

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  
**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ “ЛЭТИ” ИМ. В. И.**  
**УЛЬЯНОВА (ЛЕНИНА) (СПБГЭТУ «ЛЭТИ»)**

**Кафедра теоретических основ электротехники**

**Отчет**  
**по лабораторной работе №2**  
**по дисциплине “МОЭ”**  
**Тема: “ИССЛЕДОВАНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РЕЗИСТИВНЫХ ЦЕПЕЙ”**

Студент гр.8382

\_\_\_\_\_

Мирончик П.Д.

Преподаватель

\_\_\_\_\_

Зубарев А.В.

Санкт-Петербург

2020

Протокол измерений  
Лабораторная работа N 2

"Исследование линейных резистивных цепей"

Таблица 1 - Исследование цепи при изменении ее с двух источников

$U, В$	$U_1, В$	$U_2, В$	$U_3, В$	$U_4, В$	$I, мА$	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$I_4, мА$
2.00	0.36	0.49	1.60	2.10	1.07	0.23	0.32	0.56	0.73

Таблица 2 - Определение токов цепи методом наложения

Рез. вет.	$I_1, мА$	$I_2, мА$	$I_3, мА$	$I_4, мА$
$U$	0.59	0.23	0.36	0.23
$I$	0.36	0.56	0.19	0.49

- 3)  $U_0 = 2.23 В$   
 $I_3 = 0.56 мА$   
 4)  $I_3 = 0.37 мА$   
 $I_1 = 0.37 мА$

Факультет КТУ

Группа 8382

Бригада: Мирончик А.Д. *Мирончик*

Кузнецов А.А. *Кузнецов*

Кузнецова М.К. *М.К.*

"16" сентября 2020г.

*Кузнецов*

16092020 101

## Цель работы

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

## Теоретические сведения

В работе анализируют резистивную цепь с источниками постоянного напряжения  $U$  и тока  $I$  (рис. 2.1).

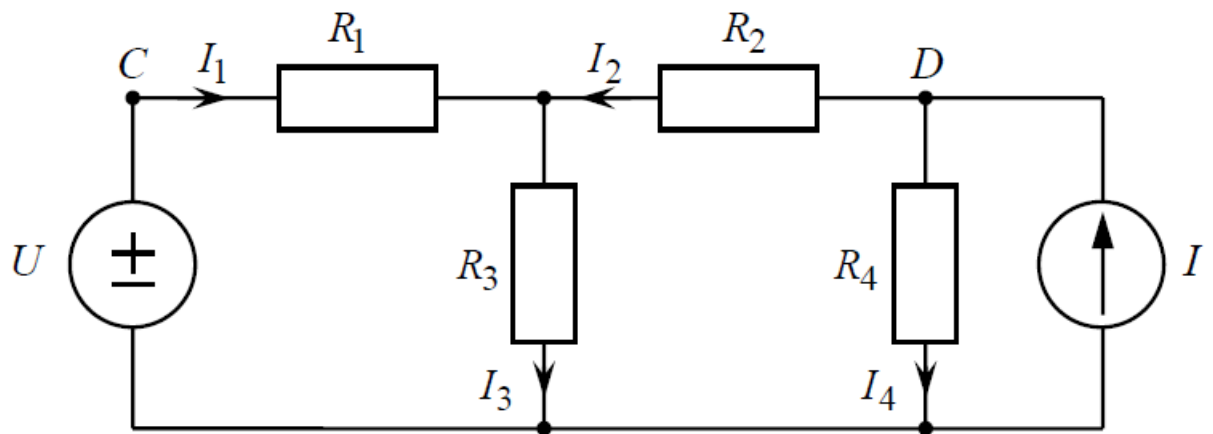
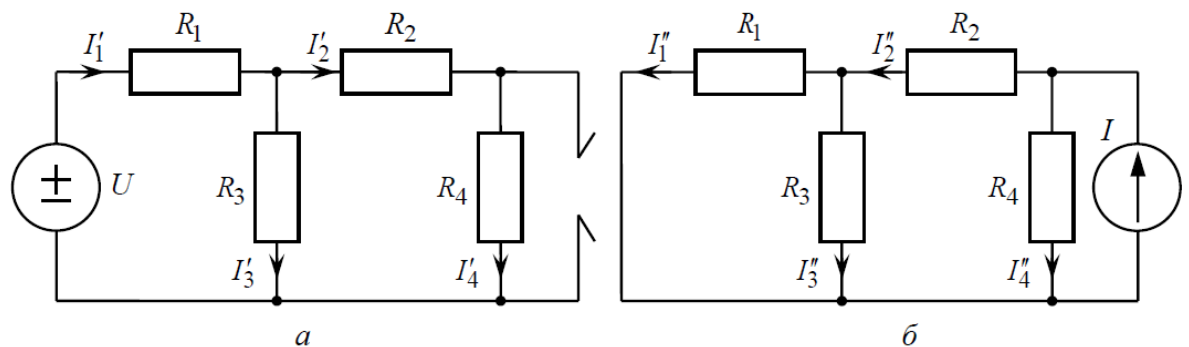


