

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ЛЭТИ» ИМ. В.И. УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА)
Кафедра ТОЭ

ОТЧЕТ
по лабораторной работе №2
по дисциплине «Математические основы электротехники»
Тема: Исследование линейных резистивных цепей

Студент гр. 8383, ФКТИ

Киреев К.А.

Преподаватель

Портной М.С.

Санкт-Петербург

2020

Цель работы

Экспериментальное исследование линейных разветвленных резистивных цепей с использованием методов наложения, эквивалентного источника и принципа взаимности.

Основные теоретические положения

В работе анализируют резистивную цепь с источниками постоянного напряжения U и тока I (рис. 1).

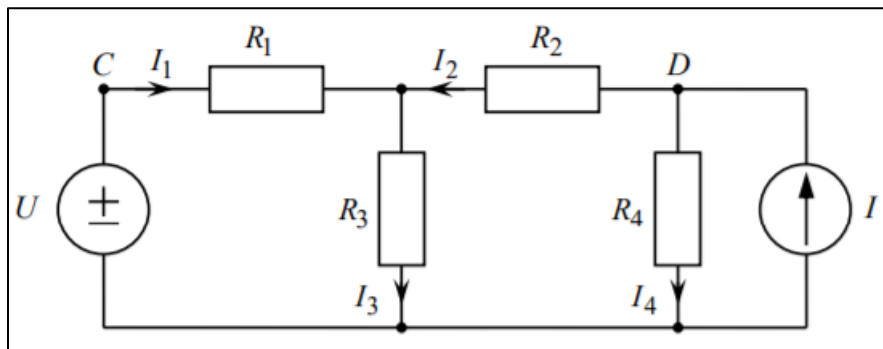


Рисунок 1 – Исследуемая цепь

Для определения токов и напряжений ветвей используют некоторые методы анализа сложных цепей.

Метод наложения. Реакцию цепи на действие нескольких источников определяют как алгебраическую сумму реакций на действие каждого источника в отдельности.

Метод эквивалентного источника напряжения. По отношению к одной из ветвей линейную цепь с несколькими источниками можно представить одним эквивалентным ИН U_0 с последовательно соединенным сопротивлением R_0 .

Принцип взаимности. Если ИН (единственный в цепи), действуя в одной ветви линейной электрической цепи, вызывает ток в другой ветви, то тот же источник после его переноса во вторую ветвь вызовет в первой ветви такой же ток.

Обработка результатов эксперимента

2.2.1 Исследование цепи при питании её от двух источников

Для выполнения лабораторной работы была собрана схема, изображенная на рис. 2.

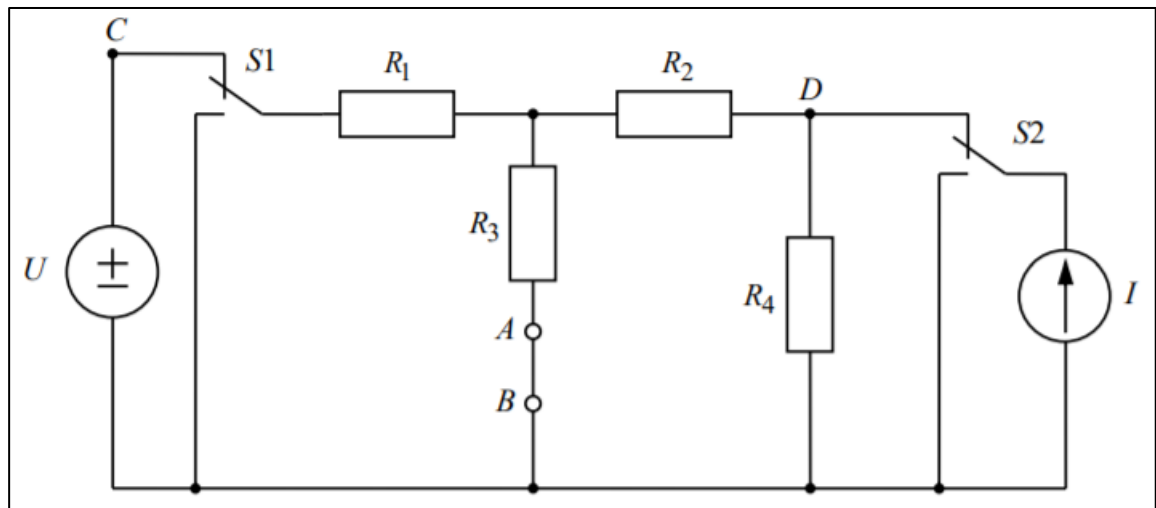


Рисунок 2 – Схема для исследования цепи при питании её от двух источников

Данные, полученные в ходе эксперимента занесены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – U и I всех ветвей цепи

$U, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_4, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$I_4, \text{мА}$
2,0	0,36	0,48	1,6	2,09	1,06	0,23	0,32	0,55	0,72

Произведём расчёт схемы методом Кирхгофа.

