

Группа Р3210 К работе допущен \_\_\_\_\_

Студент Чжун Цзяцзюнь, Давидюк Антон Работа выполнена \_\_\_\_\_

Преподаватель Сорокина Елена Константиновна Отчет принят \_\_\_\_\_

## Рабочий протокол и отчет по лабораторной работе № 3.02

### Характеристики источника тока

#### Цель 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.

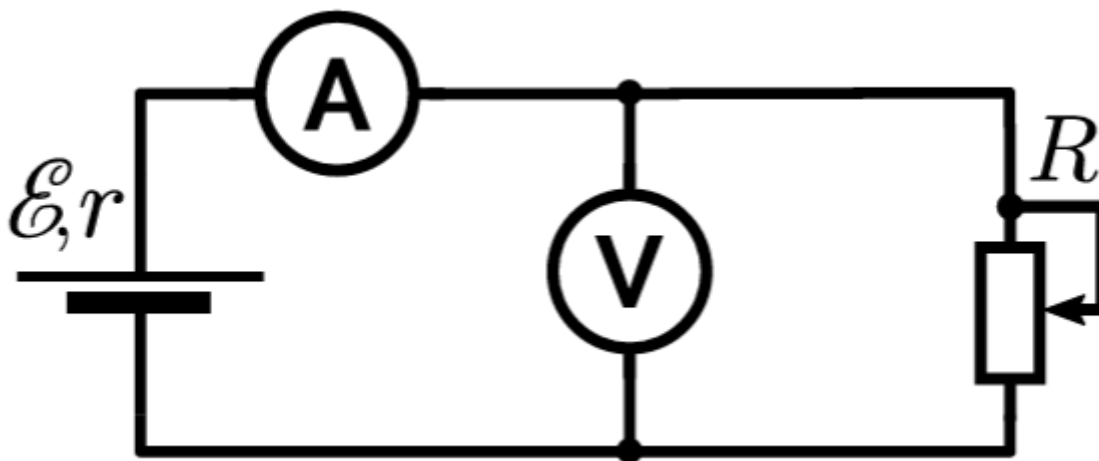
#### Рабочие формулы:

1. Закон Ома для замкнутой цепи:  $U = \mathcal{E} - IR$
2. Полная мощность источника:  $P = \mathcal{E}I$
3. Полезная мощность (нагрузки):  $P_R = UI = I^2R$
4. Мощность потерь (внутренняя):  $P_S = I^2r$
5. КПД источника тока:  $\eta = \frac{P_R}{P} = \frac{U}{\mathcal{E}} = 1 - \frac{Ir}{\mathcal{E}}$
6. Сопротивление нагрузки:  $R = \frac{U}{I}$
7. Отношение мощности:  $P = P_R + P_S$
8. Максимальная мощность:  $P_{Rmax} = \frac{\mathcal{E}^2}{4r}$

#### Схема установки:

Установка собрана на базе модуля АВ1. Она включает в себя:

- Регулируемый источник постоянного напряжения (ГН1).
- Цифровой амперметр и вольтметр для измерения тока и напряжения.
- Магазин сопротивлений в качестве переменной нагрузки R.
- Внутреннее сопротивление источника  $R_{BH} \approx 680 \Omega$



### Измерительные приборы:

№	Наименование	Тип	Диапазон	Погрешность
1	Вольтметр	AB1	20 V	$\pm 0.02$ V
2	Амперметр	AB1	20 mA	$\pm 0.04$ mA
3	Резистор	СЗ-ЭМ01	0 - 1500 $\Omega$	-

### Таблица результатов измерений (Таблица 1):

№	U, В	I, mA	R, Ом	PR, мВт	PS, мВт	P, мВт	$\eta$ , %
1	0.95	14.05	100	13.35	134.0	147.4	9.1
2	2.23	12.18	200	27.16	100.7	127.8	21.3
3	3.02	11.01	300	33.25	82.3	115.5	28.8
4	3.92	9.69	400	37.98	63.7	101.7	37.4
5	4.39	9.00	500	39.51	55.0	94.5	41.8
6	5.04	8.04	600	40.52	43.9	84.4	48.0
7	5.53	7.32	700	40.48	36.4	76.8	52.7
8	5.86	6.82	800	39.97	31.6	71.6	55.8
9	6.26	6.24	900	39.06	26.4	65.5	59.7
10	6.46	5.93	1000	38.31	23.9	62.2	61.6
11	6.75	5.51	1100	37.19	20.6	57.8	64.3
12	6.87	5.33	1200	36.62	19.3	55.9	65.5
13	7.12	4.95	1300	35.24	16.6	51.9	67.9
14	7.26	4.76	1400	34.56	15.4	50.0	69.2
15	7.27	4.78	1500	34.75	15.5	50.2	69.3

