

## **П Р И Л О Ж Е Н И Е**

к методическим указаниям  
по выполнению лабораторных работ  
раздела физики  
"Постоянный ток"

# **ПОСТОЯННЫЙ ТОК**

Журнал отчётов  
по лабораторным работам  
студента \_\_\_\_\_  
Ф.И.О.  
группа \_\_\_\_\_

Издательство ТГТУ  
2009

УДК 535  
ББК В343я73-5  
Б907

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор  
кафедры "Автоматизированные системы и приборы" ТГТУ

*Д.М. Мордасов*

С о с т а в и т е л и:

*Н.А. Булгаков, А.М. Савельев*

Б907      Постоянный ток : журнал отчётов по лабораторным работам / сост. : Н.А. Булгаков, А.М. Савельев. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 24 с. – 200 экз.

Даны вспомогательные материалы, необходимые при оформлении отчётов по лабораторным работам.

Предназначен для студентов 1–2 курсов всех специальностей и форм обучения инженерного профиля.

УДК 535  
ББК В343я73-5

© ГОУ ВПО "Тамбовский государственный  
технический университет" (ТГТУ), 2009

Учебное издание

## **ПОСТОЯННЫЙ ТОК**

Журнал отчётов по лабораторным работам

С о с т а в и т е л и:

БУЛГАКОВ Николай Александрович,  
САВЕЛЬЕВ Александр Михайлович

Редактор Т.М. Глинкина  
Инженер по компьютерному макетированию М.Н. Рыжкова

Подписано в печать 30.01.2009  
Формат 60 × 84/16. 1,39 усл. печ. л. Тираж 200 экз. Заказ № 35

Издательско-полиграфический центр ТГТУ  
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ  
С ПОМОЩЬЮ МОСТИКА УИТСТОНА**

Работа выполнена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ Г. \_\_\_\_\_  
(подпись)

Работа зачтена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ Г. \_\_\_\_\_  
(подпись)

$$R_x = R_{\text{__}}; \quad R_y = R_{\text{__}},$$

где  $R_x$  – любой из шести резисторов;  $R_y$  – второй резистор в паре с первым (номера резисторов задаются преподавателем).

1. Для заданного резистора  $R_x$

**Таблица 1**

$i$	$R_M, \text{ Ом}$	$l_{1i}, \text{ мм}$	$l_{2i}, \text{ мм}$	$R_{xi}, \text{ Ом}$	$\Delta R_{xi}, \text{ Ом}$	$R_x = R_{x\text{cp}} \pm \Delta R_{x\text{cp}}$
1	.....					.....
2						
3						
4						
5						
				$R_{x\text{cp}}$	$\Delta R_{x\text{cp}}$	

По формуле (9) рассчитаем пять значений и среднюю величину  $R_x$ :

$$R_{x1} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$R_{x2} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$R_{x3} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$R_{x4} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$R_{x5} = \text{_____} \cdot \text{_____} = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$R_{x\text{cp}} = \frac{\text{_____} + \text{_____} + \text{_____} + \text{_____} + \text{_____}}{5} = \text{_____} \text{ Ом}.$$

Для косвенных измерений относительные и абсолютные погрешности исходя из соотношения (9) имеют вид:

$$\frac{\Delta R_x}{R_x} = \frac{\Delta R_M}{R_M} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2};$$

$$\Delta R_x = R_x \cdot \left( \frac{\Delta R_M}{R_M} + \frac{\Delta l_1}{l_1} + \frac{\Delta l_2}{l_2} \right) = R_x \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{l_1} + \frac{1}{l_2} \right),$$

где  $\frac{\Delta R_M}{R_M} = 0,02\%$ ,  $\Delta l_1 = \Delta l_2 = 1$  мм,  $l_1$  и  $l_2$  замерены в миллиметрах.

Подставляя числовые значения, находим:

$$1) \Delta R_{x1} = \text{_____} \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right) = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$2) \Delta R_{x2} = \text{_____} \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right) = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$3) \Delta R_{x3} = \text{_____} \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right) = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$4) \Delta R_{x4} = \text{_____} \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right) = \text{_____} \text{ Ом};$$

$$5) \Delta R_{x5} = \text{_____} \cdot \left( 0,0002 + \frac{1}{\text{_____}} + \frac{1}{\text{_____}} \right) = \text{_____} \text{ Ом}.$$

$$\Delta R_{xcp} = \frac{\text{_____} + \text{_____} + \text{_____} + \text{_____} + \text{_____}}{5} = \text{_____} \text{ Ом}.$$

$$R_x = R_{xcp} \pm \Delta R_{xcp} = \text{_____} \pm \text{_____} \text{ Ом}.$$

Полученные значения заносим в табл. 1.

По аналогии с п. 1 заполним табл. 2, 3 и 4.

