

# Лабораторная работа 3.2.6

Сидорчук Максим

7 декабря 2024 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 Теоретические положения

*Баллистический гальванометр* – электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы, отличающийся высокой чувствительностью к току и сравнительно большим периодом свободных колебаний.

На помещённую в магнитное поле обтекаемую током рамку гальванометра действуют момент закрученной нити, момент магнитных сил и тормозящий момент (зависит от сил сопротивления воздуха и от вихревых токов). Учитывая все эти моменты, уравнение движения рамки принимает вид

$$\ddot{\varphi} + 2\gamma\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = KI,$$

где  $\gamma$  – коэффициент затухания подвижной системы гальванометра,  $\omega_0$  – собственная частота колебаний рамки

Динамическая постоянная гальванометра определяется при пропускании через рамку постоянного тока:

$$C_I = \frac{I}{\varphi} = \frac{D}{BSN},$$

где  $B$  – индукция магнитного поля в рамке,  $S$  – площадь одного витка рамки,  $D$  – модуль кручения нити.

При пропускании коротких импульсов тока через баллистический гальванометр начальная скорость движения рамки пропорциональна электрическому заряду, прошедшему через рамку за всё время импульса. Отношение баллистических постоянных в критическом и свободном режимах равно  $e$ .

## 4 Экспериментальная установка

### 4.1 Определение динамической постоянной

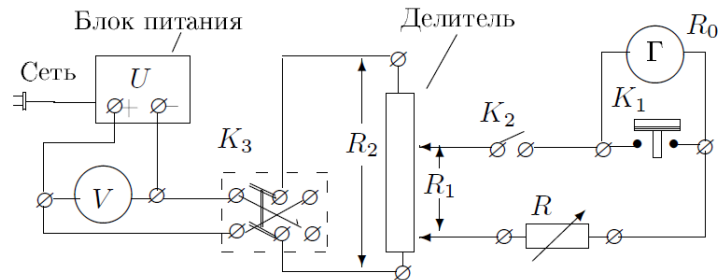


Рис. 1: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

Динамическую постоянную вычислим по формуле

$$C_I = \frac{2aI}{x}, \tag{1}$$

где  $a$  - расстояние от шкалы до зеркальца и  $I$ :

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

## 4.2 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  $X = (R_0^2 + R)$ ,  $Y = 1/\Theta^2$

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

## 4.3 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.

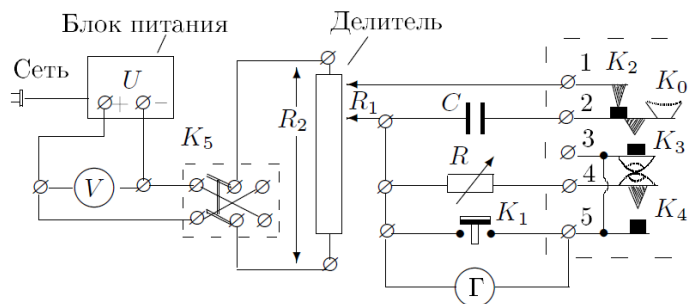


Рис. 2: Схема установки для определения баллистической постоянной

Баллистическая постоянная гальванометра определяется при критическом сопротивлении

$$C_{Qcr} = \frac{q}{\varphi_{maxcr}} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0 C}{I_{maxcr}} \quad (5)$$

## 5 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.

$$C_I = \frac{\langle xy \rangle - \langle x \rangle \langle y \rangle}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} = 1.54 \text{ нА/(мм/м)}$$

$$\sigma_{\Delta C_I} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle y^2 \rangle - \langle y \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2} - C_I^2} = 0.07 \text{ нА/(мм/м)}$$

