

Лабораторная работа 3.2.6

Сидорчук Максим

9 ноября 2023 г.

1 Цель работы

Изучение работы высокочувствительного зеркального гальванометра магнитоэлектрической системы в режимах измерения постоянного тока и электрического заряда.

2 В работе используются:

Зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой, источник постоянного напряжения, делитель напряжения, магазин сопротивлений, эталонный конденсатор, вольтметр, переключатель, ключи, линейка

3 Экспериментальная установка

3.1 Определение динамической постоянной

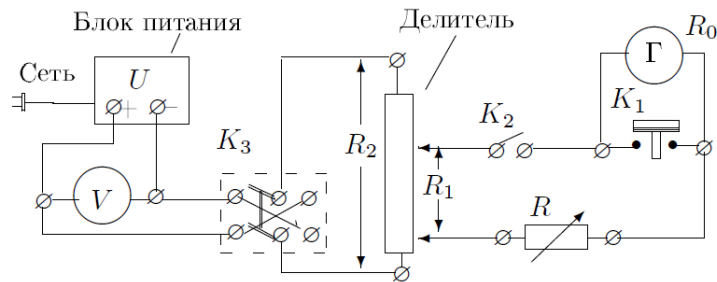


Рис. 1: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

Динамическую постоянную вычислим по формуле

$$C_I = \frac{2aI}{x}, \quad (1)$$

где a - расстояние от шкалы до зеркальца и I :

$$I = U_0 \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{R + R_0}. \quad (2)$$

3.2 Определение критического сопротивления гальванометра

Выполняется с помощью той же цепи, что и на рис. 1.

$$\Theta = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} = \gamma T = \frac{2\pi\gamma}{\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}} = \frac{2\pi R_3}{\sqrt{(R_0 + R)^2 - R_3^2}} \quad (3)$$

Рассчитаем критическое сопротивление по графику в координатах $X = (R_0^2 + R)$, $Y = 1/\Theta^2$

$$R_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta Y}} - R_0 \quad (4)$$

3.3 Определение баллистической постоянной и критического сопротивления гальванометра, работающего в баллистическом режиме

Для изучения работы гальванометра в режиме измерения заряда используется схема, представленная на рис. 2.

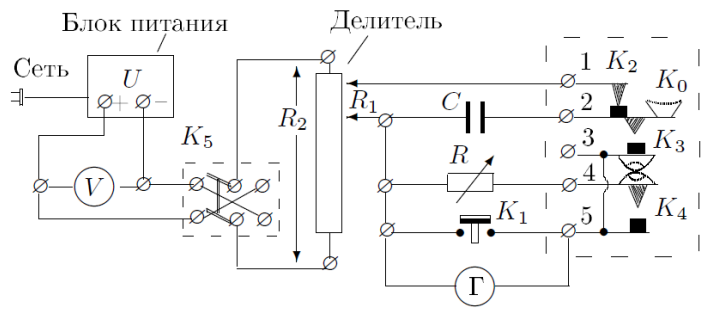


Рис. 2: Схема установки для определения баллистической постоянной

Баллистическая постоянная гальванометра определяется при критическом сопротивлении

C_{Qcr} = \frac{q}{\varphi_{maxcr}} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 C}{l_{maxcr}} \tag{5}

4 Ход работы

- 1. Соберём схему согласно рис. 1. Снимем зависимость отклонения зайчика x от сопротивления магазина R , увеличивая сопротивление магазина, но не меняя делителя. Результаты запишем в табл. 1. Ток в цепи рассчитаем по формуле (1) ($R_1/R_2 = 1/2000$, $U_0 = 1.47$ В, $R_0 = 280$ Ом.)

Таблица 1: Зависимость отклонения зайчика от сопротивления, постоянный ток

x , мм	225	202	178	138	113	96	84	75	66
R , кОм	23	26	30	40	50	60	70	80	90
I , нА	5.36	4.75	4.13	3.11	2.49	2.08	1.78	1.56	1.39

Графически представим результаты на графике $I = f(x)$ (рис. 3). Воспользуемся методом наименьших квадратов для определения наклона прямой и погрешности его определения.

C_I = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} = 1.539 \text{ нА/(мм/м)}

\sigma_{\Delta C_I} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - C_I^2} = 0.069 \text{ нА/(мм/м)}

Итого получаем

C_I = 1.539 \pm 0.069 \text{ нА/(мм/м)}

- 2. Рассчитаем логарифмический декремент затухания свободных колебаний рамки разомкнутого гальванометра. Результаты измерений занесём в табл. 2. Также определим приблизительно период свободных колебаний рамки.