Рис. 2.1

В цепи  $U=4$  В,  $I=2$  мА,  $R_1=R_2=1,5$  кОм,  $R_3=R_4=3$  кОм

### Основные методы анализа сложных цепей:

Метод наложения. Реакцию цепи на действие нескольких источников определяют, как алгебраическую сумму реакций на действие каждого источника в отдельности. Метод наложения применительно к задаче определения токов в исследуемой цепи поясняет рисунок:



согласно которому  $I_1 = I'_1 - I''_1$ ;  $I_2 = I''_2 - I'_2$ ;  $I_3 = I'_3 + I''_3$ ;  $I_4 = I'_4 + I''_4$ .

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

По отношению к ветви с сопротивлением  $R_3$  рассматриваемую цепь (рис. 2.1) можно представить схемой, приведенной на рис. 2.3, а.

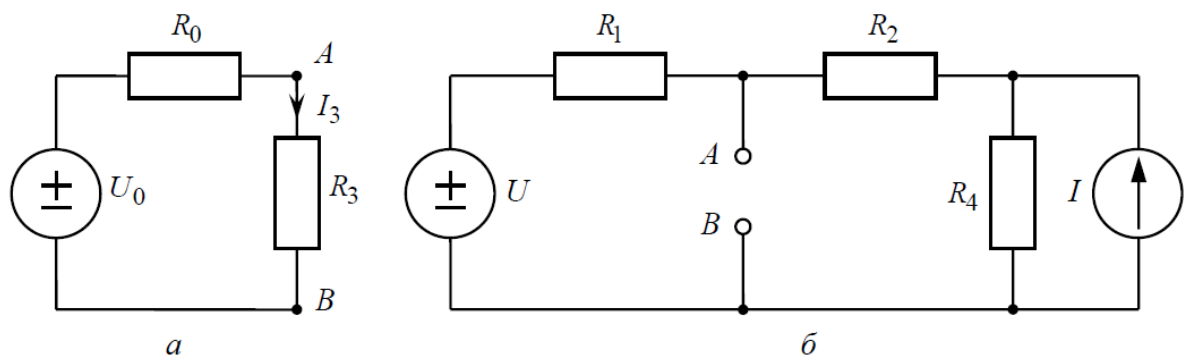


Рис. 2.3

Из схемы видно, что

$$I_3 = \frac{U_0}{R_0 + R_3},$$

где  $U_0$  - напряжение между выводами А и В ветви 3 при ее обрыве (рис. 2.3, б);  $R_0$  – выходное (эквивалентное) сопротивление цепи со стороны рассматриваемой ветви при исключении источников в схеме на рис. 2.3, б

(это сопротивление можно также найти по формуле  $R_0 = \frac{U_0}{I_k}$ , где  $I_k$  – ток короткого замыкания ветви 3).

*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.

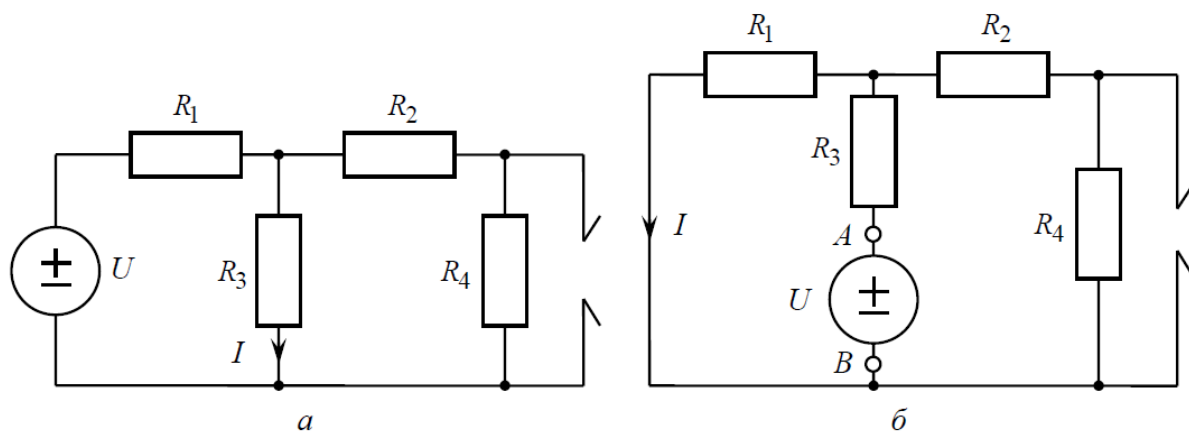


Рис. 2.4

Принцип взаимности поясняет рис. 2.4.