Итого получаем

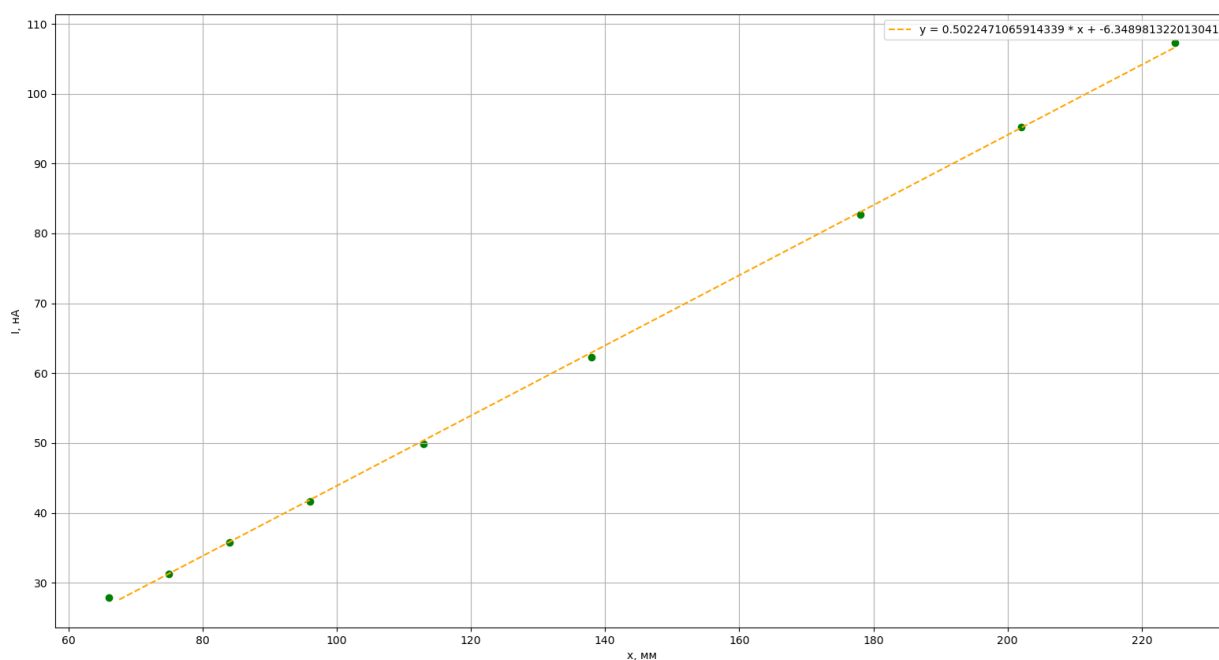


Рис. 3: Определение динамической постоянной гальванометра

$$C_I = 1.54 \pm 0.07 \text{ нА}/(\text{мм}/\text{м})$$

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	$\Theta_1$	$\Theta_2$	$\Theta$	$\sigma_\Theta$ , мм	$T$ , с
234	185	147	0.235	0.23	0.232	0.018	5.2

Получили значение логарифмического декремента затухания свободных колебаний рамки

$$\Theta = 0.0641 \pm 0.0013$$

3. 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  $R_{\text{кр}} \approx 7067 \text{ Ом}$ .
4. Установим сопротивление магазина  $R \approx 3R_{\text{кр}}$  и подберем делитель так, чтобы в стационарном режиме зайчик отклонялся на всю шкалу. Для расчёта  $\Theta$  будем измерять два последовательных отклонения зайчика в одну сторону. Повторим измерения, увеличивая сопротивление магазина до  $8R_{\text{кр}}$ . 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
$\Theta$	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 со-

противление гальванометра. Также используя метода наименьших квадратов, оценим погрешность определения этой величины (формулы см. в п. 5.1)

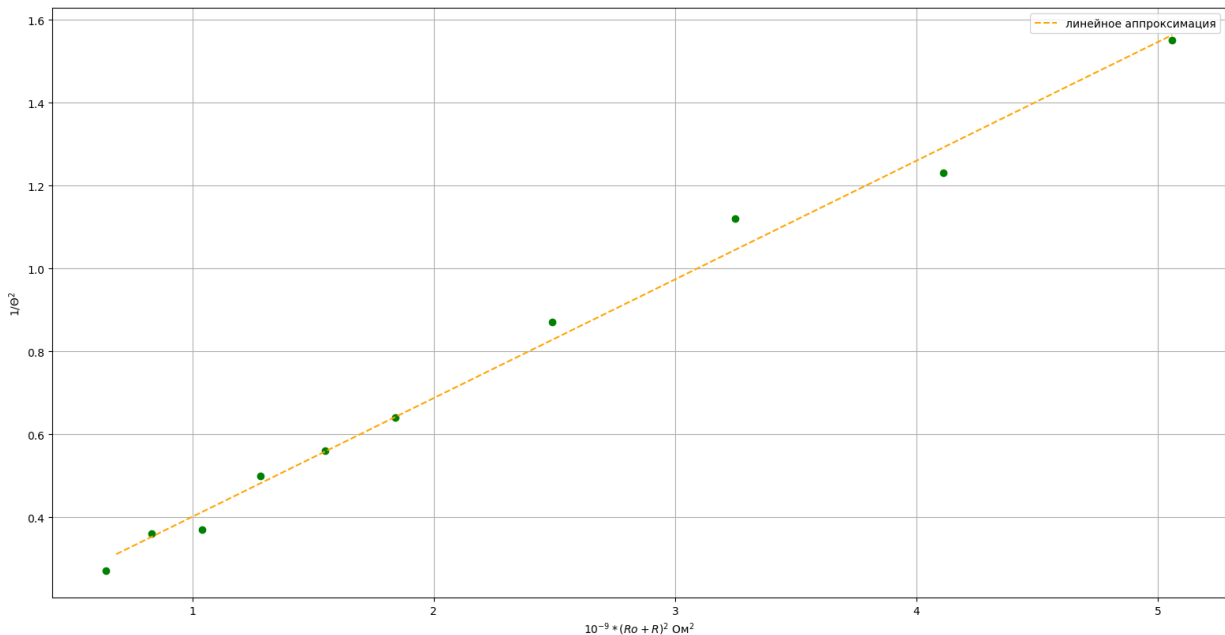


Рис. 4: Определение критического сопротивления гальванометра, статический режим

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

$$R_{cr} = 8929 \pm 140 \text{ Ом}$$

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  $l_{max} = 237.8 \text{ мм}$ .