2. Для заданного резистора  $R_y$

**Таблица 2**

$i$	$R_M, \text{ Ом}$	$l_{1i}, \text{ мм}$	$l_{2i}, \text{ мм}$	$R_{yi}, \text{ Ом}$	$\Delta R_{yi}, \text{ Ом}$	$R_y = R_{ycp} \pm \Delta R_{ycp}$
1						
2						
3	.....					.....
4						
5						
				$R_{ycp}$	$\Delta R_{ycp}$	

3. При последовательном соединении резисторов  $R_x$  и  $R_y$

**Таблица 3**

$i$	$R_{M,}$ ОМ	$l_{1i,}$ ММ	$l_{2i,}$ ММ	$R_{xyi,}$ ОМ	$\Delta R_{xyi,}$ ОМ	$R_{xy} = R_{xy\text{cp}} \pm \Delta R_{xy\text{cp}}$
1						
2						
3	.....					.....
4						
5						
				$R_{xy\text{cp}}$	$\Delta R_{xy\text{cp}}$	

4. При параллельном соединении резисторов  $R_x$  и  $R_y$

Таблица 4

$i$	$R_{M,}$ ОМ	$l_{1i,}$ ММ	$l_{2i,}$ ММ	$R_{xyi,}$ ОМ	$\Delta R_{xyi,}$ ОМ	$R_{xy} = R_{xy\text{cp}} \pm \Delta R_{xy\text{cp}}$
1						
2						
3	.....					.....
4						
5						
				$R_{xy\text{cp}}$	$\Delta R_{xy\text{cp}}$	

5. Сравним экспериментальные значения общих сопротивлений при последовательном и параллельном соединении резисторов с теоретическими, рассчитываемыми по формулам:

$$R_{\text{общ(посл.)}} = R_1 + R_2 ;$$

$$\frac{1}{R_{\text{общ(паралл.)}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow R_{\text{общ(паралл.)}} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} .$$

$$R_{xy\text{cp(посл.)}} = R_{x\text{cp}} + R_{y\text{cp}} = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом};$$

$$R_{xy\text{cp(паралл.)}} = \frac{R_{x\text{cp}} \cdot R_{y\text{cp}}}{R_{x\text{cp}} + R_{y\text{cp}}} = \frac{\underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}}}{\underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ Ом}.$$

6. Выводы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭДС ИСТОЧНИКА ТОКА  
МЕТОДОМ КОМПЕНСАЦИИ**

Работа выполнена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Работа зачтена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

**Таблица**

№ п/п	$n_1$ , дел.	$n'_1$ , дел.	$\Delta n_1$	$\Delta n'_1$	$(\Delta n_1)^2$	$(\Delta n'_1)^2$	$\Delta n_{1cp}$	$\Delta n'_{1cp}$
1								
2								
3							.....	.....
4								
5								
	$n_{1cp}$	$n'_{1cp}$						

1. Средние значения  $n_{1cp}$  и  $n'_{1cp}$  :

$$n_{1cp} = \frac{+ + + +}{5} = \text{____ дел.};$$

$$n'_{1cp} = \frac{+ + + +}{5} = \text{____ дел.}$$

2. Среднее значение искомой  $\mathcal{E}_X$  :

$$\mathcal{E}_{Xcp} = \mathcal{E}_N \frac{n_{1cp}}{n'_{1cp}} = \frac{\text{____}}{\text{____}} \cdot \frac{\text{____}}{\text{____}} = \text{____ В};$$

$$\mathcal{E}_N = \text{____} \pm \text{____} \text{ В.}$$

3. По методу Стьюдента для прямых измерений вычислим  $\Delta n_{1cp}$  и  $\Delta n'_{1cp}$  :

$$\Delta n_{1cp} = \alpha S = \alpha \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta n_1)_i^2}{n \cdot (n-1)}} =$$

$$= 2,8 \cdot \sqrt{\frac{+ + + +}{5 \cdot 4}} = \text{____ дел.};$$

$$\Delta n'_{1\text{cp}} = \alpha S = \alpha \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (\Delta n'_i)^2}{n \cdot (n-1)}} =$$

$$= 2,8 \cdot \sqrt{\frac{\quad + \quad + \quad + \quad +}{5 \cdot 4}} = \underline{\quad} \text{ дел.}$$

( $\alpha = 2,8$  – коэффициент Стьюдента).

4. Для косвенных измерений относительную погрешность искомой ЭДС находим преобразованием формулы (10):

$$\frac{\Delta \mathcal{E}_{X\text{cp}}}{\mathcal{E}_{X\text{cp}}} = \frac{\Delta \mathcal{E}_N}{\mathcal{E}_N} + \frac{\Delta n_{1\text{cp}}}{n_{1\text{cp}}} + \frac{\Delta n'_{1\text{cp}}}{n'_{1\text{cp}}} = \underline{\quad} + \underline{\quad} + \underline{\quad} = \underline{\quad},$$

тогда абсолютная погрешность равна:

$$\Delta \mathcal{E}_{X\text{cp}} = \mathcal{E}_{X\text{cp}} \cdot \left( \frac{\Delta \mathcal{E}_N}{\mathcal{E}_N} + \frac{\Delta n_{1\text{cp}}}{n_{1\text{cp}}} + \frac{\Delta n'_{1\text{cp}}}{n'_{1\text{cp}}} \right) =$$

$$= \underline{\quad} \cdot (\underline{\quad} + \underline{\quad} + \underline{\quad}) = \underline{\quad} \text{ В.}$$

где  $\Delta \mathcal{E}_N$  – приведена в п. 2.

