

МФТИ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование гальванометра

Б01-204

Усов Илья

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 γ – коэффициент затухания подвижной системы гальванометра, ω_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

Постоянное напряжение $U = 1,5\text{В}$ снимается с блока питания и измеряется вольтметром V . Ключ K_3 позволяет менять величину тока через гальванометр Γ , делитель напряжения – менять величину тока в широких пределах. Ключ K_2 служит для включения гальванометра, кнопка K_1 – для его успокоения. Магазин сопротивлений R позволяет менять режим работы гальванометра от колебательного до апериодического.

При малых R_1 сила тока, протекающего через гальванометр, может быть вычислена по формуле

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

Динамическую постоянную вычисли по формуле

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

где a – расстояние от шкалы до зеркала.

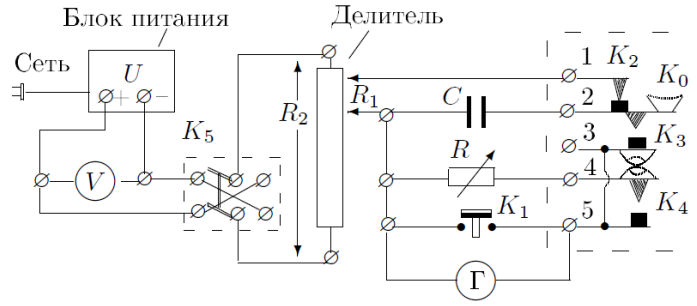


Рис. 1: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

4.2 Определение критического сопротивления гальванометра

Выполняется с помощью той же цепи, что и на рис. 1. При больших R движение рамки имеет колебательный характер, с уменьшением R затухание увеличивается, и колебательный режим переходит в апериодический.

Найдём логарифмический декремент затухания колебаний рамки Θ .

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

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.

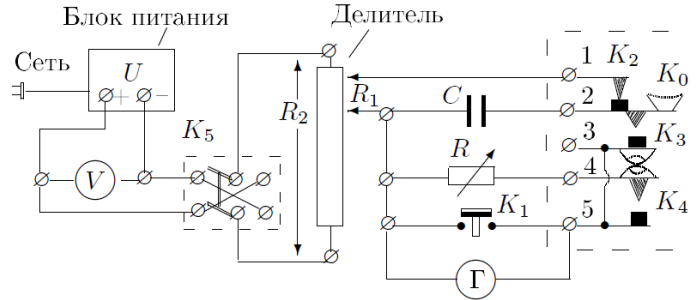


Рис. 2: Схема установки для определения баллистической постоянной

При нормальном положении кнопки K_0 конденсатор C заряжается до напряжения

$$U_c = \frac{R_1}{R_2} U_0$$

Заряд конденсатора равен

$$q = \frac{R_1}{R_2} U_0 C$$

При нажатии на ключ K_0 конденсатор отключается от источника постоянного напряжения и подключается к гальванометру. К моменту замыкания ключа K_4 весь заряд успевает пройти через гальванометр, рамка получает начальную скорость. Баллистическая постоянная гальванометра определяется при критическом сопротивлении

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

5 Ход работы

1. Подготовим к работе приборы, настроим гальванометр. 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) ($R_1/R_2 = 1/500$, $U_0 = 61$ В, $R_0 = 475$ 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.