Экспериментальный расчёт:

ЗНК:

$$\begin{cases} -U + U_1 + U_3 = 0 \\ -U_3 - U_2 + U_4 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -2,0 + 0,36 + 1,6 = -0,04 \approx 0 \\ -1,6 - 0,48 + 2,09 = 0,01 \approx 0 \end{cases}$$

ЗТК:

$$\begin{cases} I_1 + I_2 - I_3 = 0 \\ I_2 - I + I_4 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} 0,23 + 0,32 - 0,55 = 0 \\ 0,32 - 1,06 + 0,72 = -0,02 \approx 0 \end{cases}$$

Законы напряжения и тока Кирхгофа выполняются.

Теоретический расчёт.

Дано: $U = 2\text{В}$, $I \cong 1\text{ мА}$, $R_1 = R_2 = 1,5\text{ кОм}$, $R_3 = R_4 = 3\text{ кОм}$.

ЗНК:

$$\begin{cases} -U + I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0 \\ -I_3 R_3 - I_2 R_2 + I_4 R_4 = 0 \end{cases}$$

ЗТК:

$$\begin{cases} I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ I_2 - I + I_4 = 0 \end{cases}$$

Закон Ома:

$$\begin{cases} U_1 = I_1 R_1 \\ U_2 = I_2 R_2 \\ U_3 = I_3 R_3 \\ U_4 = I_4 R_4 \end{cases}$$

На основании ЗТК и ЗНК получаем систему уравнений:

$$\begin{cases} -U + I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0 \\ -I_3 R_3 - I_2 R_2 + I_4 R_4 = 0 \\ I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ -I_2 + I - I_4 = 0 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} -2 + 1500I_1 + 3000I_3 = 0 \\ -3000I_3 - 1500I_2 + 3000I_4 = 0 \\ I_1 - I_2 - I_3 = 0 \\ -I_2 + 0,001 - I_4 = 0 \end{cases}$$

Решая её и применяя закон Ома, получаем следующее:

Таблица 2.1.2 – Сравнение полученных значений

	$U, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_4, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$I_4, \text{мА}$
Э - мент	2,0	0,36	0,48	1,6	2,09	1,06	0,23	0,32	0,55	0,72
Теория	2,0	0,358	0,462	1,624	2,097	1,03	0,242	0,312	0,546	0,698

2.2.2. Определение токов цепи методом наложения

В результате проведения двух опытов (при подключении к цепи только ИН и только ИТ, рис. 3) были получены значения, представленные в табл.

2.2.

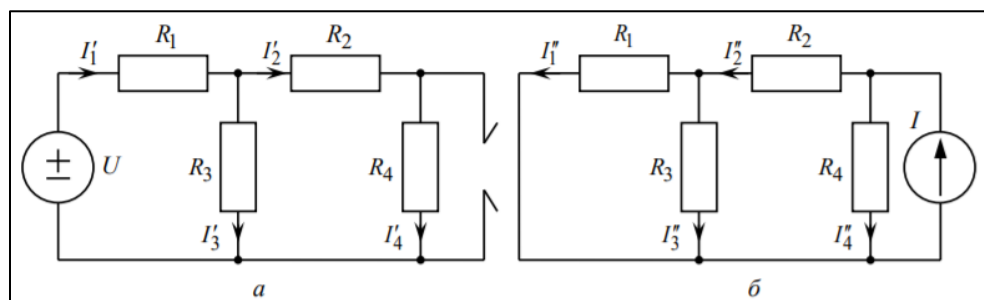


Рисунок 3 – Схема для исследования цепи при подключении только ИН (а)
или только ИТ (б)

Таблица 2.2 – Результаты измерений

Включены источники	I_1 , мА	I_2 , мА	I_3 , мА	I_4 , мА
U	0,59	0,23	0,35	0,23
I	0,36	0,53	0,19	0,47
U, I	0,23	0,30	0,54	0,70

Согласно методу наложения, получаем:

$$\begin{cases} I_1 = I_1' - I_1'' \\ I_2 = I_2'' - I_2' \\ I_3 = I_3' + I_3'' \\ I_4 = I_4' + I_4'' \end{cases}$$

Полученные результаты записаны в четвёртую строку табл. 2.2. Все значения взяты по модулю.

