

Группа М3212

К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Тимофеев В

Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Овчинников

Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.02

### Тема: Характеристики источника тока

#### 1. Цель работы.

Изучить характеристики источника тока

#### 2. Задачи, решаемые при выполнении работы.

1. Исследовать зависимость полной мощности, полезной мощности, мощности потерь, падения напряжения во внешней цепи и КПД источника от силы тока в цепи.

2. Найти значения параметров источника: электродвижущей силы и внутреннего сопротивления, оценить их погрешность.

#### 3. Объект исследования.

Цепь, собранная на стенде СЗ-ЭМ01. Контур с исследуемым источником тока и регулируемым внешним сопротивлением.

#### 4. Метод экспериментального исследования.

Условные прямые измерения значений силы тока и напряжения на участке цепи.

#### 5. Рабочие формулы и исходные данные.

1) Закон Ома для полной цепи:  $\varepsilon = U + Ir = I(R + r)$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})(U_i - \bar{U})}{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2}$$

2) Внутренне сопротивление по МНК:

3) Значение ЭДС по известному значению внутреннего сопротивления:  $\varepsilon = \bar{U} + \bar{I}|r|$

4) Абсолютная погрешность с учетом погрешности приборов:  $\Delta x = \sqrt{(\overline{\Delta x})^2 + \left(\frac{2}{3}\Delta_{ux}\right)^2}$

5) Погрешность косвенного значения:

$$\Delta z = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x_1} \Delta x_1\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial x_2} \Delta x_2\right)^2}; z = f(x_1, x_2)$$

$\Delta_{\text{из}}$  – погрешность прибора,  $\overline{\Delta x}$  – случайная погрешность (доверительный интервал)

6) Относительная погрешность:  $\varepsilon_x = \frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$

7) Абсолютные погрешности для МНК значений внутреннего сопротивления и ЭДС:

$$\Delta r = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(n-2)}}; \Delta \varepsilon = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{(n-2)}} \cdot \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{I}^2}{D}\right); d_i = U_i - (\varepsilon - I_i |r|); D = \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2$$

## 6. Измерительные приборы/установки.

№	Наименование	Измерение	Используемый диапазон	$\Delta_{\text{и}}$
1	Амперметр	Сила тока	$[0, 2 \cdot 10^{-2}] \text{ A}$	$5 \cdot 10^{-5} \text{ A}$
2	Вольтметр	Падение напряжение участка	$[0, 20] \text{ V}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ V}$

## 7. Схема установки.

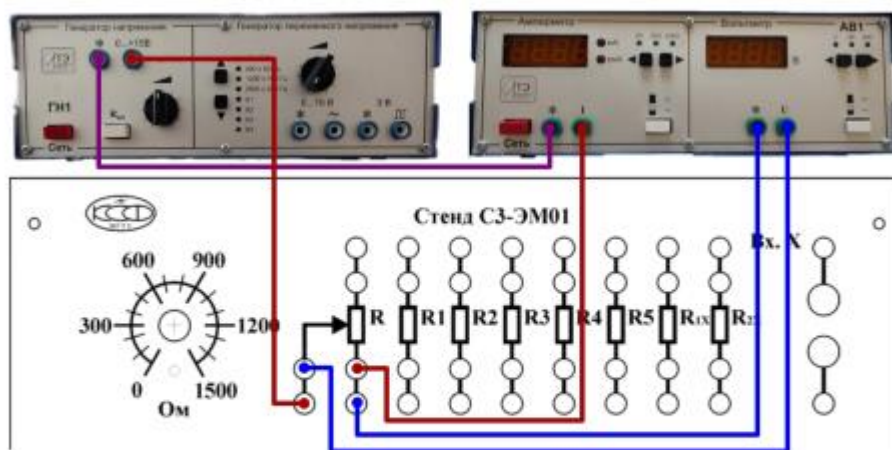


РИС. 7. Схема соединений источника, измерительных приборов и измерительного стенда

