

Группа М3102 К работе допущен _____
Студент Лопатенко Георгий Валентинович Работа выполнена _____
Преподаватель Тимофеева Э.О. Отчет принят _____

Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе №3.02

Характеристики источника тока

1. Цель работы:

Исследовать характеристики источника тока.

2. Задачи, решаемые при выполнении работы:

1. Получить данные измерений (построить экспериментальную выборку);
2. Исследовать зависимость полной, полезной мощностей и мощности потерь и падения напряжения во внешней цепи и КПД источника от силы тока в цепи;
3. Найти значения параметров источника: электродвижущей силы и внутреннего сопротивления, оценить их погрешности.

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: $\varepsilon = U + Ir = I(R + r)$

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

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

Δ_{ux} – 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:

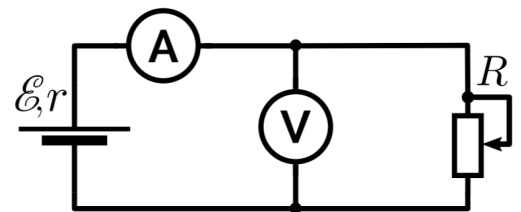
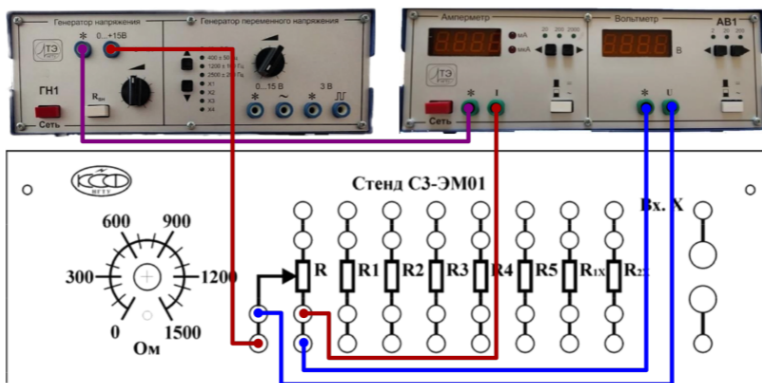
$$\Delta r = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{D(n-2)}}; \Delta \varepsilon = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N d_i^2}{(n-2)} \cdot \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{I}^2}{D}\right)}; d_i = U_i - (\varepsilon - I_i|r|); D = \sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I})^2$$

6. Измерительные приборы:

№	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 напряжения участка	$[0, 20] \text{ B}$	$5 \cdot 10^{-3} \text{ B}$

7. Схема установки:

Принципиальная схема установки состоит из источника тока, резистора с реостатом и измерительных приборов для регистрации напряжения и тока цепи соответственно. В качестве источника электродвижущей силы используется генератор регулируемого постоянного напряжения в составе ГН-1.



8. Результаты прямых измерений и их обработки:

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

№	$U, \text{ B}$	$I, \text{ mA}$	$P_R = UI, \text{ мВт}$	$P_S = I^2 r, \text{ мВт}$	$P = \varepsilon I, \text{ мВт}$	$\eta = \frac{P_R}{P}$
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

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

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

Значение тока, при котором достигается максимум значения полезной мощности:

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

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

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

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

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 погрешностей измерений:

Расчет абсолютных погрешностей для значений внутреннего сопротивления и ЭДС:

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

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

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

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:

График 1. Зависимость $U(I)$ с аппроксимирующей прямой.

