

Отчет о выполнении лабораторной работы 3.2.6

Изучение гальванометра

Студент: Копытова Виктория
Сергеевна
Группа: Б03-304

1 Аннотация

Цель работы: изучение работы высокочувствительного зеркального гальванометра магнитоэлектрической системы в режимах измерения постоянного тока и электрического заряда.

В работе используются: зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой, источник постоянного напряжения, делитель напряжения, магазин сопротивлений, эталонный конденсатор, вольтметр, переключатель, ключи, линейка.

2 Теоретические сведения

Баллистическим гальванометром называют электроизмерительный прибор магнитоэлектрической системы, отличающийся высокой чувствительностью к току и сравнительно большим периодом колебаний подвижной системы (рамки). (Рис. 1)

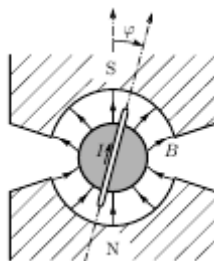


Рис. 1: Рамка

Баллистический гальванометр позволяет измерять как постоянный ток (стационарный режим), так и заряд, протекший через рамку за некоторое время (баллистический режим).

Уравнение движения рамки в магнитном поле

$$\ddot{\varphi} + 2\gamma\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = KI \quad (1)$$

Здесь параметры γ, ω_0 колебательной системы и коэффициент K связаны с параметрами гальванометра формулами

$$K = \frac{BNS}{J}, \quad 2\gamma = \beta_{\text{тр}} + \frac{(BSN)^2}{JR_{\Sigma}} \approx \frac{(BSN)^2}{JR_{\Sigma}}, \quad \omega_0^2 = \frac{D}{J}$$

Режим измерения постоянного тока

Если через рамку пропускать постоянный ток $I = \text{const}$, то заменой переменной $\tilde{\varphi} = \varphi - KI/\omega_0^2$ уравнение (1) приводится к однородному уравнению, описывающему свободные затухающие колебания. Если подождать достаточно долго, чтобы собственные колебания затухли, в уравнении (9) можно положить $\dot{\varphi} = 0$, $\ddot{\varphi} = 0$, так что угол поворота рамки определится формулами

$$\varphi = \frac{K}{\omega_0^2}I = \frac{BSN}{D}I = S_I I = \frac{I}{C_I} \quad (2)$$

где величина $S_I = \varphi/I = BSN/D$ называется чувствительностью гальванометра к току, а обратная ей величина $C_I = 1/S_I = D/(BSN)$ — динамической постоянной гальванометра.

Свободные колебания рамки

Когда $I = 0$ уравнение (1) для угла поворота рамки φ примет вид

$$\ddot{\varphi} + 2\gamma\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0 \quad (3)$$

Примем, что начальные условия таковы:

$$\varphi(0) = 0, \quad \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$$

Возможные случаи движения рамки:

1. $\gamma < \omega_0$ (колебательный режим). Решение уравнения 3 имеет в этом случае вид

$$\varphi(t) = \frac{\dot{\varphi}_0}{\omega_1} e^{-\gamma t} \sin \omega_1 t, \quad \omega_1 = \sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}$$

2. $\gamma = \omega_0$ (критический режим). Этот режим реализуется при сопротивлении внешнего участка цепи R , равном критическому сопротивлению:

$$R_{\text{кр}} = R_{\Sigma \text{ кр}} - R_0 = \frac{(BSN)^2}{2\sqrt{DJ}} - R_0$$

Решение уравнения 3 в этом случае имеет вид

$$\varphi(t) = \dot{\varphi}_0 t e^{-\gamma t}$$

Движение не имеет колебательного характера.

3. $\gamma > \omega_0$ (затухание велико). Решение уравнения 3 при этом имеет вид

$$\varphi(t) = \frac{\dot{\varphi}_0}{\alpha} e^{-\gamma t} \text{sh } \alpha t, \quad \alpha = \sqrt{\gamma^2 - \omega_0^2}$$

Движение аperiодическое, однако подвижная система приближается к равновесию медленнее, чем в критическом режиме.

Режим измерения заряда

Величина $C_q = q/\varphi_{\text{max}}$ называется баллистической постоянной гальванометра. Величина $S_q = 1/C_q$ называется чувствительностью гальванометра к заряду.

Расчёт показывает, что максимальный отброс достигается при полном отсутствии затухания (тормозящий индукционный ток отсутствует при обрыве в цепи):

$$\varphi_{\text{max}}^{\text{св}} = \frac{\dot{\varphi}(\tau)}{\omega_0} = \frac{Kq}{\omega_0}$$

В этом случае, однако, возникшие в результате отброса колебания рамки не будут успокаиваться.