5. Величина искомой ЭДС:

$$\mathcal{E}_X = \mathcal{E}_{X\text{cp}} \pm \Delta \mathcal{E}_{X\text{cp}} = \underline{\quad} \pm \underline{\quad} \text{ (В).}$$

6. Выводы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ УЧАСТКА ЦЕПИ,  
СОДЕРЖАЩЕГО ЭДС**

Работа выполнена " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.  
(подпись)

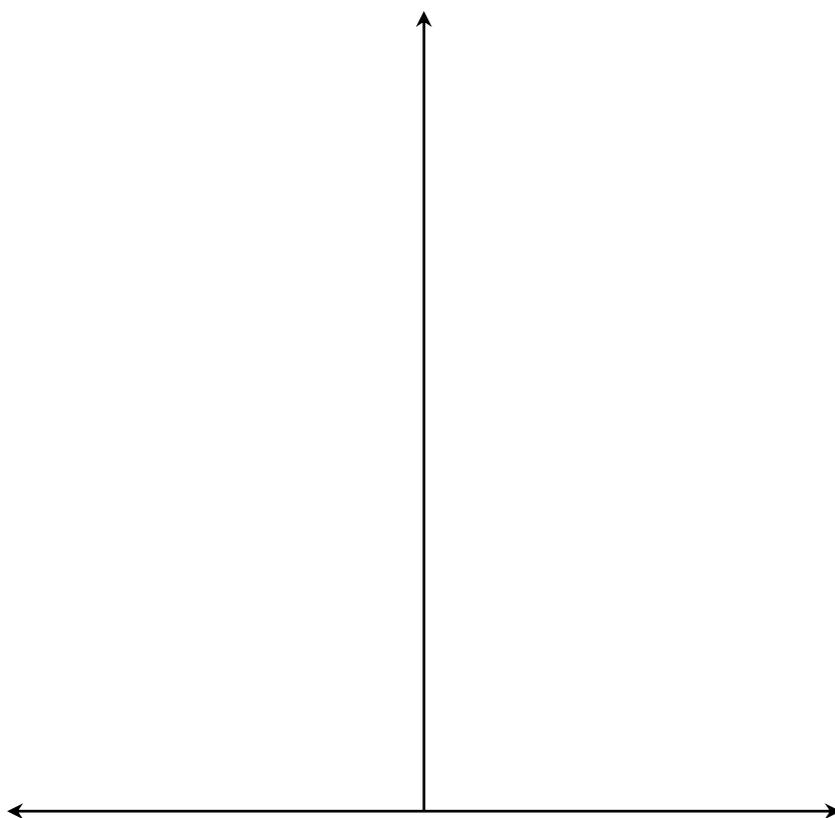
Работа зачтена " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.  
(подпись)

1. Занесем в таблицу полученные опытные измерения для сопротивления участка  $R'_{\text{уч.}}$ , соответствующего положению переключателя " \_\_\_ ".

**Таблица 1**

$R, \text{ Ом}$											
$I, \text{ mA}$											
$\varphi_1 - \varphi_2, \text{ В}$						0					

По измеренным величинам строим график зависимости  $I = f(\varphi_1 - \varphi_2)$ .  
 $I, \text{ mA}$



$-(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ В}$

0

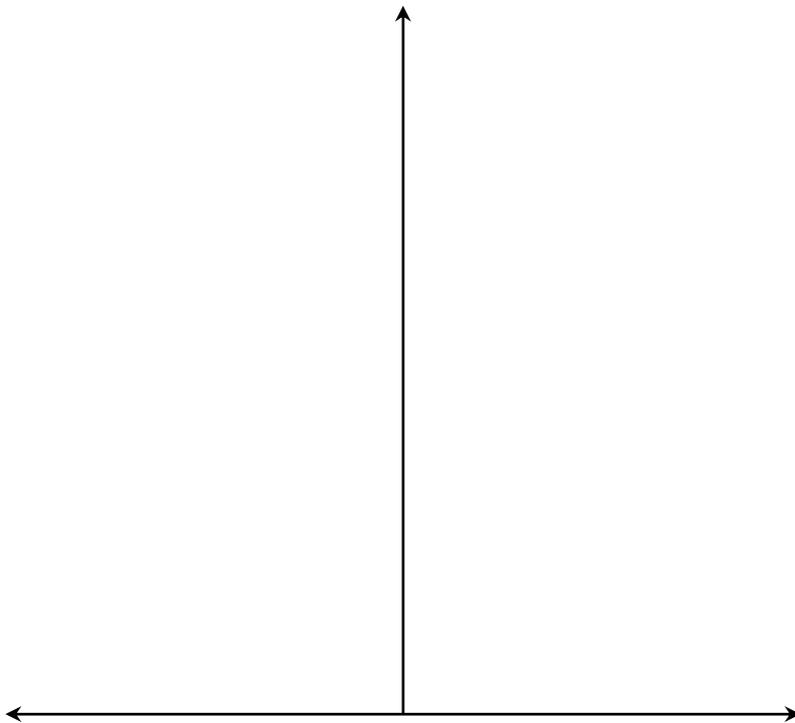
$(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ В}$