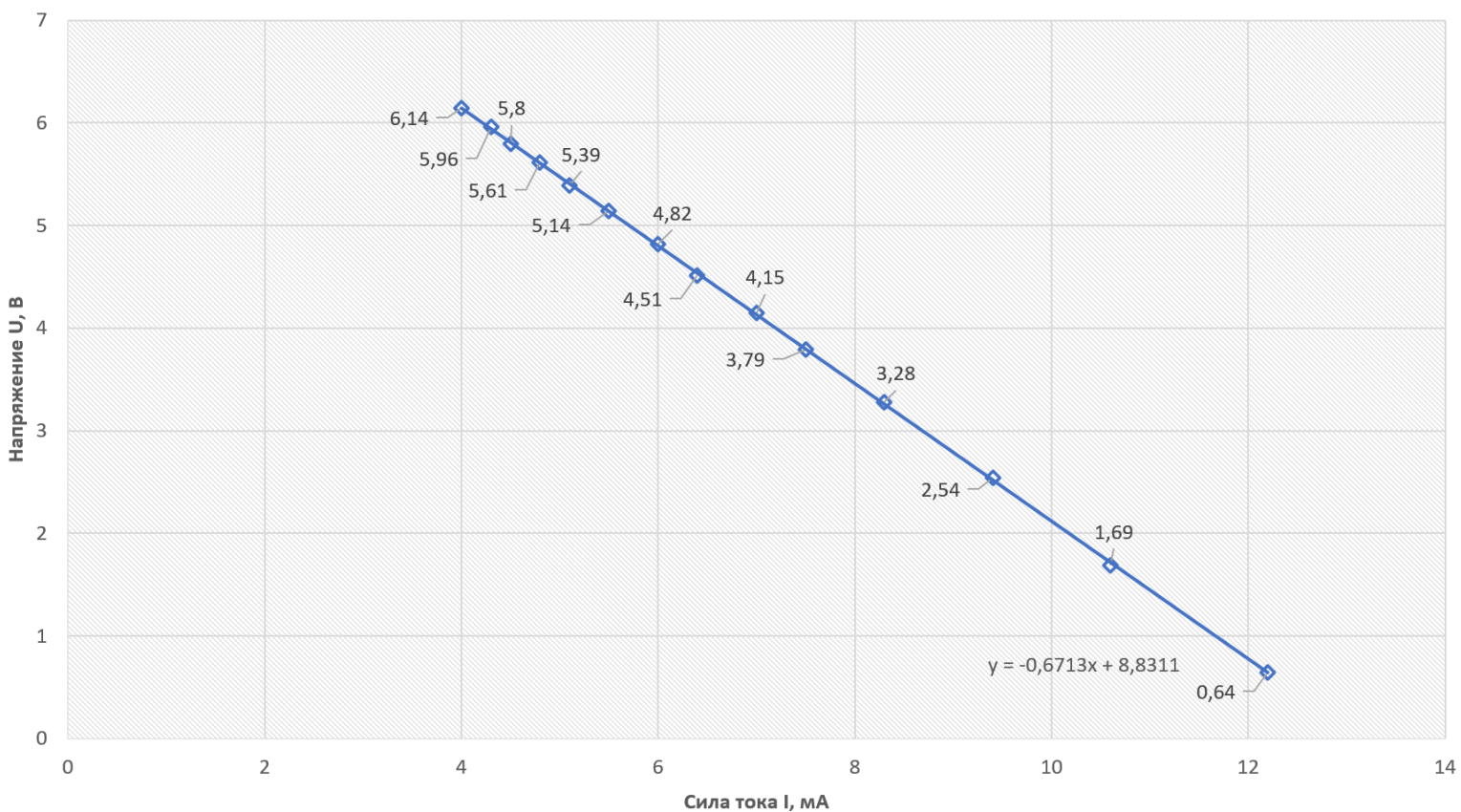


График 2. Зависимости $P(I)$, $P_R(I)$, $P_S(I)$. Аппроксимирующие функции.