Значения, полученные методом наложения с учётом погрешностей, сходятся со значениями, полученными в 2.2.1.

2.2.3 Определение тока в ветви с сопротивлением R_3 методом эквивалентного источника напряжения

Для первого опыта была собрана схема, представленная на рис. 4

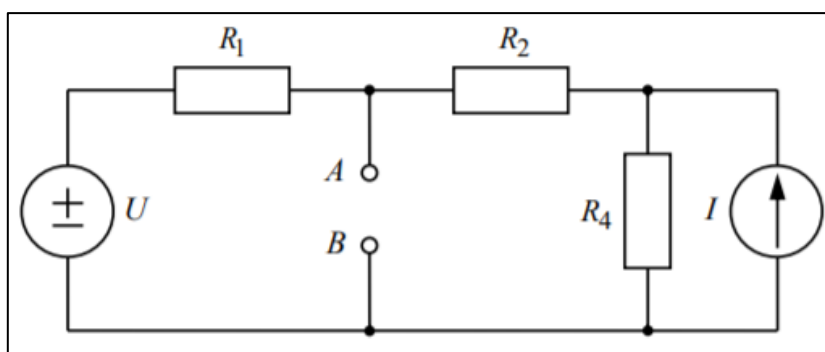


Рисунок 4 – Схема для исследования цепи при разомкнутых зажимах А, В
 Для второго опыта была собрана схема, представленная на рис. 5

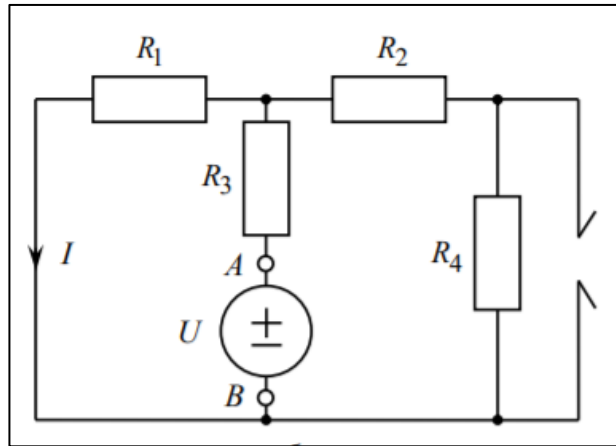
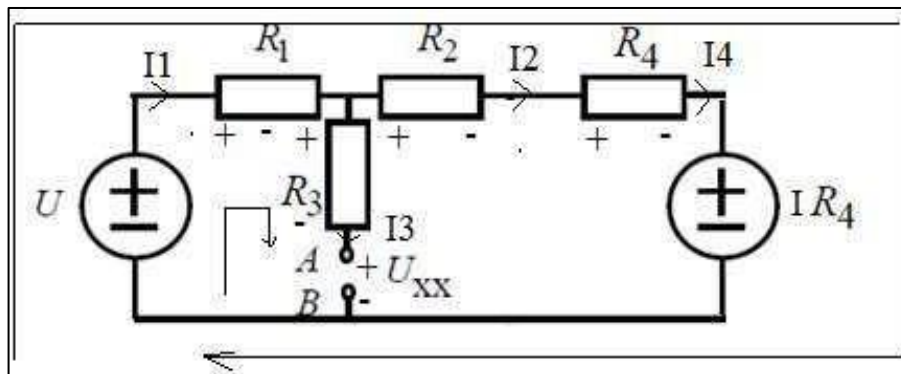


Рисунок 5 – Схема для исследования цепи при разомкнутых зажимах А, В
Напряжение $U_0 = 2,22 \text{ В}$.

Ток $I_3 = 0,54 \text{ мА}$.

Теоретический расчёт методом эквивалентного источника.