2. Для сопротивления участка  $R''_{\text{уч}}$ , при положении переключателя "\_\_\_", опытные измерения и график имеют вид:

Таблица 2

$R, \text{ Ом}$											
$I, \text{ мА}$											
$\varphi_1 - \varphi_2, \text{ В}$						0					

$I, \text{ мА}$



$-(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ В}$

0

$(\varphi_1 - \varphi_2), \text{ В}$

3. По угловым коэффициентам полученных прямых (тангенс угла наклона) оценим величины заданных сопротивлений участков  $R'_{\text{уч}}$  и  $R''_{\text{уч}}$ :

$$\text{tg } \alpha = \frac{\Delta I}{\Delta(\varphi_1 - \varphi_2)} = \frac{\Delta I}{\Delta(\Delta\varphi)} = \frac{1}{R_{\text{уч}}}$$

Приращение величин тока ( $\Delta I$ ) и разности потенциалов [ $\Delta(\Delta\varphi)$ ] можно брать на любом интервале, так как зависимость линейная.

При первом положении переключателя  $R_{\text{уч}}$

$$\frac{1}{R'_{\text{уч}}} = \frac{\Delta I}{\Delta(\Delta\varphi)} = \text{-----} = \text{-----}; R'_{\text{уч}} = \text{-----} \text{ Ом.}$$

При втором положении переключателя  $R_{\text{уч}}$

$$\frac{1}{R''_{\text{уч}}} = \frac{\Delta I}{\Delta(\Delta\varphi)} = \text{-----} = \text{-----}; R''_{\text{уч}} = \text{-----} \text{ Ом.}$$

4. Из графиков найдем величины токов, когда разность потенциалов  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$ .

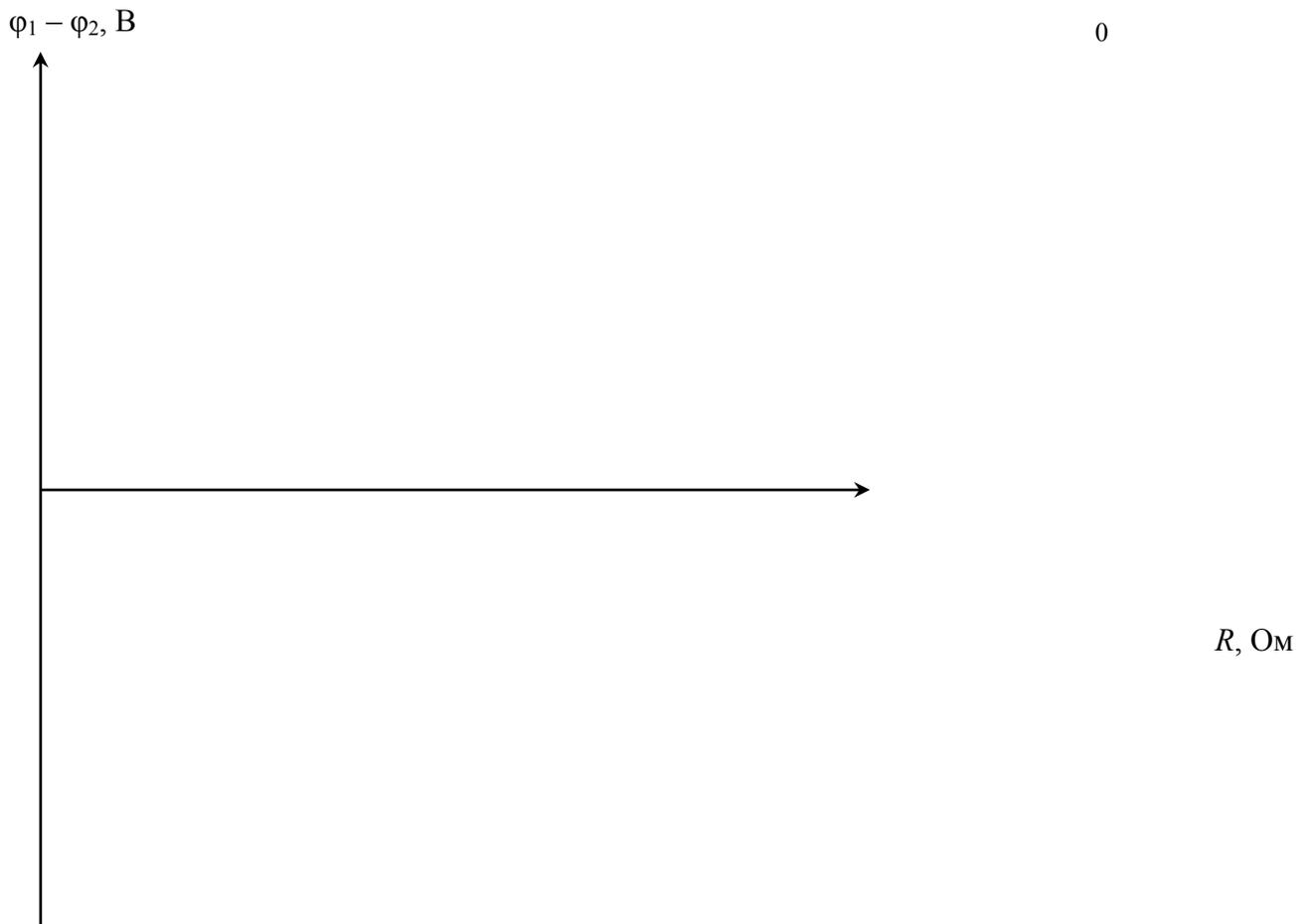
$$I' = \text{-----} \text{ А}; I'' = \text{-----} \text{ А.}$$