Таблица 2: Отклонения рамки при свободных колебаниях

x_1 , мм	x_2 , мм	x_3 , мм	Θ_1	Θ_2	Θ	σ_Θ , мм	T , с
234	185 147	0.235	0.23	0.232	0.018	5.2	

Получили значение логарифмического декремента затухания свободных колебаний рамки

\Theta = 0.0641 \pm 0.0013

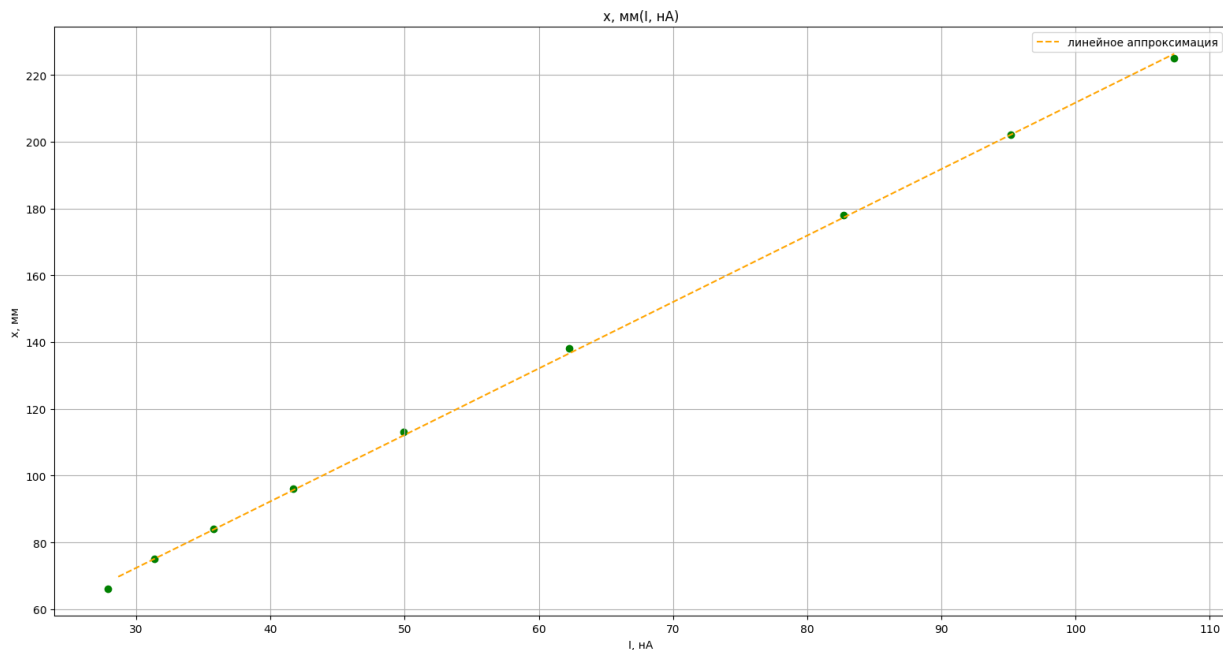


Рис. 3: Определение динамической постоянной гальванометра

- При разомкнутом ключе K_3 определим наибольшее сопротивление магазина R , при котором при размыкании ключа зайчик не переходит за нулевое значение шкалы. Это сопротивление близко к критическому $R_{cr} \approx 7067 \text{ Ом}$.
- Установим сопротивление магазина $R \approx 3R_{cr}$ и подберем делитель так, чтобы в стационарном режиме зайчик отклонялся на всю шкалу. Для расчёта Θ будем измерять два последовательных отклонения зайчика в одну сторону. Повторим измерения, увеличивая сопротивление магазина до $8R_{cr}$. Результаты занесём в табл. 3.

Таблица 3: Зависимость отклонения зайчика от сопротивления, после размыкания ключа K_3

R , кОм	24.736	28.27	31.804	35.338	38.872	42.406	49.473	56.54	63.608	70.675
x_1 , мм	34	80	82	82	76	77	70	67	64	58
x_2 , мм	5	15	16	20	20	22	24	26	26	26
Θ	1.917	1.674	1.634	1.411	1.335	1.253	1.070	0.947	0.901	0.802

Построим график зависимости декремента затухания колебаний от сопротивления на магазине в координатах $1/\Theta^2 = f[(R + R_0)^2]$ (рис. 4). Используя формулу (4) и метод наименьших квадратов, определим по нему критическое сопротивление гальванометра. Также используя метода наименьших квадратов, оценим погрешность определения этой величины (формулы см. в п. 5.1)