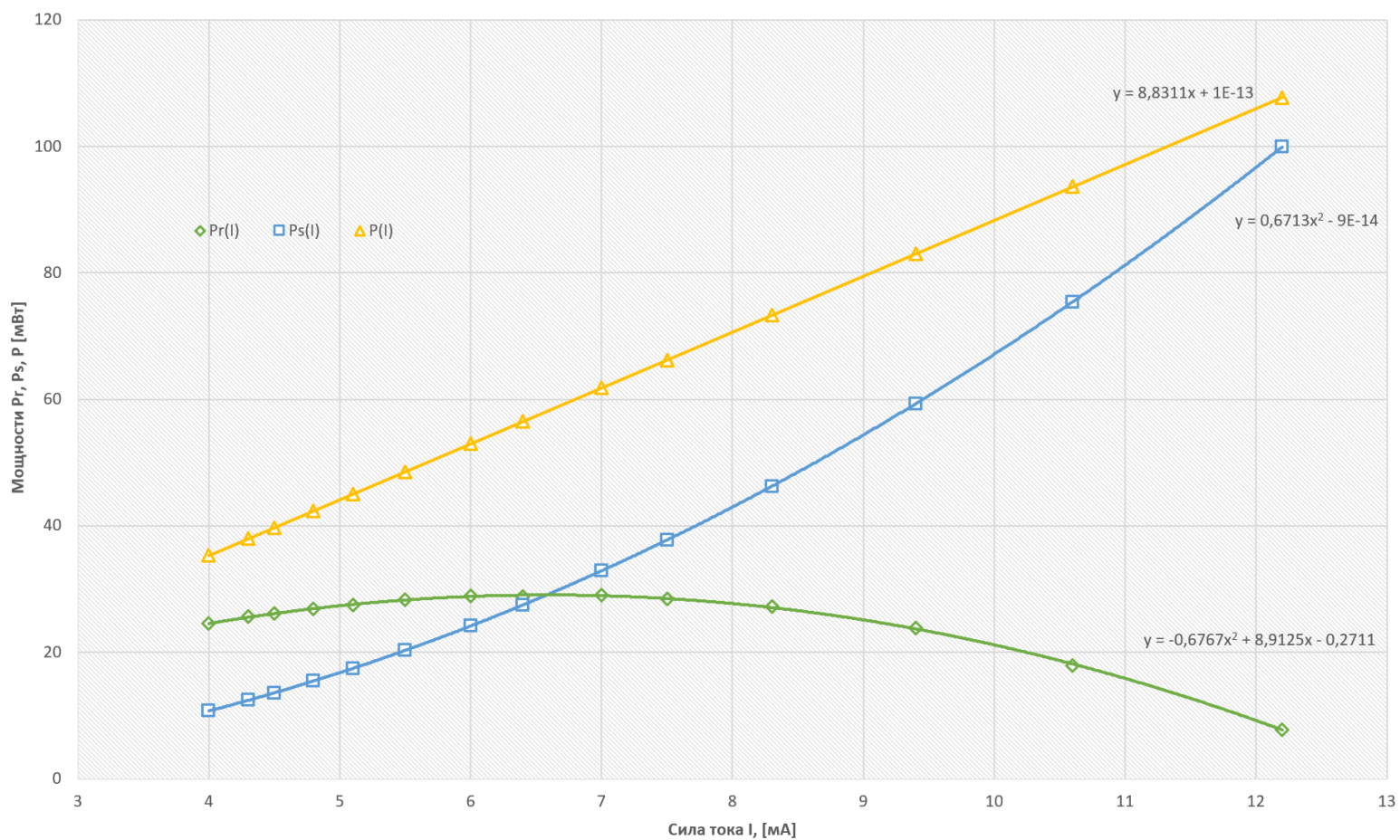
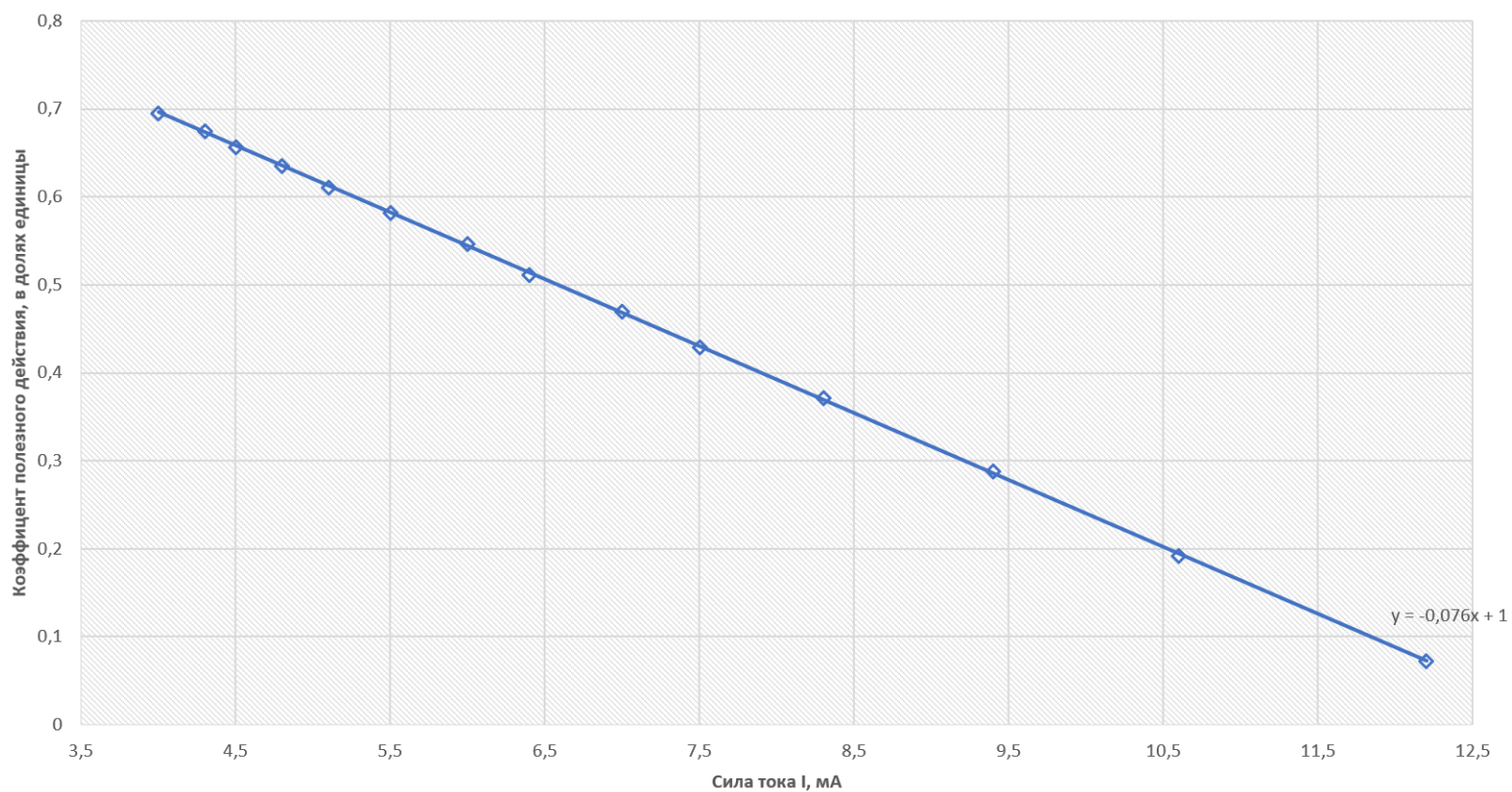