### Обработка результатов

#### 1. Расчет результатов косвенных измерений.

##### 1.1 Расчёт параметров источника методом наименьших квадратов (МНК)

Параметры зависимости  $U = \mathcal{E} - rI$  (где  $I$  в А) найдены методом наименьших квадратов (МНК):

- Электродвижущая сила:  $\mathcal{E} = 10.493$  В.
- Внутреннее сопротивление:  $r = 678.7$  Ом.

## 1.2 Оценка погрешностей параметров $\mathcal{E}$ и $r$

Прямые погрешности приборов:

$$\Delta U_{\text{приб}} = \pm 0.02 \text{ В}$$

$$\Delta I_{\text{приб}} = \pm 0.04 \text{ мА} = \pm 0.00004 \text{ А}$$

Для оценки случайной погрешности аппроксимации использована стандартная ошибка регрессии:

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (U_i - \hat{U}_i)^2}{n - 2}}$$

Затем:

$$\Delta \mathcal{E} \approx S_y \sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{I}^2}{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}} \approx 0.006 \text{ В}$$

$$\Delta r \approx \frac{S_y}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}} \approx 0.8 \text{ Ом}$$

Пример расчета для точки №1:

$$U = 0.95 \text{ В}, I = 14.05 \text{ мА}, I_A = 0.01405 \text{ А}, R = 100 \Omega$$

$$P_R = U \cdot I = 0.95 \cdot 14.05 = 13.35 \text{ мВт}$$

$$P = \mathcal{E} \cdot I = 10.493 \cdot 14.05 = 147.43 \text{ мВт}$$

$$P_S = I_A^2 \cdot r = (0.01405)^2 \cdot 678.7 \cdot 1000 \approx 134.0 \text{ мВт}$$

$$\eta = \frac{P_R}{P} \cdot 100\% = \frac{13.35}{147.43} \cdot 100\% \approx 9.1\%$$

## Расчет погрешностей измерений

### Прямые измерения:

- Приборная погрешность вольтметра:  $\Delta U = \pm 0.02$  В
- Приборная погрешность амперметра:  $\Delta I = \pm 0.04$  мА

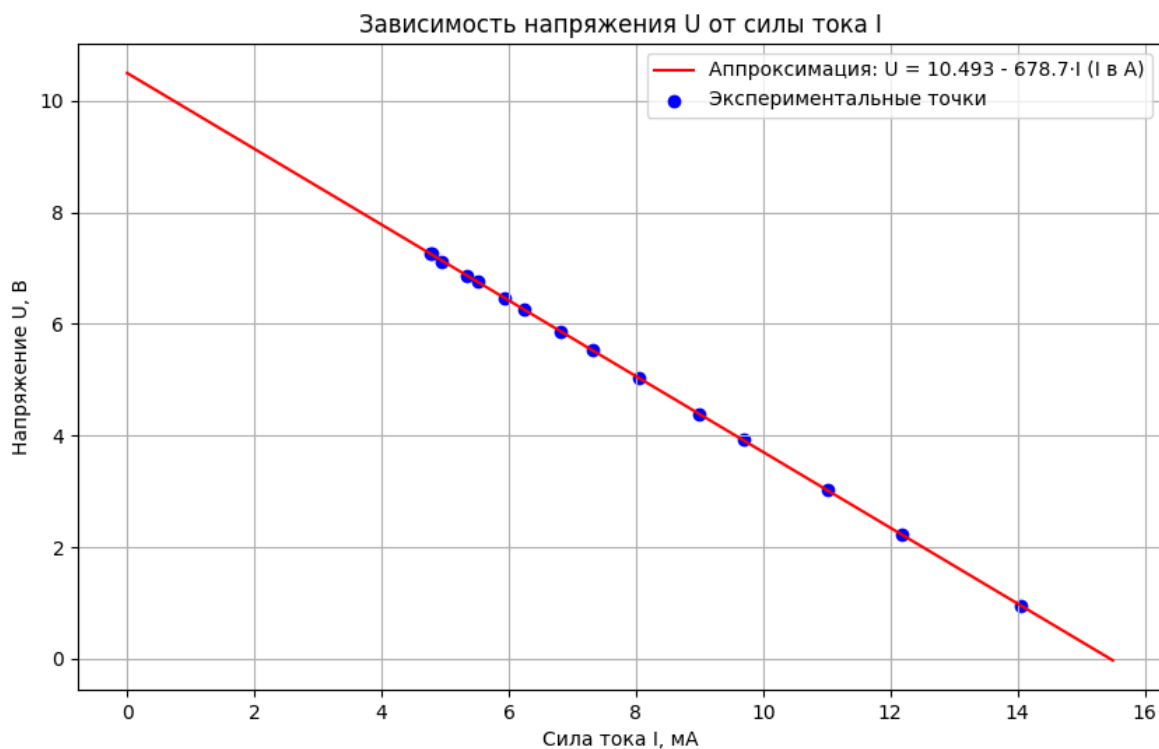
### Косвенные измерения:

- Полезная мощность  $P_R = U \cdot I = 0.95 \cdot 14.05 = 13.35$  мВт. Относительная погрешность:  
 $\delta P_R = \sqrt{(\Delta U/U)^2 + (\Delta I/I)^2} \approx \sqrt{(0.02/0.95)^2 + (0.04/14.05)^2} \approx 2.1\%$  (абсолютная  $\Delta P_R \approx 0.3$  мВт).

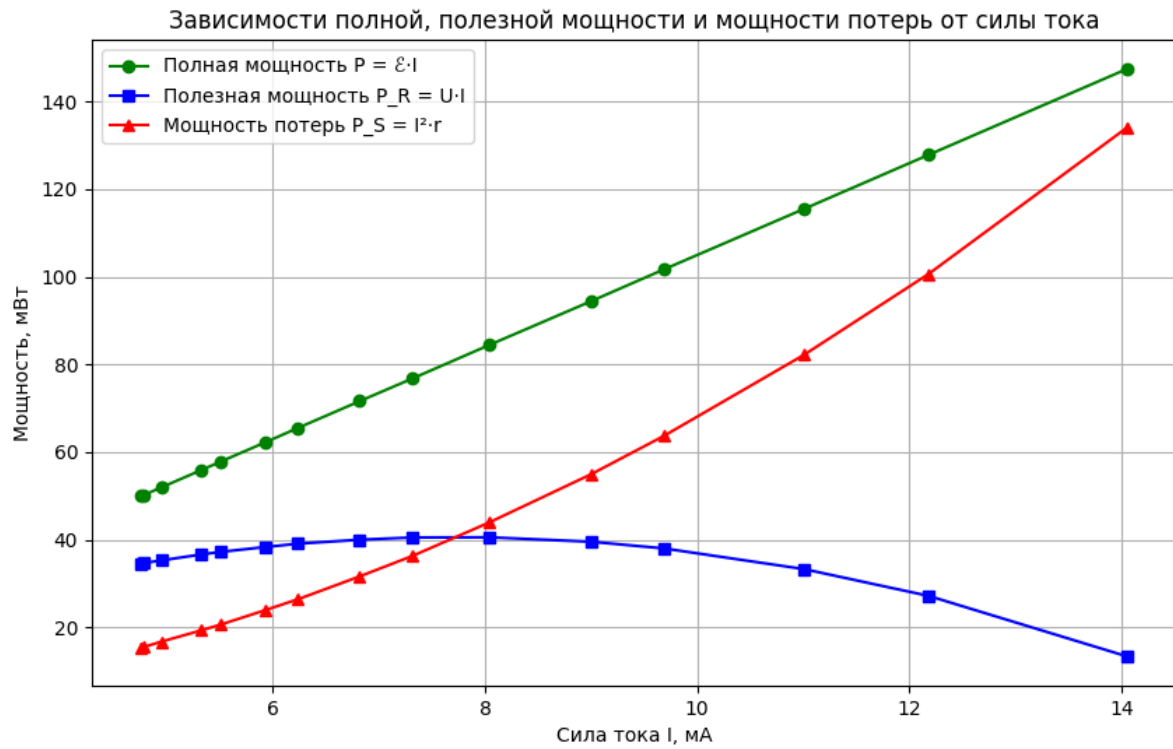
## Графики

### 1. Зависимость напряжения $U$ от силы тока $I$

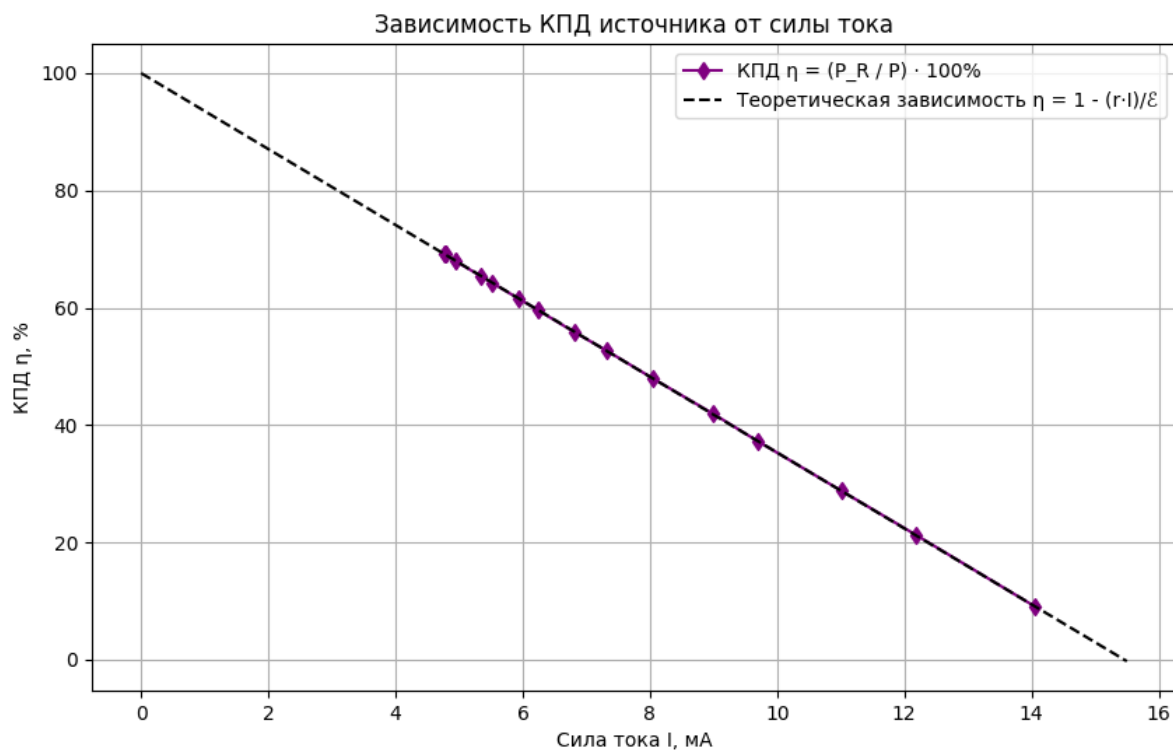
Линейная аппроксимация: прямая с углом наклона  $-r = -678.7\text{В/А}$ , пересечение с  $Y$ :  $\mathcal{E} = 10.493\text{В}$ , с  $X$ :  $I_K = \mathcal{E}/r \approx 15.46\text{мА}$ .



### 2. Зависимости мощностей $P$ , $P_R$ , $P_S$ от силы тока $I$



### 3. Зависимость КПД $\eta$ от силы тока $I$



**Окончательные результаты**

ЭДС источника:  $\varepsilon = (10.493 \pm 0.006) \text{ В}$

Внутреннее сопротивление:  $r = (678.7 \pm 0.8) \text{ Ом}$

Максимальная полезная мощность на нагрузке:  $P_{Rmax} \approx 40.56 \text{ мВт}$  (при  $R \approx r$  и  $I \approx 7.73 \text{ мА}$ )

## Выводы и анализ результатов работы

- 1 Зависимости мощностей и КПД соответствуют теоретическим: полная мощность линейна, полезная — параболическая с максимумом при  $I^* \approx 7.73 \text{ мА}$  ( $P_{Rmax} = \frac{\varepsilon^2}{4r} \approx 40.56 \text{ мВт}$ ), потери квадратичны. Максимум  $P_R$  достигается при  $R \approx r$ , что подтверждает условие согласования.
- 2 Параметры источника:  $\mathcal{E} = 10.493 \pm 0.006 \text{ В}$ ,  $r = 678.7 \pm 0.8 \text{ Ом}$ . Измеренные значения близки к номинальным (отклонение  $r < 0.2\%$ ), погрешности малы благодаря хорошей линейности.
- 3 Условия максимальной полезной мощности ( $\eta = 50\%$ ) и максимального КПД ( $\eta \rightarrow 100\%$ ) несовместимы: при высоком КПД ( $I \rightarrow 0$ )  $P_R$  мала, при max  $P_R$  (40.56) — половина мощности теряется внутри.
- 4 Эксперимент подтверждает теорию; возможные отклонения — от дискретности  $R$  и погрешностей приборов.