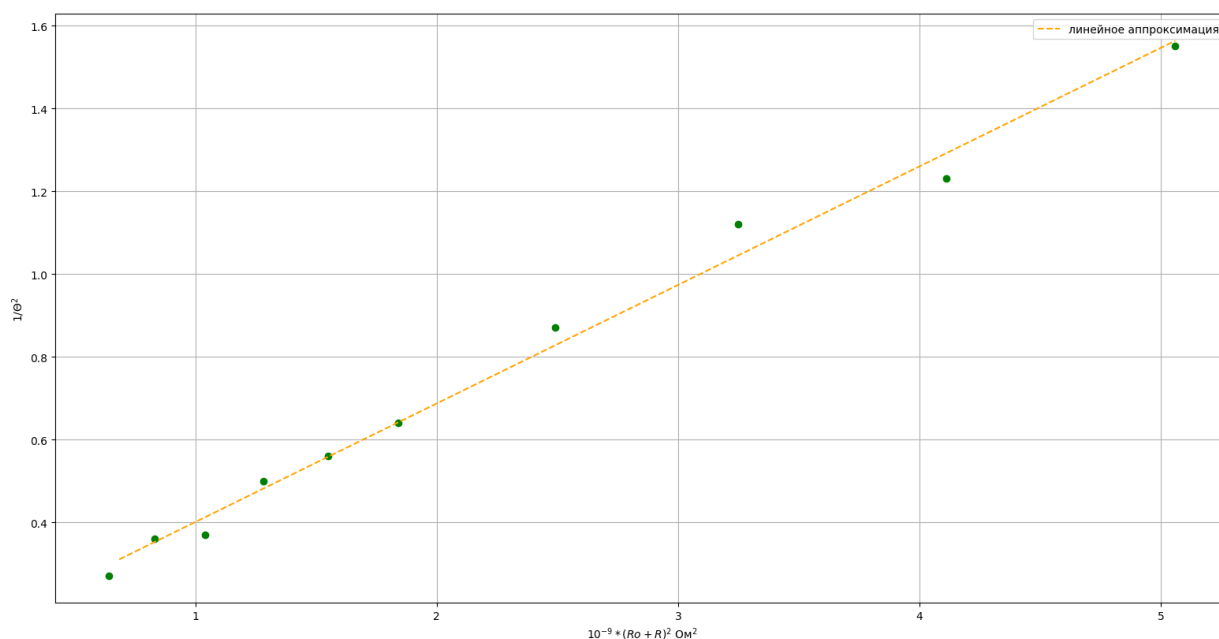


Рис. 4: Определение критического сопротивления гальванометра, статический режим

$$R_{\text{cr}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta Y}} - R_0$$

$$R_{\text{cr}} = 8929 \pm 140 \text{ Ом}$$

5. Перейдём к работе гальванометра в баллистическом режиме. Соберём схему по рис. 2. Разомкнём цепь R , отсоединив одну из клемм от магазина. Подберём делитель так, чтобы первый отбор соответствовал отклонению зайчика на всю шкалу. Для свободных колебаний $l_{\text{max}} = 237.8 \text{ мм}$.

Подключим магазин назад. Снимем зависимость величины первого отброса от R . Результаты занесём в табл. 4.

Таблица 4: Зависимость отклонения зайчика от сопротивления, после размыкания ключа K_3

$l_{\text{max}}, \text{ мм}$	22	21.3	21	20.8	20	19.1	17.8	16.1	14.4	11.3	5.5	10	8.7	8.1	6.8	6.1
$R, \text{ кОм}$	50	45.18	40.36	35.54	30.72	25.9	21.08	16.26	11.44	6.6	1.8	5.62	4.62	3.62	2.62	2.1

Построим график $l_{\text{max}} = f[(R_0 + R)^{-1}]$. По графику, используя метод наименьших квадратов, определим критическое сопротивление гальванометра ($l_{\text{cr}} = l_{\text{max}}/e$).