## Обработка результатов эксперимента

### Исследование цепи при питании ее от двух источников.

$U, \text{В}$	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U_3, \text{В}$	$U_4, \text{В}$	$I, \text{мА}$	$I_1, \text{мА}$	$I_2, \text{мА}$	$I_3, \text{мА}$	$I_4, \text{мА}$
2	0.36	0.49	1.6	2.1	1.07	0.23	0.32	0.56	0.73

Проверка полученных результатов используя уравнения Кирхгофа:

Напряжения:

$$\begin{cases} U_1 + U_3 - U = 0 \\ U_4 - U_2 - U_3 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} U = U_1 + U_3 \\ U_4 = U_2 + U_3 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2 \stackrel{?}{=} 0.36 + 1.60 \\ 2.10 \stackrel{?}{=} 0.49 + 1.6 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 2 \approx 1.96 - \text{верно} \\ 2.06 \approx 2.09 - \text{верно} \end{cases}$$

Токи:

$$\begin{cases} -I_1 - I_2 + I_3 = 0 \\ -I + I_2 + I_4 = 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_3 = I_2 + I_1 \\ I = I_2 + I_4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0.56 \stackrel{?}{=} 0.32 + 0.23 \\ 1.07 \stackrel{?}{=} 0.32 + 0.73 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} 0.56 \approx 0.55 - \text{верно} \\ 1.07 \approx 1.05 - \text{верно} \end{cases}$$

**Вывод:** Теоретически полученные измерения примерно совпадают с полученными практическим способом. Незначительную погрешность можно списать на неточность измерения.

### Определение токов цепи методом наложения.

Включены источники	$I_1$ , мА	$I_2$ , мА	$I_3$ , мА	$I_4$ , мА
$U$	0.59	0.23	0.36	0.23
$I$	0.36	0.56	0.19	0.49

### Определение методом наложения токов в ветвях:

$$\begin{cases} I_1 = I'_1 - I''_1 \\ I_2 = I''_2 - I'_2 \\ I_3 = I'_3 + I''_3 \\ I_4 = I'_4 + I''_4 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 0.59 - 0.36 = 0.23 \\ I_2 = 0.56 - 0.23 = 0.33 \\ I_3 = 0.36 + 0.19 = 0.55 \\ I_4 = 0.23 + 0.49 = 0.72 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} I_1 = 0.23 = 0.23 - \text{верно} \\ I_2 = 0.32 \approx 0.33 - \text{верно} \\ I_3 = 0.56 \approx 0.55 - \text{верно} \\ I_4 = 0.73 \approx 0.72 - \text{верно} \end{cases}$$

**Вывод:** Из расчетов видно, что результаты, полученные методом наложения, практически точно совпадают со значениями токов, найденных в пункте 2.2.1.

### Определение тока в ветви с сопротивлением $R_3$ методом эквивалентного источника напряжения.

$$U_0 = 2.23 \text{ В}$$

Результаты измерений пункта 2.2.3.:

$$I_3 = 0.56 \text{ мА}$$

$$I_3 = \frac{U_0}{R_0 + R_3}$$

$$R_0 = \frac{(R_2 + R_4)R_1}{R_2 + R_4 + R_1} = \frac{(1500 + 3000)1500}{1500 + 1500 + 3000} = 1125 \text{ Ом}$$

$$I_1 = \frac{U - IR_4}{R_1 + R_2 + R_4} = \frac{2 - 1.07 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3}{6000} = -0.201 \text{ мА}$$

$$\text{по ЗНИ: } U_{AB} = U - R_1 I_1 = 2 - 1500 \cdot (-0.201 \cdot 10^{-3}) = 2.3 \text{ В}$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3 + R_0} = \frac{2.3}{3000 + 1125} = 0.55 \text{ мА}$$

*Вывод:* Значения тока  $I_3$  и напряжения  $U_{AB}$  примерно совпадают с экспериментальными значениями.

### **Экспериментальная проверка принципа взаимности.**

Результаты измерений пункта 2.2.4.:  $I_3 = 0.37 \text{ мА}$   
 $I_1 = 0.37 \text{ мА}$

*Вывод:* Полученные значения  $I_3$  и  $I_1$  совпадают, что говорит о точности измерения.