Из уравнения (4) при  $\varphi_1 - \varphi_2 = 0$  и найденных значениях  $I$  и  $R_{\text{уч}}$  вычислим ЭДС источника тока, включенного в исследуемый участок цепи:

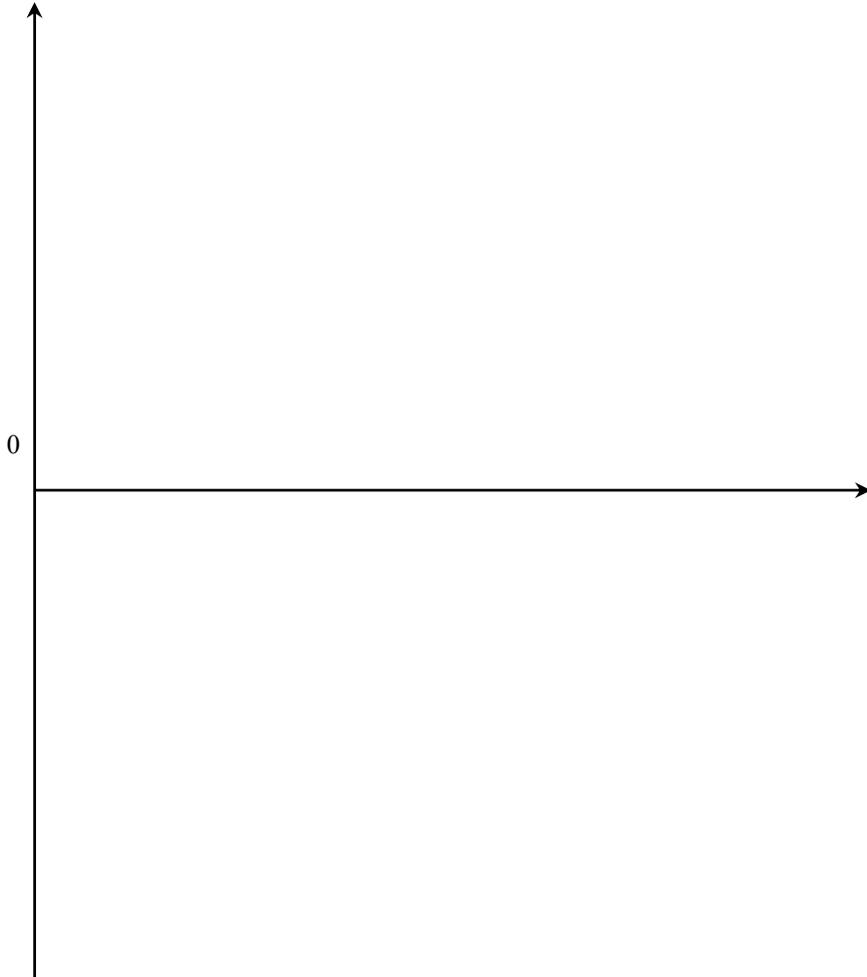
1)  $\mathcal{E} = I'R'_{\text{уч}} = \text{-----} \cdot \text{-----} = \text{-----} \text{ В};$

2)  $\mathcal{E} = I''R''_{\text{уч}} = \text{-----} \cdot \text{-----} = \text{-----} \text{ В.}$

5. Построим графики зависимости разности потенциалов ( $\varphi_1 - \varphi_2$ ) между точками 1 и 2 исследованного неоднородного участка цепи от величины внешнего сопротивления  $R$ .