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  $K_3$

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

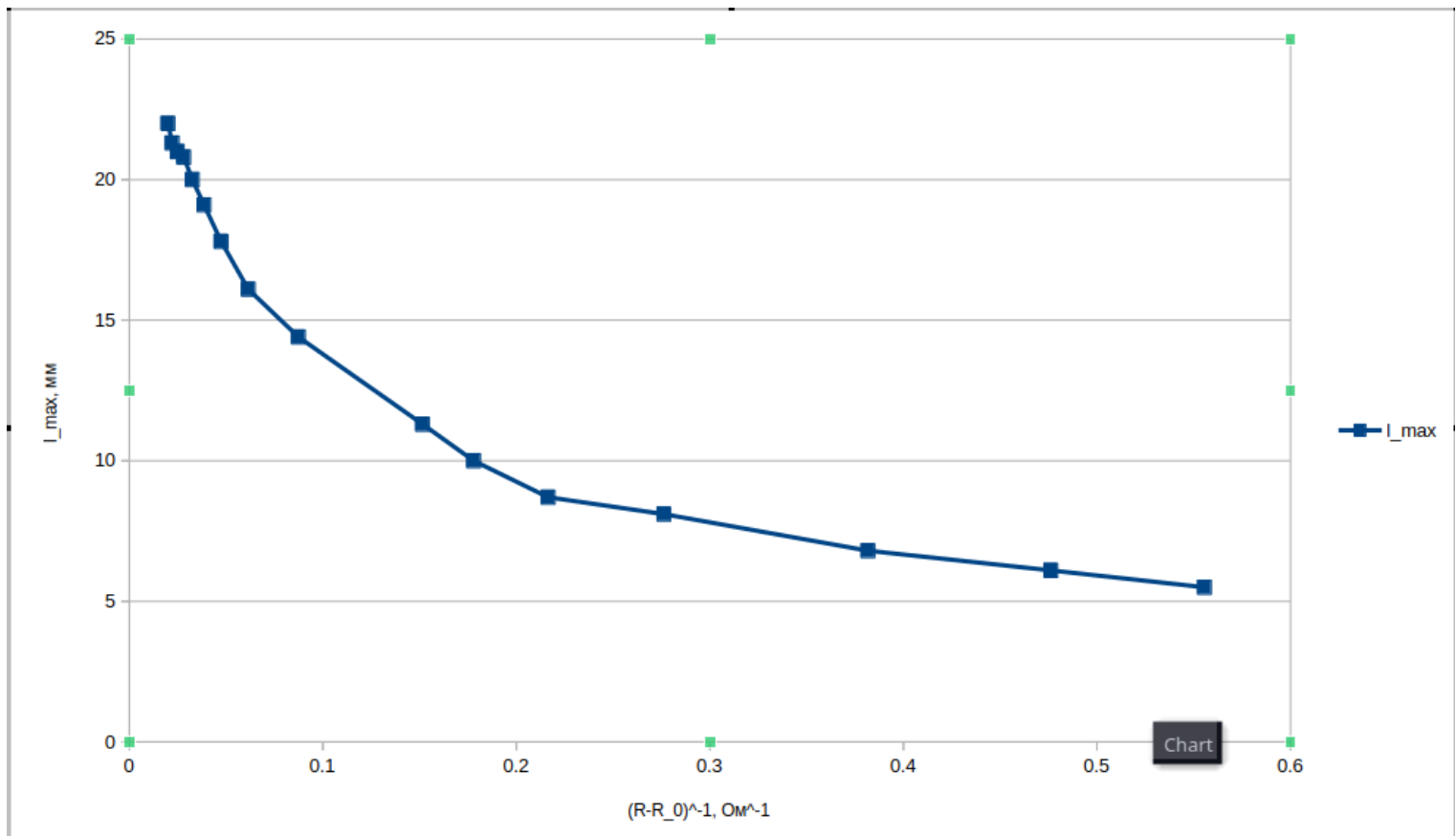


Рис. 5: Определение критического сопротивления гальванометра, баллистический режим

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

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

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

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

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

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

## 6 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	$8929 \pm 140$	$7233 \pm 112$