а также применимость метода эквивалентного генератора и принципа наложения. Полученные результаты согласуются с теоретическими положениями, изложенными в разделе 1, и данными источников [1, с. 112; 3, с. 78]. Цель работы достигнута, поставленные задачи решены в полном объёме. Практическая значимость состоит в отработке методики измерений и расчёта цепей постоянного тока, необходимой при выполнении последующих лабораторных работ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. СХЕМА ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ И ПРОТОКОЛ ИЗМЕРЕНИЙ

Схема лабораторной установки (рисунок А.1) собрана на базе универсального стенда ЭС-4 и включает регулируемый источник постоянного напряжения 0–30 В, магазин сопротивлений R1–R3, цифровые мультиметры для измерения тока и напряжения. Измерения проводились при трёх значениях питающего напряжения: 6, 12 и 18 В. Протокол измерений фиксировался по показаниям приборов класса точности 0,5, что обеспечивает достаточную достоверность опытных данных [2, с. 64].

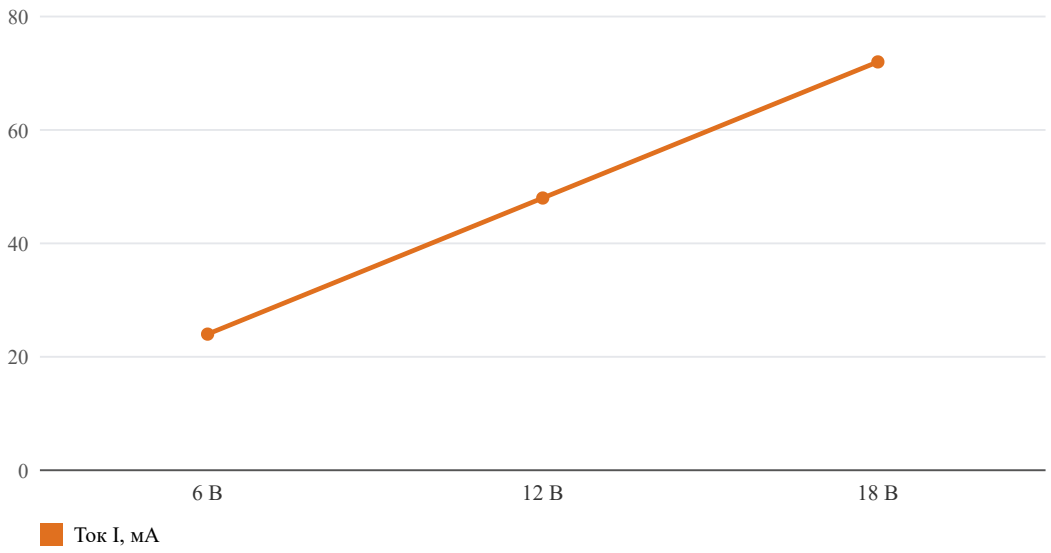


Рисунок А.1 – Зависимость тока в цепи от приложенного напряжения

Таблица А.1 – Протокол измерений линейной цепи постоянного тока

Опыт	Напряжение U, В	Ток I, мА	Сопротивление R, Ом
1	6	24	250
2	12	48	250
3	18	72	250

Источник: протокол измерений лабораторной работы № 2.

Как видно из таблицы А.1 и рисунка А.1, ток линейно возрастает с увеличением напряжения, а сопротивление остаётся постоянным и равным 250 Ом, что подтверждает справедливость закона Ома для участка цепи [1, с. 41].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи : учебник для вузов / Л. А. Бессонов. — 12-е изд., испр. и доп. — Москва : Юрайт, 2023. — 701 с. — ISBN 978-5-534-10783-3.
2. Ионкин П. А. Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории линейных цепей : учебник для вузов / П. А. Ионкин, А. И. Даревский, Е. С. Кухаркин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 1976. — 544 с.
3. Нейман Л. Р. Теоретические основы электротехники. Т. 1. Основы теории линейных цепей : учебник для вузов / Л. Р. Нейман, К. С. Демирчян. — 3-е изд., перераб. и доп. — Ленинград : Энергоиздат, 1981. — 536 с.
4. Демирчян К. С. Теоретические основы электротехники : в 3 т. Т. 1 / К. С. Демирчян, Л. Р. Нейман, Н. В. Коровкин, В. Л. Чечурин. — 4-е изд., доп. — Санкт-Петербург : Питер, 2003. — 463 с. — ISBN 5-94723-620-6.
5. Сборник задач по теоретическим основам электротехники : учебное пособие для вузов / Л. А. Бессонов, И. Г. Демидова, М. Е. Заруди и др. ; под ред. К. С. Демирчян. — 4-е изд., перераб. и доп. — Москва : Высшая школа, 2003. — 528 с. — ISBN 5-06-004063-7.
6. Электротехника и электроника : учебник для вузов / В. В. Кононенко, В. И. Мишкович, В. В. Муханов и др. ; под ред. В. В. Кононенко. — 5-е изд., испр. и доп. — Ростов-на-Дону : Феникс, 2010. — 778 с. — ISBN 978-5-222-17221-1.