$\varphi_1 - \varphi_2, \text{ В}$



$R, \text{ Ом}$

Выводы: \_\_\_\_\_

---

---

---

---

---

**ИЗУЧЕНИЕ ЗАКОНА ОМА ДЛЯ ПОЛНОЙ ЦЕПИ, ЗАВИСИМОСТИ МОЩНОСТИ И КПД ИСТОЧНИКА ОТ НАГРУЗКИ**

Работа выполнена " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.  
(подпись)

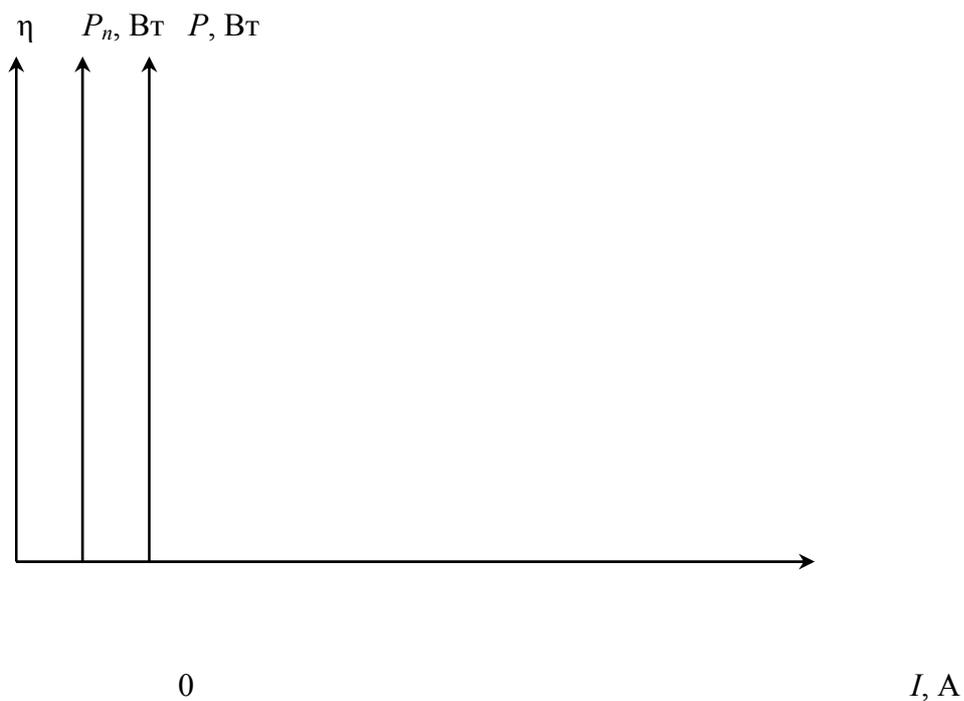
Работа зачтена " \_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_ г.  
(подпись)

**Таблица**

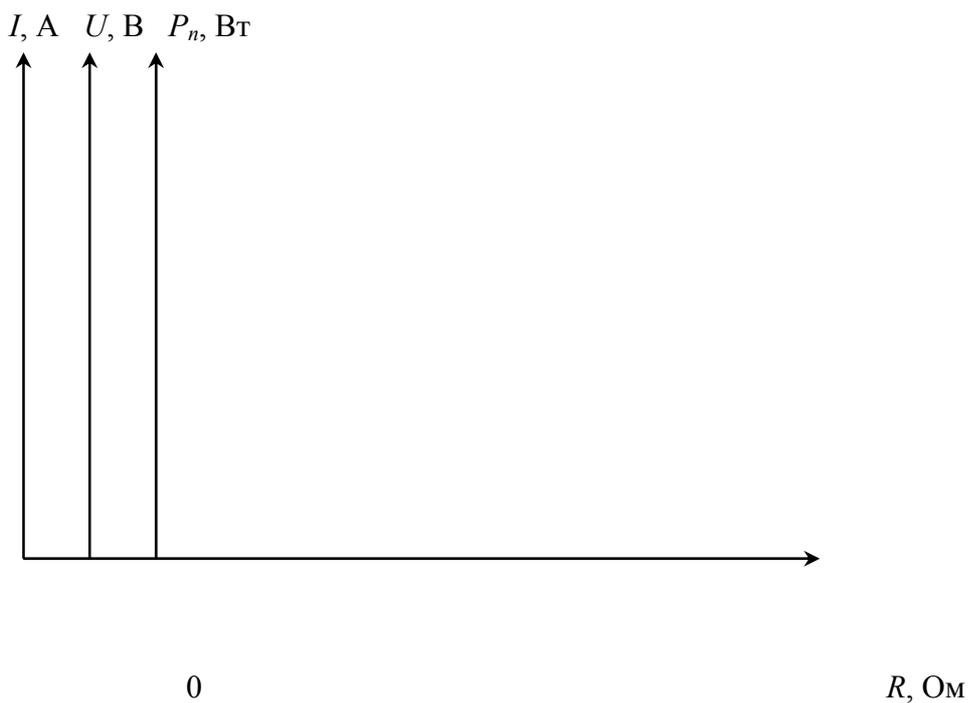
№ п/п	$R$ , Ом	$I$ , А	$U$ , В	$P$ , Вт	$P_n$ , Вт	$\eta$ , %
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
11						
12						

$E = U_0 = \underline{\hspace{2cm}}$  В.