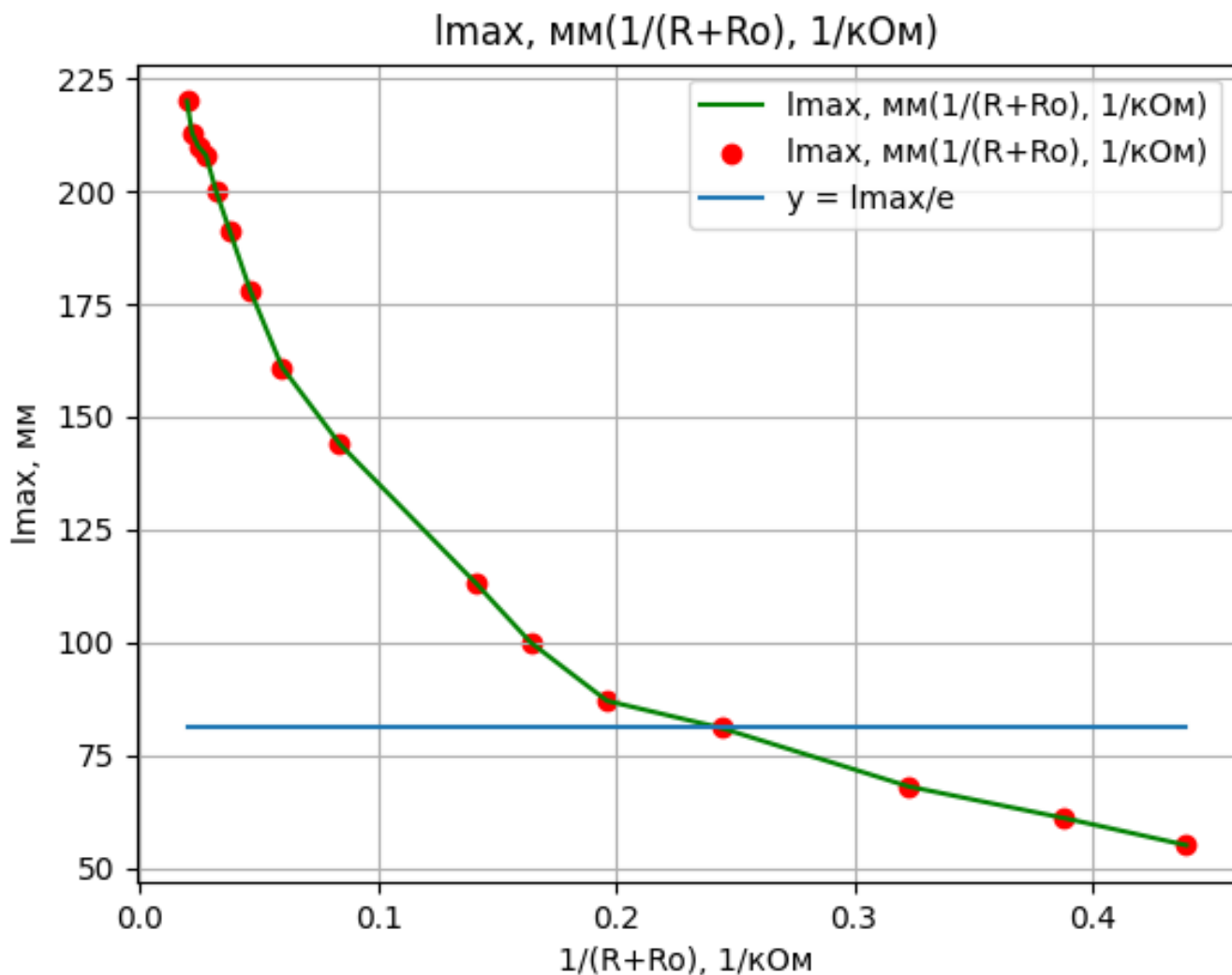


Рис. 5: Определение критического сопротивления гальванометра, баллистический режим

$$a = 181, b = -111634$$

$$R_{cr} = \left(\frac{l_{cr}-a}{b}\right)^{-1} - R_0 = 7233 \pm 112 \text{ Ом}$$

6. По формуле (5) рассчитаем баллистическую постоянную в критическом режиме:

$$C_{Qcr} = \frac{q}{\varphi_{\max cr}} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 C}{l_{\max cr}}$$

$$C_{Qcr} = (1.91 \pm 0.05) * 10^{-9} \text{ К/(мм/м)}$$

7. Сравним время релаксации $t = R_0 C$ и период свободных колебаний гальванометра T_0 $t = 0.00056s \ll T = 5s$ Время релаксации много меньше периода свободных колебаний. Эксперимент корректен.

5 Вывод

В ходе эксперимента был исследован принцип работы гальванометра в режиме постоянного тока и в баллистическом режиме. Определены динамическая и баллистическая постоянные гальванометра:

$$C_I = 1.539 \pm 0.069 \text{ нА/(мм/м)} \quad C_{Qcr} = 9.33 \pm 0.3 * 10^{-9} \text{ К/(мм/м)}$$

Тремя разными способами было исследовано критическое сопротивление гальванометра. Результаты практически совпадают.

Таблица 5: Значения R_{cr} , полученные разными способами

R_{cr} , Ом - подбор	R_{cr} , Ом - по графику в стационарном режиме	R_{cr} , Ом - по графику в баллистическом режиме
7067	8929 ± 140	7233 ± 112