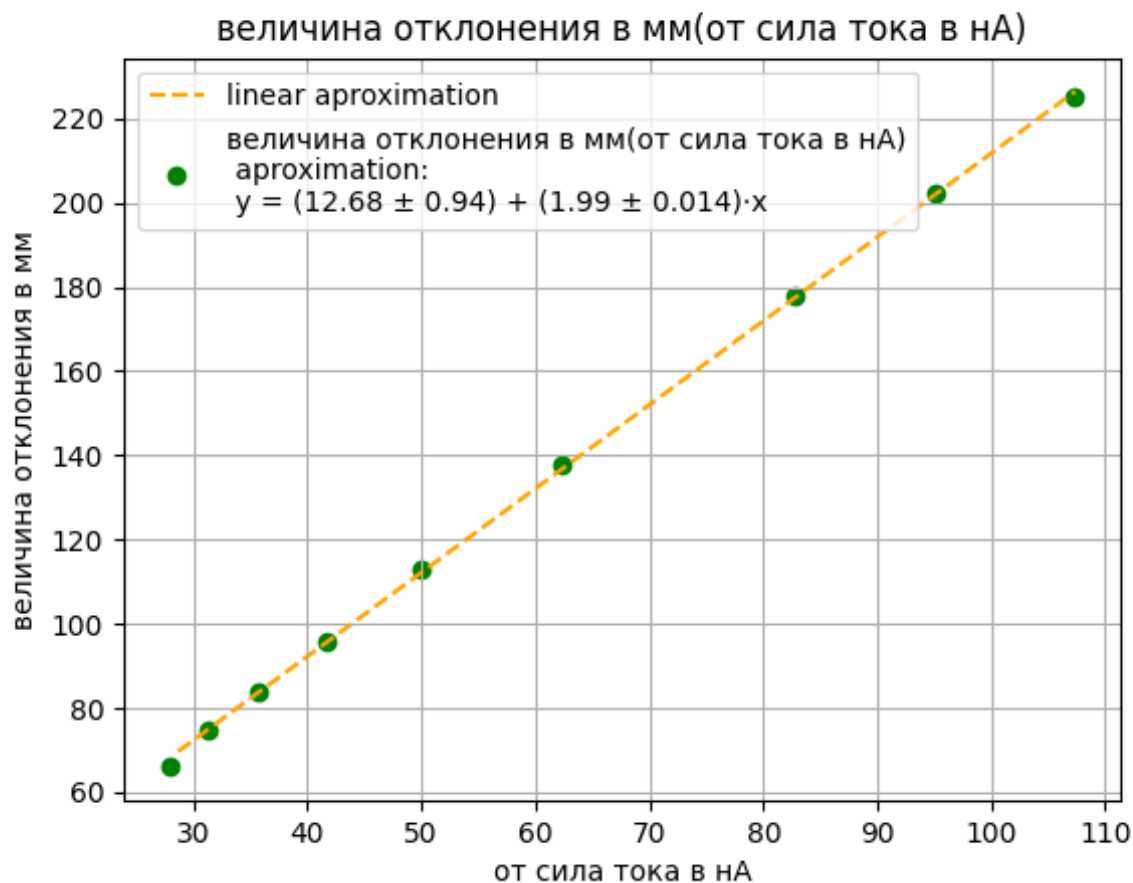


Рис. 3: Определение динамической постоянной гальванометра

Итого получаем

$$k = 1.99 \pm 0.01 \text{ нА/мм}$$

и тогда

$$L = 1.32 \pm 0.01 \text{ м}$$

$$C_I = 2Lk$$

$$\epsilon_{C_I} = \sqrt{\epsilon_L^2 + \epsilon_k^2} = 1,2\%$$

Итого получаем динамическую постоянную $C_I = 5.28 \pm 0.06 \text{ нА/(мм/м)}$

2. Рассчитаем логарифмический декремент затухания свободных колебаний рамки разомкнутого галь-

ванометра. 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

$$\Theta = 0.23 \pm 0.02$$

- 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 $R_{cr} \approx 7067$ 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)

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

$$R_{cr} = 8929 \pm 140 \text{ Ом}$$

- 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 $l_{max} = 237.8$ 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} , 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 , 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 определим критическое сопротивление гальванометра ($l_{cr} = l_{max}/e$).