- Используя замеренные значения и формулы:  $P = IE$ ;  $P_n = IU$ ;  $\eta = P_n / P$ , рассчитаем искомые величины и внесём их в соответствующие графы таблицы.
- По табличным данным построим графики зависимостей:  $P = f(I)$ ,  $P_n = f(I)$ ,  $\eta = f(I)$ . Масштаб по осям ординат выбрать произвольно. Графики зависимостей изобразить (показать) разными цветами.



3. По экспериментальным данным построим графики зависимостей:  $I = f(R)$ ,  $U = f(R)$ ,  $P_n = f(R)$ .



4. Для произвольных трёх значений  $I$  и  $R$ , которые возьмем из последнего графика, вычислим величины внутреннего сопротивления источника тока:

$$r_i = \frac{U_0 - I_i R_i}{I_i}; \quad r_j = \frac{U_0 - I_j R_j}{I_j}; \quad r_k = \frac{U_0 - I_k R_k}{I_k}.$$

Подставляя числовые значения, получаем:

$$r_i = \frac{\quad - \quad}{\quad} = \quad \text{Ом};$$

$$r_j = \frac{\quad - \quad}{\quad} = \quad \text{Ом};$$

$$r_k = \frac{\quad - \quad}{\quad} = \quad \text{Ом};$$

$$r_{\text{cp}} = \frac{r_i + r_j + r_k}{3} = \frac{\quad + \quad + \quad}{\quad} = \quad \text{Ом}.$$

Средняя арифметическая погрешность равна:

$$\Delta r_{\text{cp}} = \frac{\Delta r_i + \Delta r_j + \Delta r_k}{3} = \frac{\quad + \quad + \quad}{\quad} = \quad \text{Ом},$$

где  $\Delta r_i = r_{\text{cp}} - r_i$ ;  $\Delta r_j = r_{\text{cp}} - r_j$ ;  $\Delta r_k = r_{\text{cp}} - r_k$ .

Окончательная величина внутреннего сопротивления

$$r = r_{\text{cp}} \pm \Delta r_{\text{cp}} = \quad \pm \quad \text{Ом}.$$

5. Величина тока короткого замыкания при отсутствии внешнего сопротивления ( $R = 0$ ) определяется из соотношения:

$$I_{\text{к.з}} = \mathcal{E} / r_{\text{cp}} = U_0 / r_{\text{cp}}.$$

Подставляя числовые величины, получим:

$$I_{\text{к.з}} = \quad / \quad = \quad \text{А}.$$

6. Выводы: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

**ПРОВЕРКА ПРАВИЛ КИРХГОФА  
ДЛЯ РАЗВЕТВЛЁННЫХ ЦЕПЕЙ**

Работа выполнена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Работа зачтена " \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.  
(подпись)

Для  $R'_2 =$  \_\_\_\_\_ Ом, имеем

Таблица 1

№ п/п	$E_1, В$	$\varphi_1, В$	$E_2, В$	$\varphi_2, В$	$U_i, В$	$\Delta U_i, В$	$I_i, А$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$
1									
2									
3									
4								.....	.....
5									
6									

Для  $R''_2 =$  \_\_\_\_\_ Ом, имеем

Таблица 2

№ п/п	$E_1, В$	$\varphi_1, В$	$E_2, В$	$\varphi_2, В$	$U_j, В$	$\Delta U_j, В$	$I_j, А$	$r_1, Ом$	$r_2, Ом$
1									
2									
3									
4								.....	.....
5									
6									

1. Абсолютные погрешности измеренных значений  $U_{i,j}$

$$\Delta U_i = \frac{a \cdot U_{i,j \text{ изм}}}{100},$$

где  $a$  – класс точности вольтметра, равный 1,0;  $U_{i,j \text{ изм}}$  – измеренная величина  $i, j$ -го напряжения.

Результаты расчётов внесём в графу  $\Delta U$  обеих таблиц.

2. Токи  $I_1 - I_6$  рассчитываем по закону Ома ( $I = U / R$ ) для обоих значений  $R_2$ , полученные результаты внесем в таблицы 1 и 2.

3. **Проверяем ПЕРВОЕ правило Кирхгофа** (уравнение 1).