Изменим схему, представленную на рис.4 следующим образом:



$I_3 = 0$ (так как XX), тогда по ЗТК $I_1 = I_2 = I_4$.

- По ЗНК:

$$I_1 = \frac{U - I R_4}{R_1 + R_2 + R_4} = \frac{2,0 - 0,001 \cdot 3000}{1500 + 1500 + 3000} = -0,167 \text{ мА}.$$

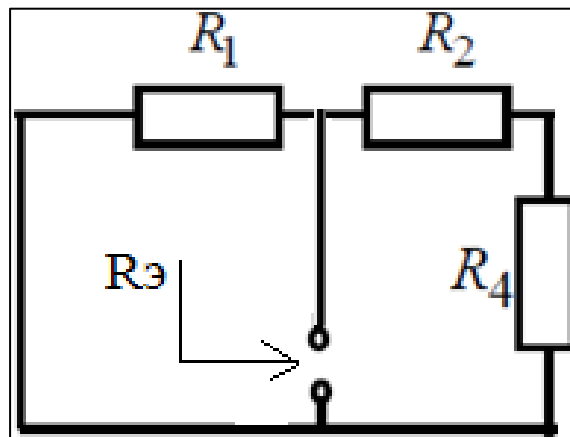
- По ЗНК:

$$-U + I_1 R_1 + I_3 R_3 + U_{xx} = 0$$

$$U_{xx} = U - I_1 R_1 - I_3 R_3 = 2,0 + 0,000167 \cdot 1500 - 0 \cdot 3000 = 2,25 \text{ В}.$$

Полученное значение (2,25 В) с погрешностью совпадает с U_0 (2,22 В).

Для определения эквивалентного сопротивления потребуется следующая схема:



$$R_3 = \frac{(R_2 + R_4)R_1}{R_2 + R_1 + R_4} = \frac{(1500 + 3000) \cdot 1500}{1500 + 1500 + 3000} = 1125 \text{ Ом.}$$

$$I_3 = \frac{U_{xx}}{R_3 + R_3} = \frac{2,25}{3000 + 1125} = 0,546 \text{ мА.}$$

Теоретический расчёт тока I_3 методом эквивалентного источника напряжения с учётом погрешности (0,546 мА) сходится со значением I_3 (0,54 мА) произведённого в 2.2.1 и экспериментального значения.

2.2.4. Экспериментальная проверка принципа взаимности

Для эксперимента были собраны схемы, изображённые на рис.6

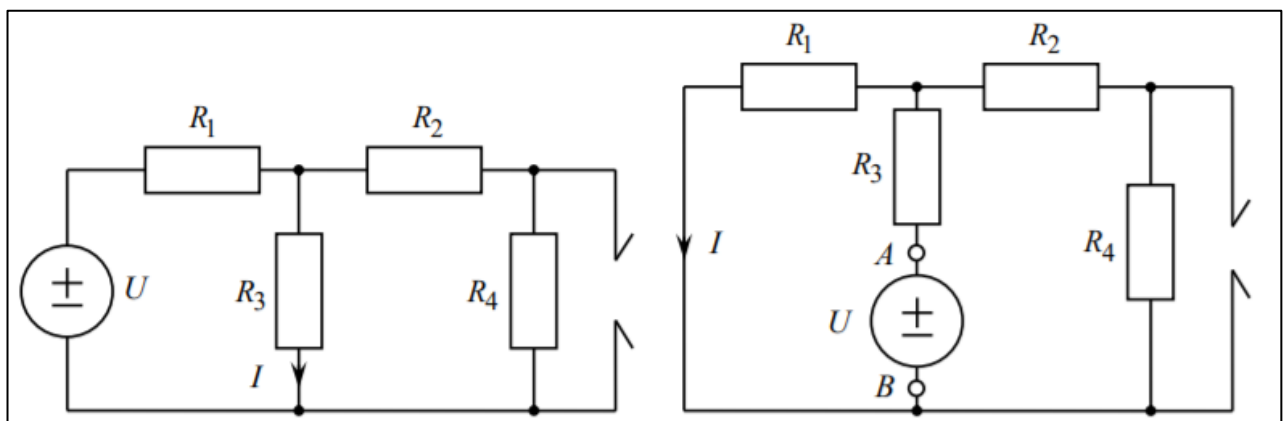


Рисунок 6 – Схема для проверки принципа взаимности

$$I_3 = 0,36 \text{ мА}, \quad I_1 = 0,36 \text{ мА.}$$

Полученные результаты подтверждают выполнение принципа взаимности.