Как правило, удобнее всего работать в режиме, близком к критическому. В случае критического затухания

$$\varphi_{\text{max}}^{\text{кр}} = \frac{Kq}{\omega_0 e}$$

3 Ход работы

3.1 Постоянный ток

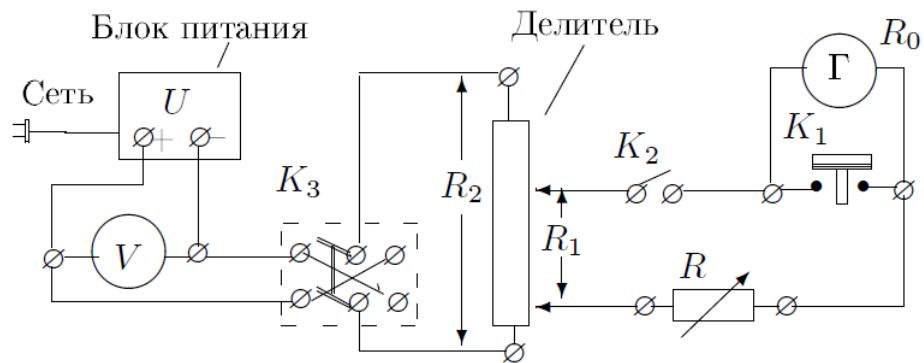


Рис. 2: Экспериментальная установка

При $R_1 \ll R, R_0, R_2$ сила тока, протекающего через гальванометр, может быть вычислена как

$$I = \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0}{R + R_0}$$

Таблица 1: Зависимость отклонения от сопротивления при постоянном токе

x , мм	244	215	179	173	166	160	155	136	122	76	48
R , кОм	8,9	10	12	12,5	13	13,5	14	16	18	30	50
I , нА	140,4	125,7	105,6	101,5	97,8	94,3	91,0	80,0	71,4	43,3	26,1
σ_I , нА	3	3	2	2	2	2	2	2	2	1	1

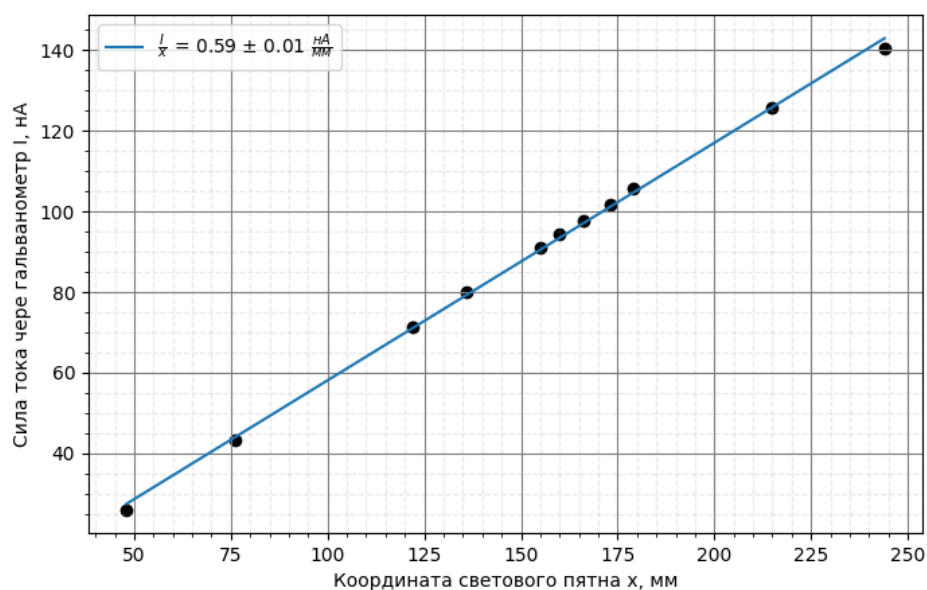


Рис. 3: Зависимость силы тока от отклонения

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{1000}, R_2 = 10 \text{ кОм}, R_0 = 0,5 \text{ кОм}$$

$$\sigma_{\frac{I}{x}} = \frac{1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{\langle I^2 \rangle - \langle I \rangle^2}{\langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2}} = 0,01 \frac{\text{нА}}{\text{мм}}$$

$$\sigma_{C_I} = C_I \cdot \sqrt{\left(\frac{\sigma_a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_{\frac{I}{x}}}{\frac{I}{x}}\right)^2} = 0,02 \frac{\text{нА}}{\text{мм/м}}$$

$$C_I = 2a \frac{I}{x} = (1,66 \pm 0,02) \frac{\text{нА}}{\text{мм/м}}$$

$$S_I = \frac{1}{C_I} = (0,60 \pm 0,006) \frac{\text{мм/м}}{\text{нА}}$$

3.2 Баллистический режим

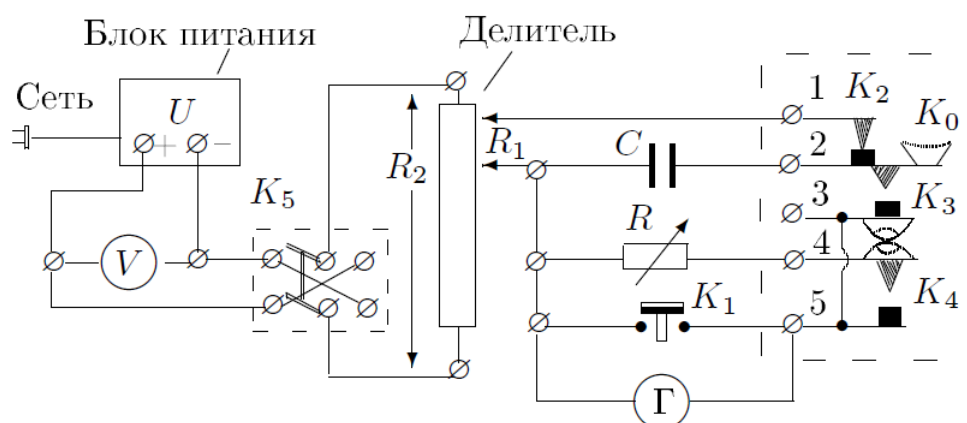


Рис. 4: Экспериментальная установка

Логарифмический декремент затухания разомкнутого гальванометра $\theta_0 = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} = \ln \frac{172}{19} = 2,20 \pm 0,05$

Таблица 2: Зависимость декремента затухания от сопротивления

θ	0,85	0,93	1,05	1,20	1,33	1,44	1,64	1,81
R , кОм	80	70	60	50	45	40	35	30
σ_θ	0,07	0,08	0,07	0,09	0,08	0,07	0,07	0,08
$R_{кр}(\theta)$, кОм	10,3	9,8	9,5	9,0	8,9	8,5	8,4	7,9

$$R_{кр} = \langle R_{кр}(\theta) \rangle = (9,0 \pm 0,3) \text{ кОм}$$

$$\sigma_{R_{кр}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (R_{кр}^i - R_{кр})^2}$$

Таблица 3: Зависимость отклонения гальванометра от сопротивления

x_{max} , мм	174	175	172	164	156	130	111	83	40
R , кОм	50	45	40	30	20	15	10	5	2

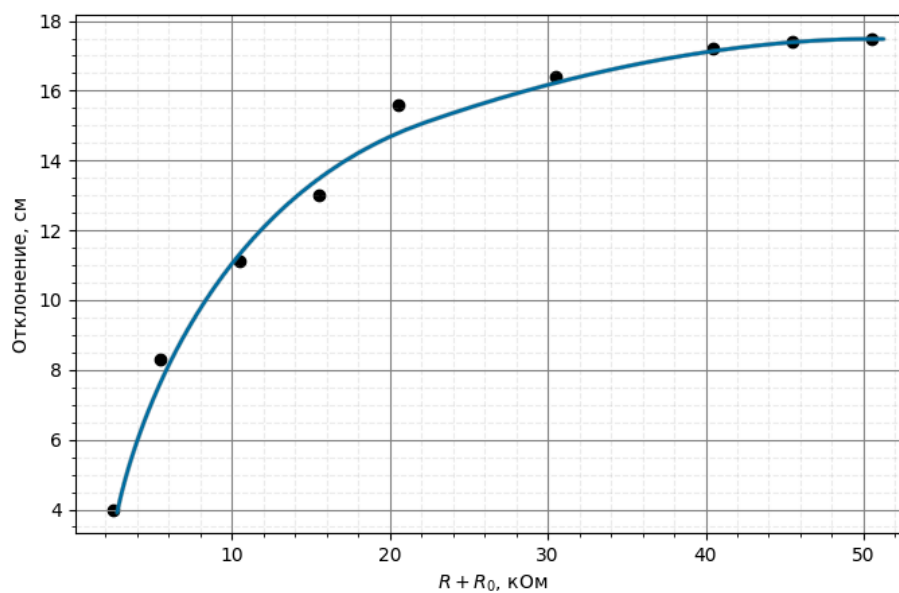


Рис. 5: Зависимость отклонения от суммарного сопротивления

$$x_{max}^{св} = x_0 e^{\theta_0/4}$$

$$x_{max}^{кр} = x_{max}^{св}/e = 110 \text{ мм}$$

По графику $R_{кр} = 9,5 \text{ кОм}$

Значения критического сопротивления, полученные разными способами достаточно близки.

$$C_{max}^{кр} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{CU_0}{x_{max}^{кр}} = (2,3 \pm 0,03) \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{мм/м}}$$

Оценка периода свободных колебаний гальванометра: $T_0 = 7 \text{ с}$

Время релаксации: $\tau = R_0 C = 1 \text{ мс}$

4 Вывод

В ходе работы были вычислены важнейшие характеристики гальванометра: динамическая постоянная C_I , чувствительность к току S_I , баллистическая постоянная в критическом режиме $C_q^{кр}$.

Тремя разными способами получены значения критического сопротивления $R_{кр}$. Эти результаты совпадают с достаточно высокой точностью.