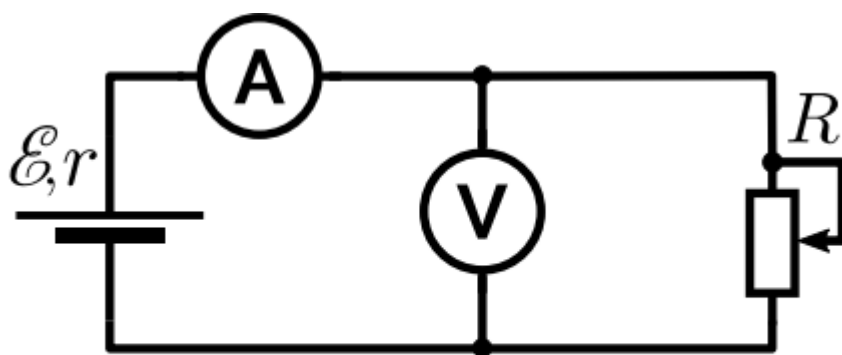


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема лабораторной установки

## 8. Результаты прямых измерений и их обработки.

Таблица 1. Прямые измерения напряжения и силы тока и соответствующие им значения

№	$U$ , В	$I$ , мА	$P_R = UI$ , мВт	$P_S = I^2 r$ , мВт	$P = \mathcal{E}I$ , мВт	$\eta = P_R / P$
1	0,64	12,2	7,8080	99,9146	107,7392	0,0725
2	1,69	10,6	17,9140	75,4260	93,6095	0,1914
3	2,54	9,4	23,8760	59,3151	83,0122	0,2876
4	3,28	8,3	27,2240	46,2451	73,2980	0,3714
5	3,79	7,5	28,4250	37,7600	66,2331	0,4292
6	4,15	7,0	29,0500	32,8931	61,8176	0,4699
7	4,51	6,4	28,8640	27,4960	56,5189	0,5107
8	4,82	6,0	28,9200	24,1664	52,9865	0,5458
9	5,14	5,5	28,2700	20,3065	48,5710	0,5820
10	5,39	5,1	27,4890	17,4602	45,0385	0,6103
11	5,61	4,8	26,9280	15,4665	42,3892	0,6353
12	5,80	4,5	26,1000	13,5936	39,7399	0,6568
13	5,96	4,3	25,6280	12,4121	37,9737	0,6749
14	6,14	4,0	24,5600	10,7406	35,3243	0,6953

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})(U_i - \bar{U})}{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2} \approx -0,67129 \frac{\text{В}}{\text{мА}}$$

Внутреннее сопротивление источника по МНК:

ЭДС источника по МНК:  $\varepsilon = \bar{U} + \bar{I}|r| = 8,831084 \text{ В}$

Значение тока, при котором достигается максимум значения полезной мощности:

$$I_{\text{т}}^* = \frac{\varepsilon}{2r} = 6,5777 \text{ мА (теоретическое)}$$

$$I^* = 6,5853 \text{ мА (экспериментальное, по графику)}$$

$$P_{R \text{ max}} = UI^* = 29,0745 \text{ мВт (по графику)}$$

$$R_{\text{согл}} = \frac{P_{R \text{ max}}}{I^{*2}} = 0,6704 \frac{\text{В}}{\text{мА}}$$

Для режима согласования:

$$\text{Сила тока при КПД } (\eta = 0,5): 1 - 0,076 \cdot I_{0,5}^* = 0,5 \Rightarrow I_{0,5}^* = 6,5789 \text{ мА}$$

## 9. Расчет результатов косвенных измерений.

Расчет абсолютных погрешностей для значений внутреннего сопротивления и ЭДС:

$$d_i = U_i - (\varepsilon - I_i|r|); \quad D = \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2$$

$$\sum_{i=1}^N d_i^2 = 0,00381 \text{ мА}^2; \quad D = 81,88857 \text{ мА}^2 \quad (\Delta r = 2S_r; \quad \Delta \varepsilon = 2S_\varepsilon)$$