I. Сопротивление  $R'_2 =$  \_\_\_\_\_ Ом:

а) узел 1:  $I_1 - I_2 - I_4 = 0$ ;

$$I_1 - I_2 - I_4 = \text{_____} - \text{_____} - \text{_____} = \text{_____} А.$$

Несовпадение с нулем не должно превышать величину:

$$\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right) = \frac{R_1 \Delta U_1 + U_1 \Delta R_1}{R_1^2} + \frac{R_2 \Delta U_2 + U_2 \Delta R_2}{R_2^2} + \frac{R_4 \Delta U_4 + U_4 \Delta R_4}{R_4^2} =$$

$$= \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{А.}$$

Погрешности  $\Delta R_i$  берутся равными 3 % от номинала. Сравнивая, видим, что первое правило

б) узел 2:  $I_3 + I_6 - I_1 = 0$ ;

$$I_3 + I_6 - I_1 = \quad + \quad + \quad = \quad \text{А.}$$

Сумма погрешностей:

$$\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right) = \frac{R_3 \Delta U_3 + U_3 \Delta R_3}{R_3^2} + \frac{R_6 \Delta U_6 + U_6 \Delta R_6}{R_6^2} + \frac{R_1 \Delta U_1 + U_1 \Delta R_1}{R_1^2} =$$

$$= \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{А.}$$

Последняя величина превышает первую, следовательно, первое правило выполняется.

в) узел 3:  $I_2 + I_5 - I_3 = \quad + \quad - \quad = \quad \text{А.}$

Сумма погрешностей:

$$\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right) = \frac{R_2 \Delta U_2 + U_2 \Delta R_2}{R_2^2} + \frac{R_5 \Delta U_5 + U_5 \Delta R_5}{R_5^2} + \frac{R_3 \Delta U_3 + U_3 \Delta R_3}{R_3^2} =$$

$$= \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{А.}$$

Сравнивая с несовпадением с нулем, видим, что для узла 3 первое правило

г) узел 4:  $I_4 - I_5 - I_6 = \quad - \quad - \quad = \quad \text{А.}$

$$\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right) = \frac{R_4 \Delta U_4 + U_4 \Delta R_4}{R_4^2} + \frac{R_5 \Delta U_5 + U_5 \Delta R_5}{R_5^2} + \frac{R_6 \Delta U_6 + U_6 \Delta R_6}{R_6^2} =$$

$$= \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} + \frac{\quad}{\quad} = \quad \text{А.}$$

Сравнение  $\sum I_i$  с  $\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right)$  показывает, что первое правило для узла 4

II. Сопротивление  $R_2'' = \quad \text{Ом.}$

а) узел 1:  $I_1 - I_2 - I_4 = \quad - \quad - \quad = \quad \text{А.}$

$$\sum \Delta \left( \frac{U}{R} \right) = \Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_4 = \quad + \quad + \quad = \quad \text{А.}$$



б) контур 1 В 4 3 1. Обход контура по часовой стрелке:

$$I_4 R_4 + I_5 R_5 - I_2 R_2 = \varepsilon_2 \quad \text{или} \quad U_4 + U_5 - U_2 = \varepsilon_2 ;$$

$$\underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В}; \quad \varepsilon_2 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Разница  $\sum U_i$  с  $\varepsilon_2$  равна  $\underline{\hspace{2cm}}$  В.

Сопоставим ее с суммой погрешностей:

$$\Delta \varepsilon_2 + \Delta U_4 + \Delta U_5 + \Delta U_2 = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$$

где  $\Delta \varepsilon_2 = \frac{a \cdot \varepsilon_{2\text{изм}}}{100} = \frac{\cdot}{100} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$

Видно, что вторая величина  $\underline{\hspace{2cm}}$  первой, следовательно, второе правило для этого контура  $\underline{\hspace{2cm}}$

в) контур 3 4 С 2 3. Обход по часовой стрелке:

$$I_6 R_6 - I_3 R_3 - I_5 R_5 = \varepsilon_2 \quad \text{или} \quad U_6 - U_3 - U_5 = \varepsilon_2 ;$$

$$\underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В};$$

$$\sum U_i - \varepsilon_i = \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Сопоставим эту величину с суммой погрешностей:

$$\Delta \varepsilon_2 + \Delta U_6 + \Delta U_3 + \Delta U_5 = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Поскольку сумма погрешностей  $\underline{\hspace{2cm}}$  величины несовпадения, то второе правило и для этого контура  $\underline{\hspace{2cm}}$

II. Сопротивление  $R_2' = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом:

а) контур А 1 3 2 Д А. Обход по часовой стрелке:

$$I_1 R_1 + I_2 R_2 + I_3 R_3 = \varepsilon_1 \quad \text{или} \quad U_1 + U_2 + U_3 = \varepsilon_1 ;$$

$$\underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Несовпадение левой и правой частей сравним с суммой погрешностей:

$$\Delta \varepsilon_1 + \Delta U_1 + \Delta U_2 + \Delta U_3 = \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Поскольку сумма погрешностей  $\underline{\hspace{2cm}}$  величины несовпадения, то правило  $\underline{\hspace{2cm}}$

б) контур 1 В 4 3 1. Обход по часовой стрелке:

$$I_4 R_4 + I_5 R_5 - I_2 R_2 = \varepsilon_2 ;$$

$$\underline{\hspace{2cm}} + \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

Разница  $\sum U_j$  с  $\varepsilon_2$  составляет  $\underline{\hspace{2cm}}$  В.

Сравним ее с суммой погрешностей:

