

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

Исследование гальванометра

выполнила студентка 653 группы ФФКЭ

Карпова Татьяна

Долгопрудный, 2017 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 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.

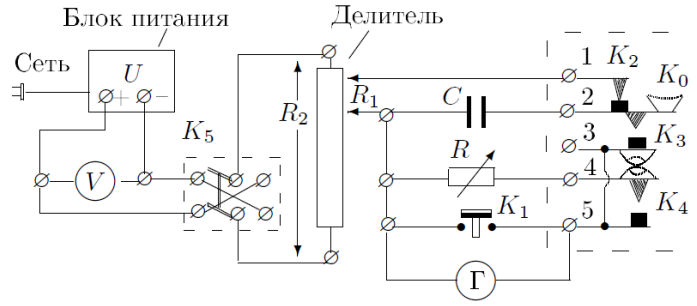


Рис. 1: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

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.

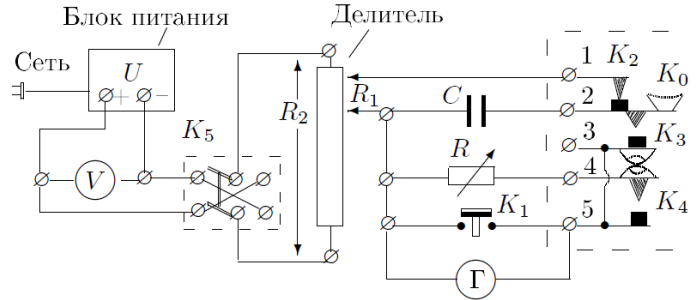


Рис. 2: Схема установки для определения баллистической постоянной

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) ($R_1/R_2 = 1/2000$, $U_0 = 1.47$ В, $R_0 = 280$ Ом.)

Таблица 1: Зависимость отклонения зайчика от сопротивления, постоянный ток

x , мм	161	144	133	119	109	99	78	63	52	25	15	12	2
R , кОм	2.4	2.9	3.3	3.9	4.4	5	6.8	8.8	10.8	20.8	29.8	34	44
I , нА	264.93	223.27	198.32	169.86	151.71	134.47	100.28	78.19	64.08	33.68	23.60	20.71	16.03