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

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

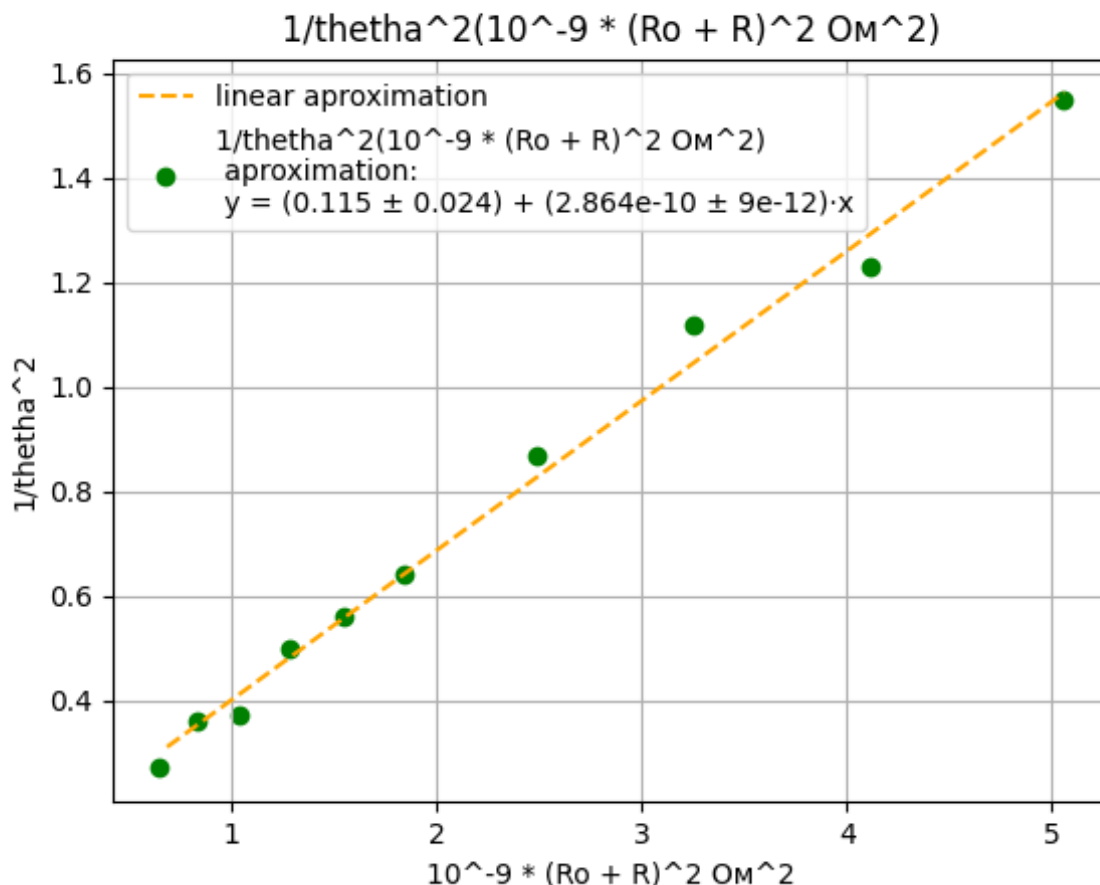


Рис. 4: Определение критического сопротивления гальванометра, статический режим

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

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

7. Сравним время релаксации $t = R_0 C$ и период свободных колебаний гальванометра T_0

$$t = 0.00056c \ll T = 5c$$

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:

$$C_I = 5.28 \pm 0.06 \text{ нА/(мм/м)} \quad C_{Qcr} = (1.91 \pm 0.05) * 10^{-9} \text{ K/(мм/м)}$$

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

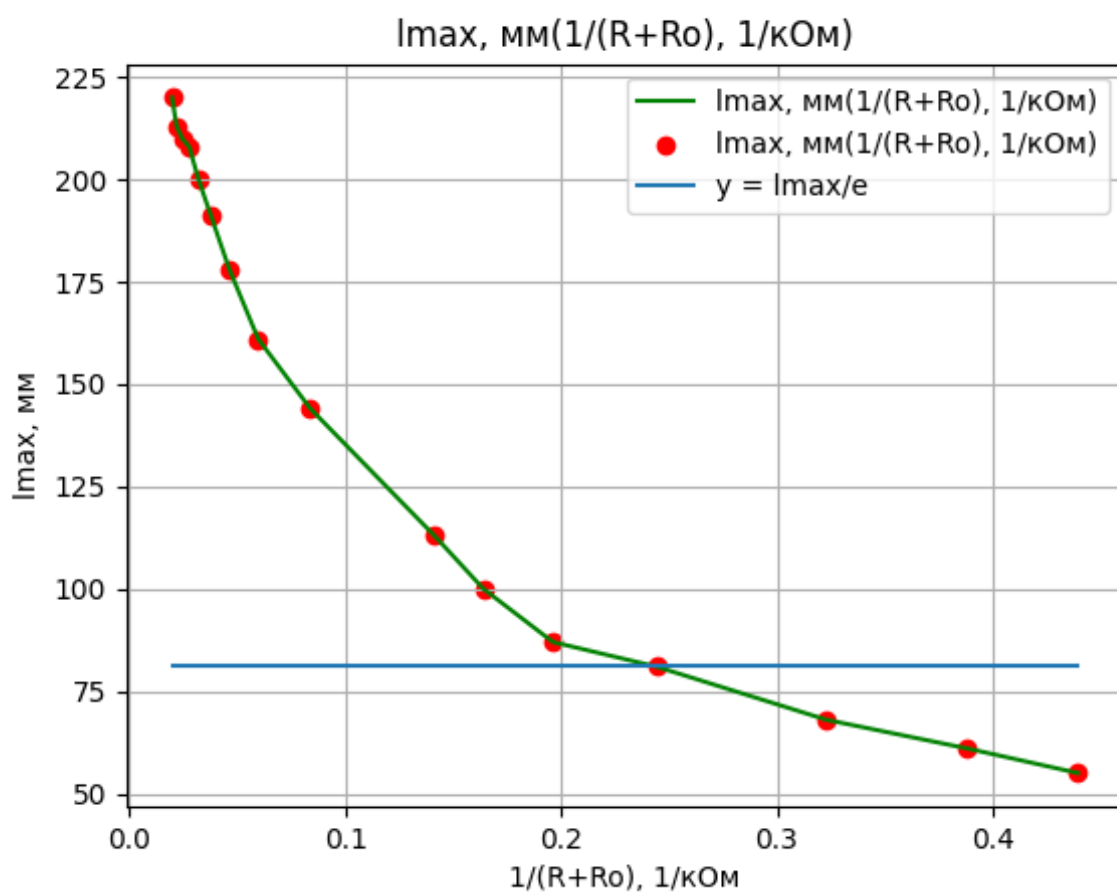


Рис. 5: Определение критического сопротивления гальванометра, баллистический режим