График 3. Зависимость $\eta(I)$ с аппроксимирующей прямой.



11. Окончательные результаты:

Доверительный интервал для значения внутреннего сопротивления:

$$r = (0,6713 \pm 0,0037) \frac{\text{В}}{\text{мА}} \quad \varepsilon_r = 0.55 \%$$

Доверительный интервал для значения ЭДС источника:

$$\varepsilon = (8,8311 \pm 0,0269) \text{ В} \quad \varepsilon_\varepsilon = 0.3 \%$$

Значение тока, при котором достигается максимум значения полезной мощности:

$$I^* = 6,5853 \text{ мА} \quad \text{Отклонение: } \Delta I^* = |I_{\text{т}}^* - I^*| = 0,0076 \text{ мВт}$$

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

Для режима согласования:

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

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:

После построения экспериментальной выборки были 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 и проверено, что это значение совпадает со значением внутреннего сопротивления источника.

Измерения:

Замеры по лабораторной работе № 3.02.						Лопатенко Георгий Хуяков Артём
N	U, В	I, мА	P _R , мВт	P _S , мВт	P, мВт	η
1	0,64	12,2				
2	1,69	10,6				
3	2,54	9,4				
4	3,28	8,3				
5	3,79	7,5				
6	4,15	7,0				
7	4,51	6,4				
8	4,82	6,0				
9	5,14	5,5				
10	5,39	5,1				
11	5,61	4,8				
12	5,80	4,5				
13	5,96	4,3				
14	6,14	4,0				
15						
16						
17						

10.03.22
Дудин