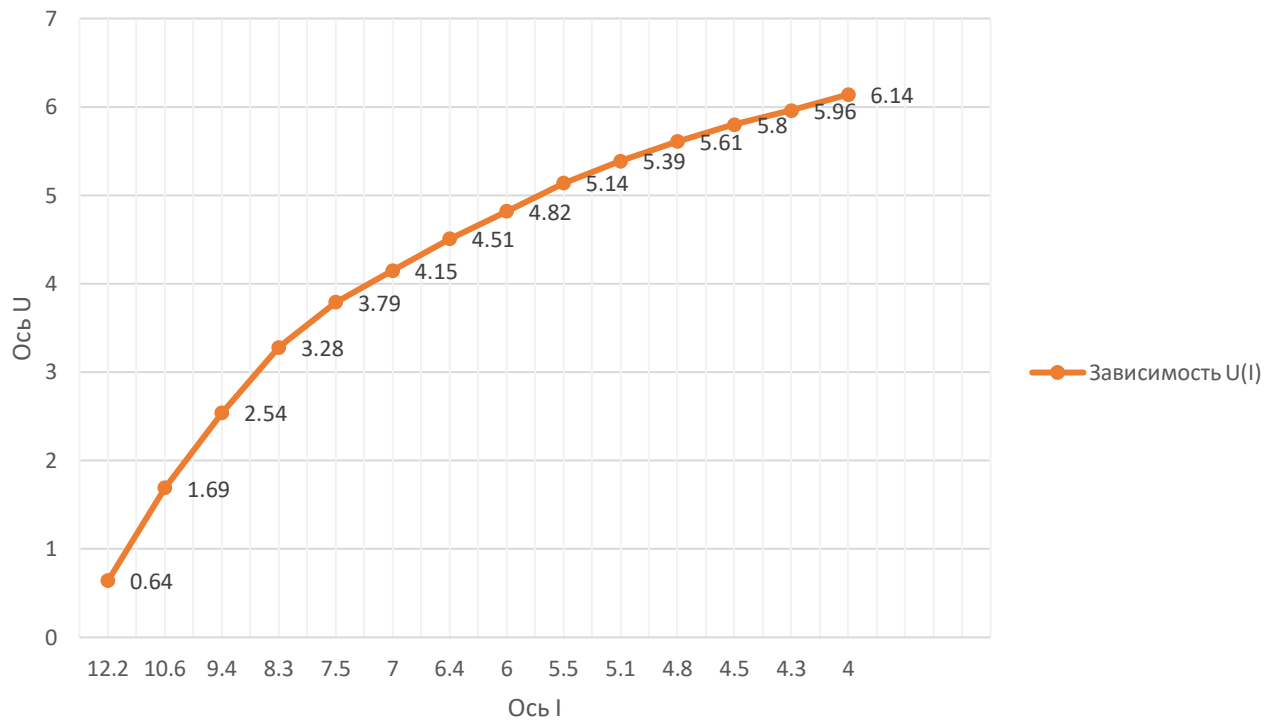
$$\Delta r = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(n-2)}} = 0,00371 \frac{\text{В}}{\text{мА}}; \quad \Delta \varepsilon = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{(n-2)} \cdot \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{I}^2}{D}\right)} = 0,026874 \text{ В}$$

Расчет относительных погрешностей для значений внутреннего сопротивления и ЭДС:

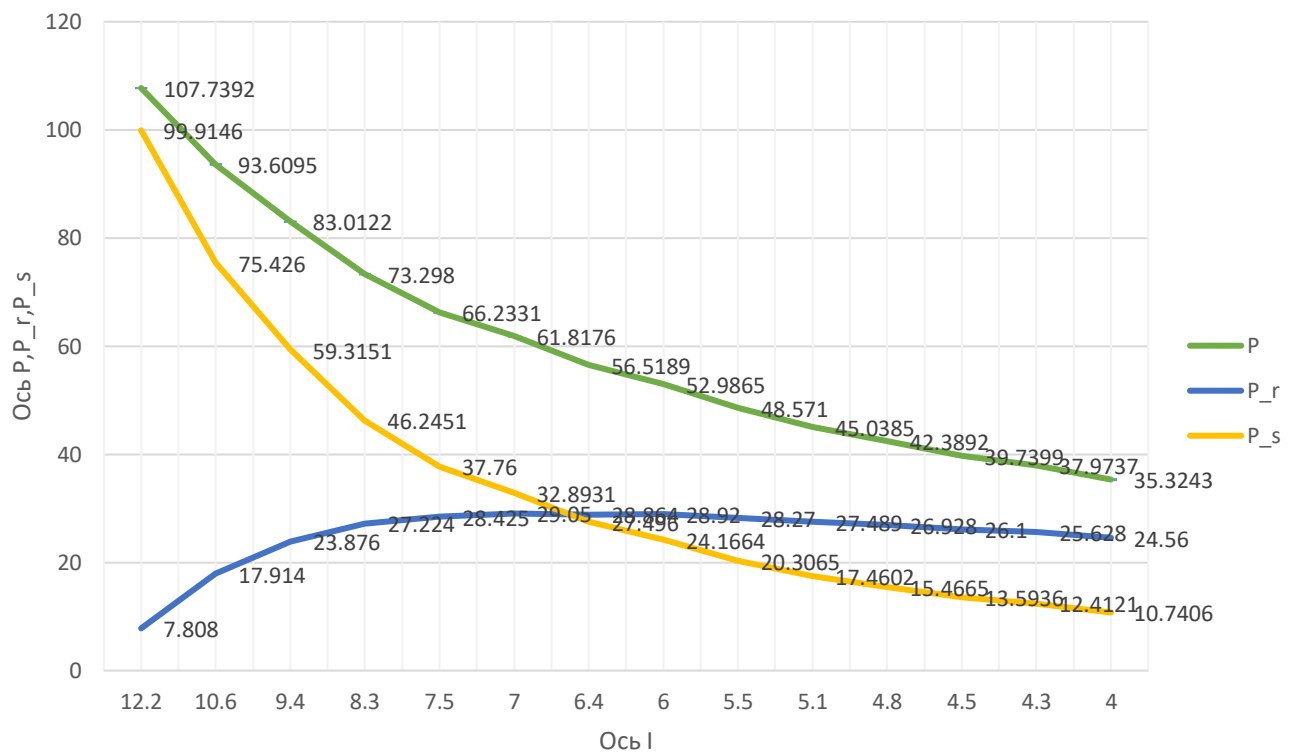
$$\varepsilon_r = \frac{\Delta r}{r} \cdot 100\% = 0,55\% \quad \varepsilon_\varepsilon = \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon} \cdot 100\% = 0,30\%$$