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

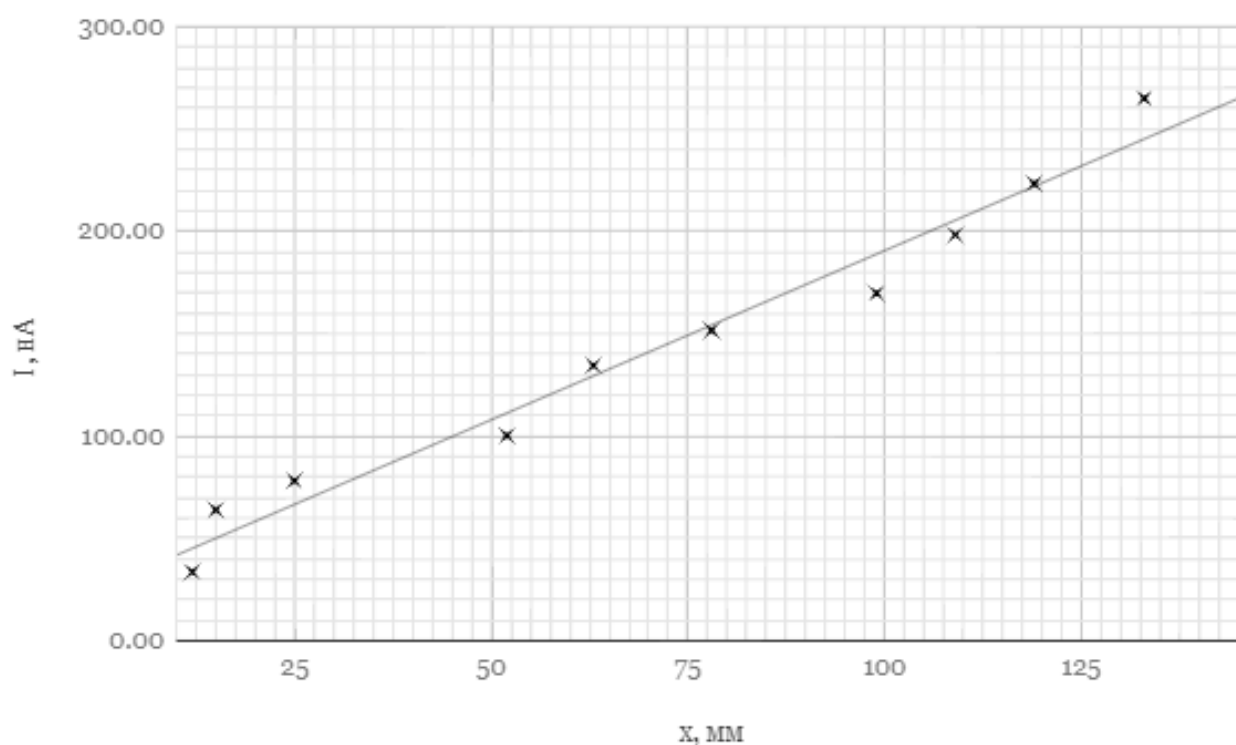


Рис. 3: Определение динамической постоянной гальванометра

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

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

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.

Получили значение логарифмического декремента затухания свободных колебаний рамки

$$\Theta = 0.0641 \pm 0.0013$$

Таблица 2: Отклонения рамки при свободных колебаниях

x_1 , мм	x_2 , мм	x_3 , мм	x_4 , мм	Θ_1	Θ_2	Θ_3	Θ	σ_Θ , мм	T , с
14.3	13.4	12.6	11.8	0.0650	0.0616	0.0656	0.0641	0.0013	5

- 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 $R_{cr} \approx 1000$ 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	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	7	8
x_1 , мм	222	204	188	178	168	159	151	137	126
x_2 , мм	17	30	28	32	35	38	39	42	43
Θ	2.569	1.917	1.904	1.716	1.569	1.431	1.354	1.182	1.075

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)

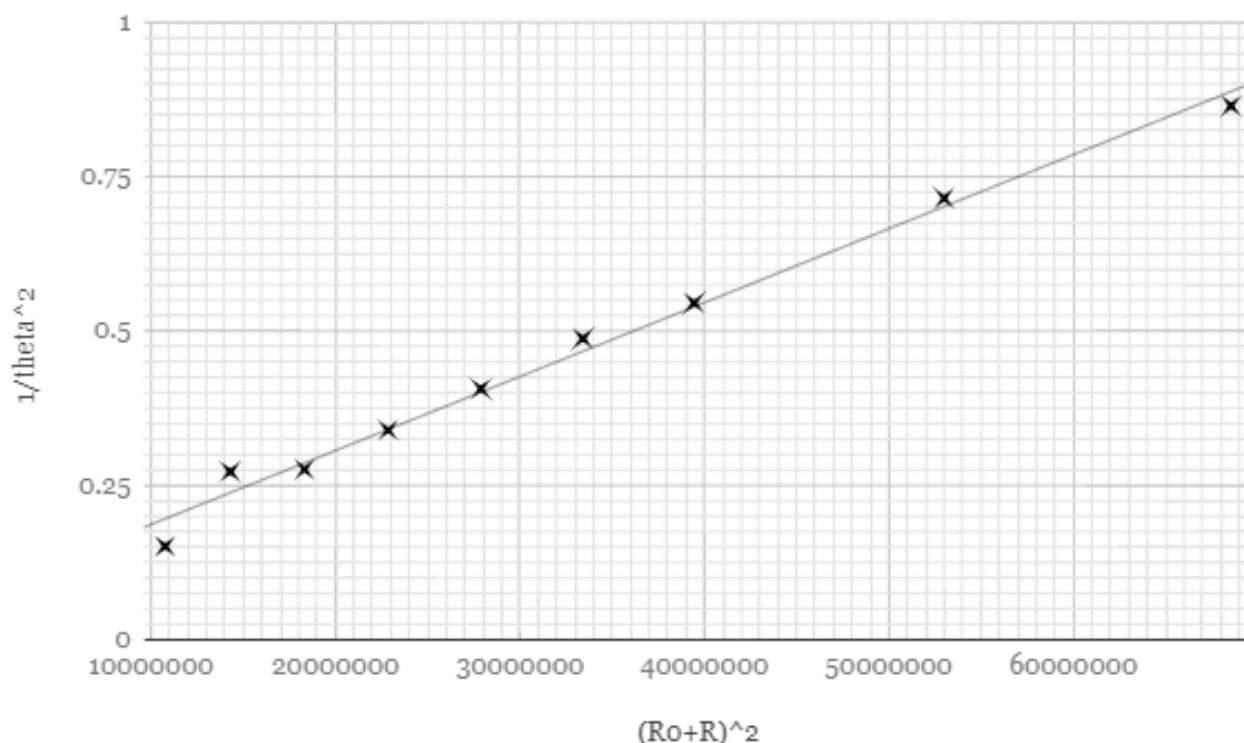


Рис. 4: Определение критического сопротивления гальванометра, статический режим

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

$$R_{cr} = 1173 \pm 25 \text{ Ом}$$

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 $l_{max} = 237.8$ 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	180	182	178	177	163	115	85
R , кОм	50	40	30	20	5	2	0.8

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

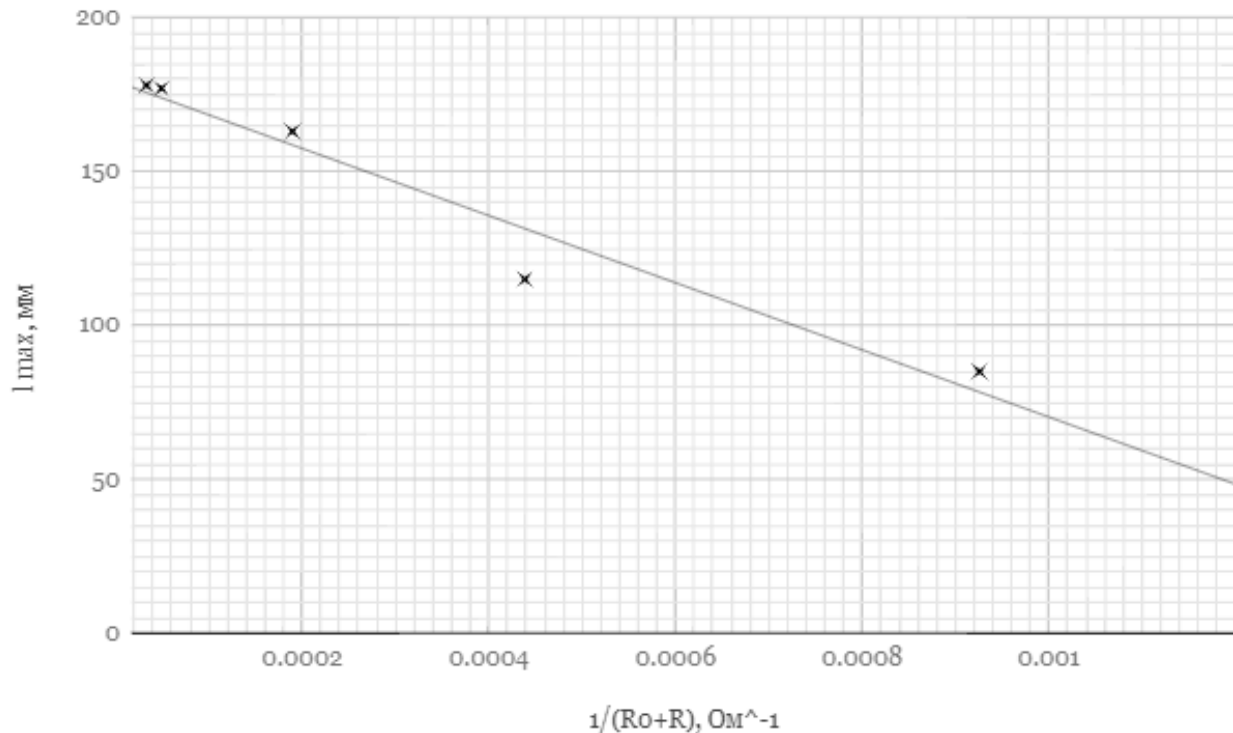


Рис. 5: Определение критического сопротивления гальванометра, баллистический режим

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

$$R_{cr} = \left(\frac{l_{cr} - a}{b}\right)^{-1} - R_0 = 881.73 \pm 88.17 \text{ Ом}$$

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

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

$$C_{Qcr} = 9.33 \pm 0.3 \cdot 10^{-9} \text{ К/(мм/м)}$$

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:

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

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
1000	1173 ± 25	882 ± 88