### **Вывод**

В результате выполнения лабораторной работы и последующей обработке результатов были проверены и экспериментально доказаны все три способа расчета линейных резистивных цепей: метод наложения, метод эквивалентного источника напряжения и принцип взаимности.

### **Ответы на вопросы**

#### **1. Каковы результаты контроля данных в п. 2.2.1?**

Измерения п. 2.2.1 проверили с помощью уравнений Кирхгофа, и результаты контроля данных в этом пункте показали, что величины были измерены правильно.

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

Одновременно поменяем полярность напряжения ИН и направление тока ИТ на противоположное. У R-элементов полярность согласованная, величина токов по модулю не изменится, а по направлению станут противоположны изначальным токам.

По ЗНК:  $\begin{cases} U_2 - U_4 + U_3 = 0 \\ -U_1 - U_3 + U = 0 \end{cases}$ , видно что знаки поменялись на

противоположные

### 3. Чему равно напряжение между узлами С и Д цепи?

$$U_{CD} = I_1 R_1 - I_2 R_2 = U_1 - U_2 = 0,25 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 1500 \text{ Ом} - 0,3 \cdot 10^{-3} \text{ А} \cdot 1500 \text{ Ом} = -75 \text{ мВ}$$

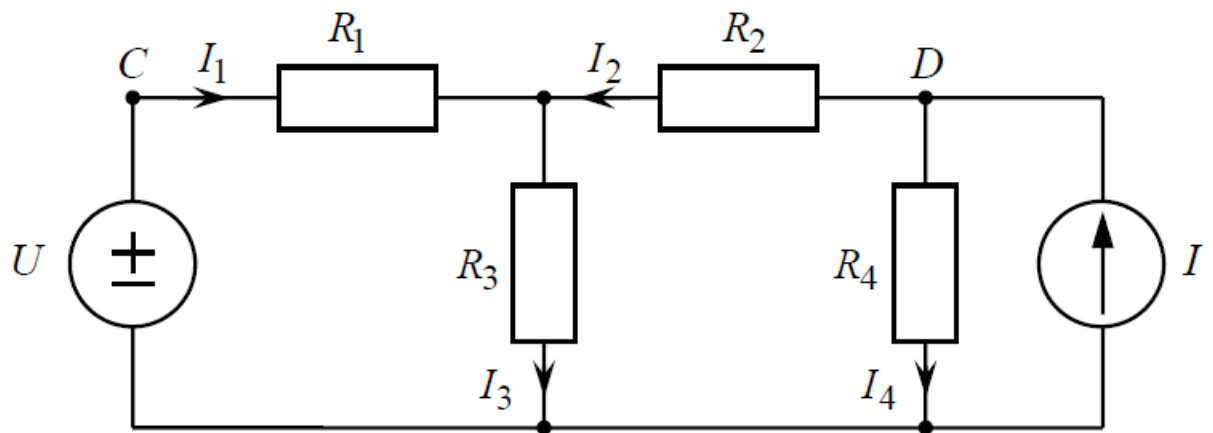
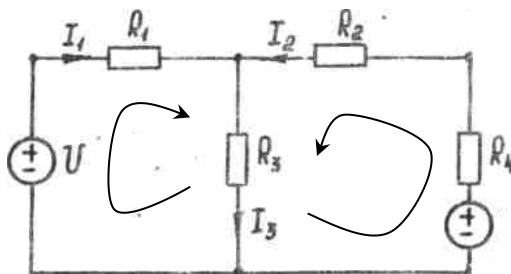


Рис. 2.1

### 4. Как изменится напряжение источника напряжения, чтобы $I_1$ стал равен 0?

Преобразуем схему в схему, изображенную на рисунке.



По ЗТК:  $-I_1 - I_2 + I_3 = 0$  при  $I = 0 \Rightarrow I_2 = I_3$

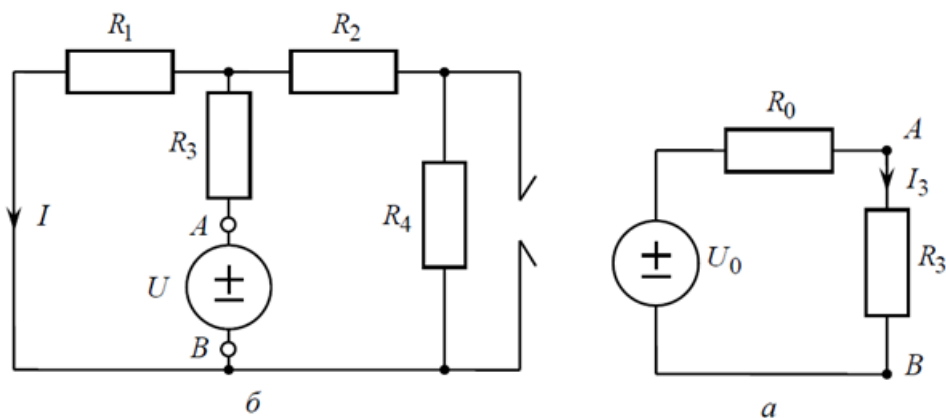


Применим МКТ:

$$\begin{cases} R_{11}I_1^k + R_{12}I_2^k = U_1^k = U \\ R_{21}I_1^k + R_{22}I_2^k = U_2^k = IR_4 \\ (R_1 + R_3)I_1^k + R_3I_2^k = U_1^k = U \\ R_3I_1^k + (R_1 + R_3 + R_4)I_2^k = U_2^k = IR_4 \\ I_1^k = I_1 = 0 \end{cases}$$

$$\begin{cases} 4500I_1^k + 3000I_2^k = U \\ 3000I_1^k + 7500I_2^k = 3000I \end{cases} \Rightarrow U = 1,22(\text{В})$$

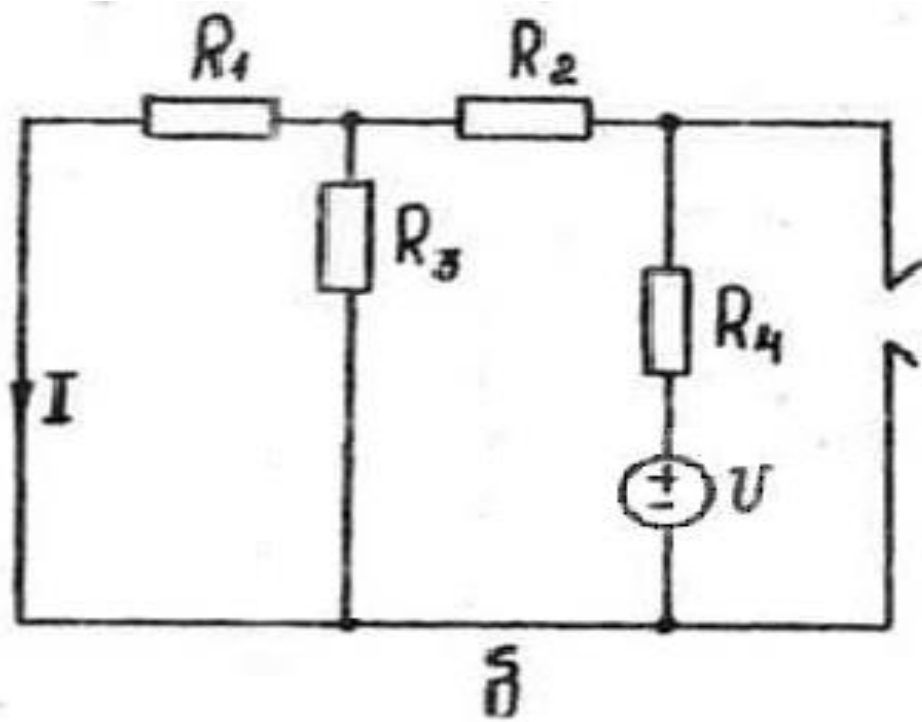
**5. Почему рис 2.4 б при  $U = U_0$  реализует схему метода эквивалентного источника напряжения рис 2.3.а.?**



Можно преобразовать схему б к виду а через формулу

$$R_0 = \frac{R_1(R_2 + R_4)}{R_1 + R_2 + R_4}$$

**6. Чему будет равен ток  $I_1$ , если источник напряжения поместить в ветвь 4, а источник тока отключить?**



$$I_4 = \frac{U}{R_4 + R_{123}} = \frac{U}{R_4 + R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}}$$

$$I_1 = \frac{U}{R_4 + R_2 + \frac{R_1 R_3}{R_1 + R_3}} \cdot \frac{R_3}{R_1 + R_3} = 0,22(\text{mA})$$

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

Проконтролировать результаты можно методом расчета по формулам и сравнением теоретических и практических значения. Например, как это было сделано в п. 2.2.1 по законам Кирхгофа. Если уменьшить вдвое одновременно  $U$  и  $I$ , то все токи уменьшатся вдвое. Все результаты проверялись с помощью метода наложения, метода эквивалентного источника и принципа взаимности.