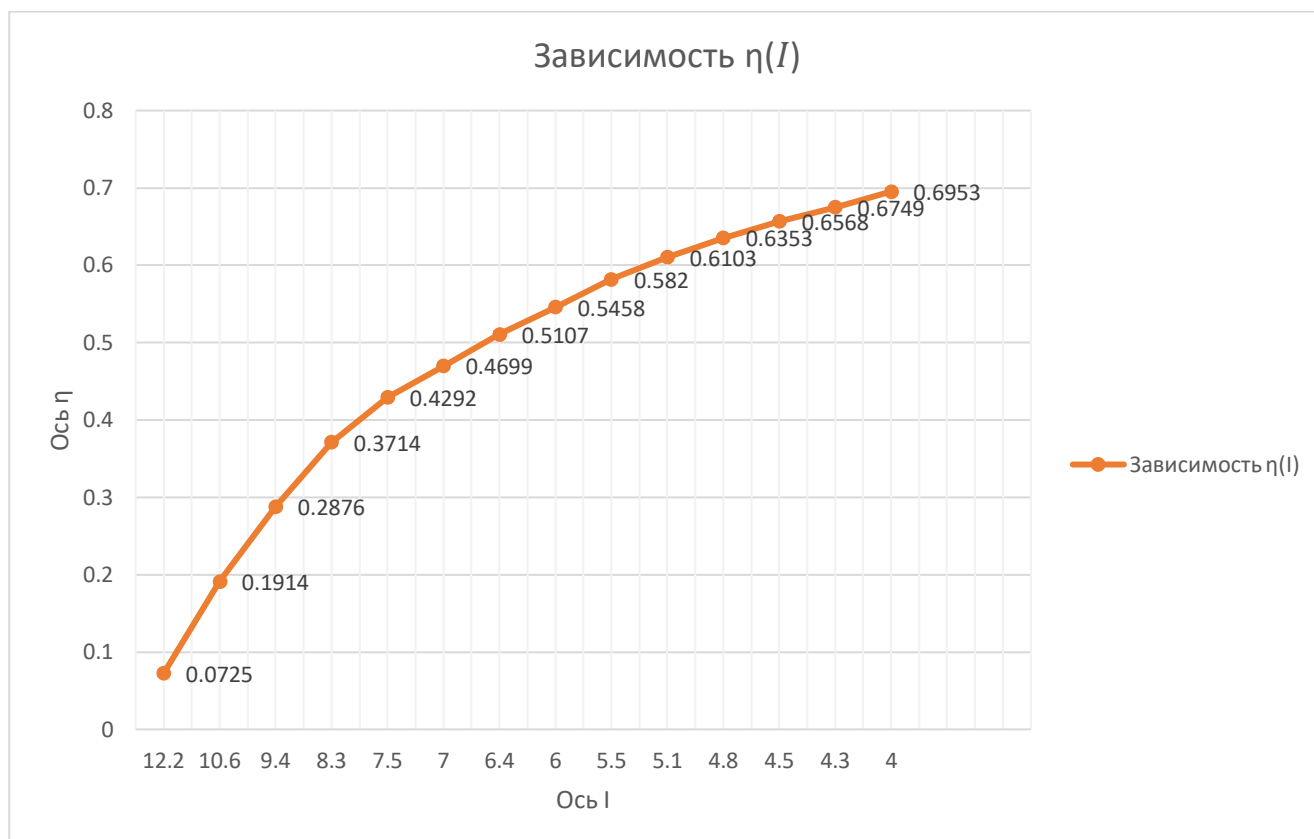
## 10. Графики.

Зависимость  $U(I)$



Зависимость  $P(I)$ ,  $P_r(I)$ ,  $P_s(I)$





## 11. Окончательные результаты.

Доверительный интервал для значения внутреннего сопротивления:

$$r = (0,6713 \pm 0,0037) \text{ В мА} \quad \varepsilon_r = 0,55 \%$$

Доверительный интервал для значения ЭДС источника:

$$\varepsilon = (8,8311 \pm 0,0269) \text{ В} \quad \varepsilon = 0,3 \%$$

Значение тока, при котором достигается максимум значения полезной мощности:

$$I^* = 6,5853 \text{ мА}$$

$$\text{Отклонение } \Delta I^* = |I^*_{\text{т}} - I^*| = 0,0076 \text{ мВт}$$

$$P_{\text{г max}} = 29,0745 \text{ мВт}$$

Для режима согласования:

$$R_{\text{согл}} = 0,6704 \text{ В мА} \approx r = 0,6713 \text{ В мА}$$

Проверка значения силы тока при КПД ( $\eta = 0,5$ ):

$$I^*_{0,5} = 6,5789 \text{ мА}$$

$$\text{Отклонение от экспериментального: } \Delta I^* = |I^* - I^*_{0,5}| = 0,0064 \text{ мВт}$$

$$\text{Отклонение от теоретического: } \Delta I^*_{0,5} = |I^*_{\text{т}} - I^*_{0,5}| = 0,0012 \text{ мВт}$$

## 12. Выводы и анализ результатов работы.

Рассчитаны необходимые косвенные значения мощностей (полезной, потерь и полной) и КПД источника.

Построены и исследованы зависимости значений мощностей и КПД источника от силы тока в цепи.

Методом наименьших квадратов были подсчитаны значения ЭДС и внутреннего сопротивления с соответствующими погрешностями.

Было рассчитано значение силы тока, при котором в данной конфигурации

вырабатывается максимальная полезная мощность, проверено, что при этом значении значение КПД источника становится равным 50%.

Найдено значение сопротивления при режиме согласования с источником тока.