Выводы

В процессе выполнения лабораторной работы была исследована линейная разветвленная резистивная цепь с использованием методов наложения, эквивалентного источника и принципа взаимности. Полученные данные полностью совпали с экспериментом.

Ответы на вопросы:

1. Каковы результаты контроля данных в 2.2.1?

Результаты контроля: законы Кирхгофа верны, равенство с учётом погрешностей выполняется.

2. Изменяются ли токи ветвей, если одновременно изменить полярность напряжения ИН и направление тока ИТ на противоположные?

Нет, изменится только их знак.

3. Чему равно напряжение между узлами “С” и “D” цепи?

$$U_{CD} = U_1 - U_2 = 0,36\text{В} - 0,48\text{В} = -0,12\text{В}.$$

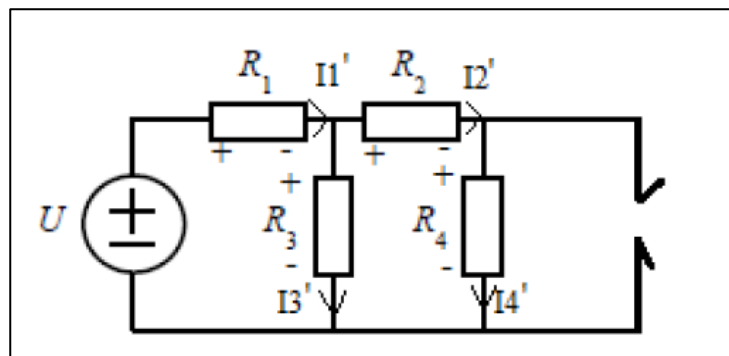
4. Как изменить напряжение ИН, чтобы ток I_1 стал равен нулю?

Уменьшить на 0,812 В:

$$R_{234} = \frac{(R_2 + R_4)R_3}{R_2 + R_4 + R_3} = \frac{(1500 + 3000) \cdot 3000}{3000 + 1500 + 3000} = 1800 \text{ Ом},$$

$$I_1 = \frac{U'}{R_1 + R_{234}} \rightarrow U' = I_1(R_1 + R_{234}) = 0,36\text{мА} \cdot (1500 \text{ Ом} + 1800 \text{ Ом}) = 1,188\text{В}.$$

$$\Delta U = U' - U = 1,188 \text{ В} - 2,000 \text{ В} = -0,812 \text{ В}.$$



5. Почему рис. 5 при $U = U_0$ реализует схему метода эквивалентного источника напряжения?

По формуле для эквивалентного источника: $I_3 = \frac{U_0}{R_3 + R_9}$,

где R_9 – оставшаяся часть цепи без сопротивления R_3 .

Поэтому, если $U_0 = U_{xx}$, получается обычная резистивная схема с одним источником.

6. Чему будет равен ток I_1 , если ИН поместить в ветвь 4, а ИТ отключить?

По принципу взаимности: исходный ток $I_4 = 0,72$ мА, при перемещении ИН в ветвь 4: $I_1 = 0,72$ мА.

7. Как проконтролировать результаты экспериментов в 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4?

Результаты 2.2.2 сравниваются с измеренными в 2.2.1. Результаты 2.2.3 также сравниваются с 2.2.1 и с теоретическими значениями. Результаты 2.2.4 проверяются по принципу взаимности.

2.21

Промокел к л/р №2
Исследование линейных резистивных цепей

$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$I, мА$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$I_4, мА$
2	0,36	0,48	1,6	2,09	1,06	1,05 0,23	0,32	0,55	0,72

2.22

Включены источники	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$I_4, мА$
U	0,59	0,23	0,35	0,23
I	0,36	0,53	0,19	0,47
U, I				

2.23

$$U_0 = 2,22 В$$

$$I_3 = 0,54 мА$$

2.24

$$U = 2 В$$

$$I_3 = 0,36 мА$$

$$I_1 = 0,88 мА \quad 0,36 мА$$

Ракуршет КТУ

Группа 83 83

Выполнил:

Муровский Д.В. *Муровский*

Куреев К.А. *Куреев*

Ком 23.09.2020