

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Физтех-школа прикладной математики и информатики

Отчёт о выполнении лабораторной работы 3.2.6
Изучение гальванометра

Автор:
Чикин Андрей Павлович
Б05-304

Долгопрудный, 2024

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

В работе используются:

1. зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой
2. источник постоянного напряжения
3. делитель напряжения
4. магазин сопротивлений
5. эталонный конденсатор
6. вольтметр
7. переключатель
8. ключи
9. линейка

1 Краткая Теория

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 .

2 Экспериментальная установка

2.1 Определение динамической постоянной

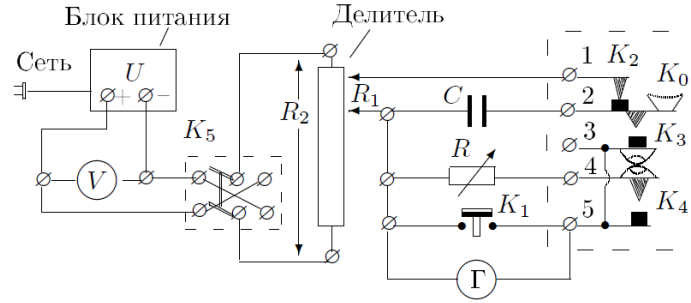


Рис. 1: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

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 зеркальца.

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

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

2.3 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.

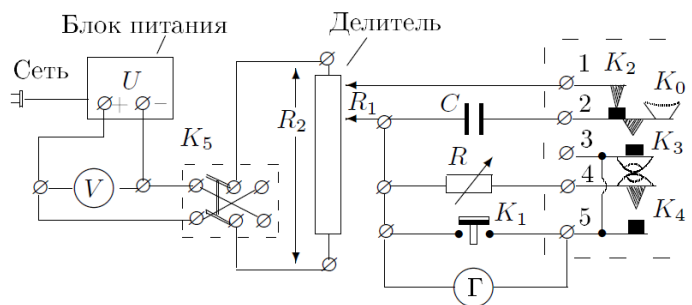


Рис. 2: Схема установки для определения баллистической постоянной

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

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

3 Ход работы

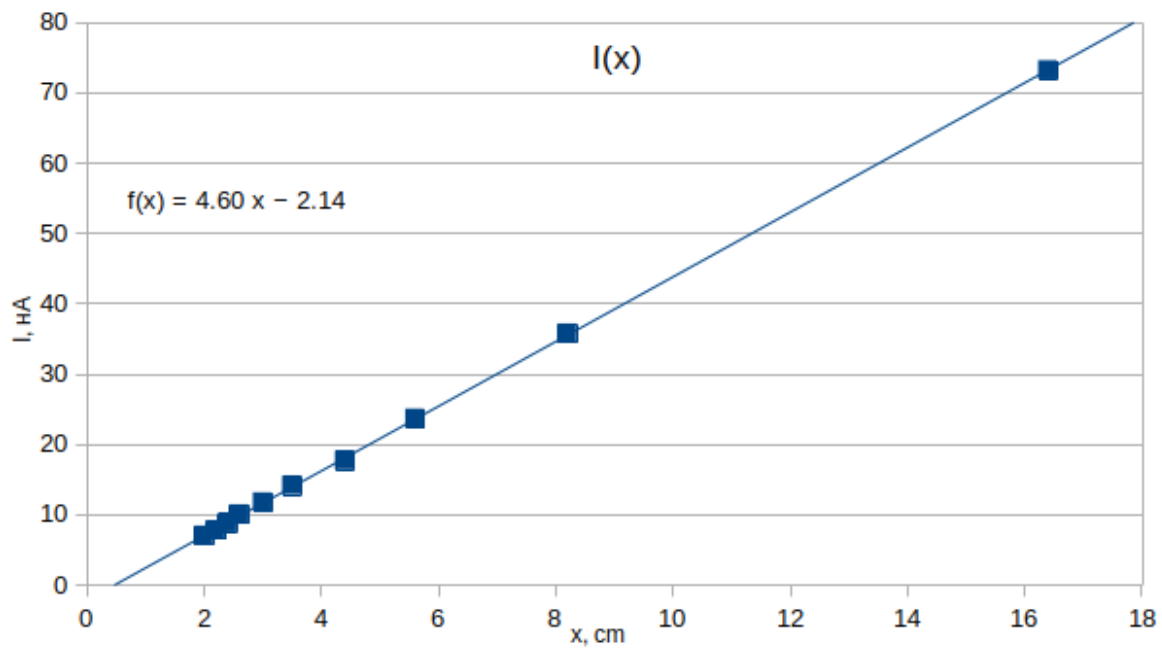
$a, \text{ м}$	1 ± 0.02
----------------	--------------

3.1 Динамическая постоянная

$$I = \frac{C_I}{2a} x$$

C_I - динамическая постоянная гальванометра.

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



$R, \text{кОм}$	$x, \text{см}$	$I, \text{нА}$
99	2	7
89	2.2	8
79	2.4	9
69	2.6	10
59	3	12
49	3.5	14
39	4.4	18
29	5.6	24
19	8.2	36
9	16.4	73

$$C_I = (9.2 \pm 0.1) \cdot 10^{-10} \frac{A}{\text{мм/м}}$$

$$S_I = \frac{1}{C_I} = (11.0 \pm 0.2) \cdot 10^8 \frac{\text{мм/м}}{A}$$

3.2 Критическое сопротивление

$$\theta_0 = \frac{1}{3} \sum \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}$$

$$\theta_0 \approx 0.3$$

N	$R, \text{кОм}$	$x_n, \text{см}$	$x_{n+k}, \text{см}$	θ	$R_{\text{кр}}, \text{Ом}$
1	24	5.9	0.8	2.0	7.89
2	28	11.1	1.7	1.9	8.62
3	32	10.6	1.6	1.7	8.81
4	36	10.3	2.4	1.5	8.31
5	40	10.2	2.7	1.3	8.84
6	44	9.8	3.0	1.2	8.69
7	48	9.8	3.2	1.1	7.96
8	56	14.4	5.3	1.0	8.33
9	64	13.0	5.2	0.9	8.76
10	72	12.0	5.2	0.8	9.02
11	80	11.8	5.5	0.7	9.16

$$\langle R_{\text{кр}} \rangle = (8.6 \pm 0.1) \text{кОм}$$

3.3 Баллистическая постоянная

$R, \text{кОм}$	$x_{\text{max}}, \text{см}$
50	16.0
45	15.8
40	15.5
35	15.0
30	14.9
25	14.5
20	13.5
15	13.0
10	11.0
5	7.5
4	6.3
2	3.1

$$x_0 = 17.5 \text{см}$$

$$x_1 = x_0 \cdot e^{\frac{\theta_0}{4}} \approx 19 \text{см}$$

$$x_e = \frac{x_0}{e} \approx 7 \text{см}$$

$$\frac{1}{R + R_0}(x_e) \approx 20 \cdot 10^{-5} \text{См} \implies$$

$$R \approx 4.5 \text{кОм}$$

4 Вывод

Итак, в этой работе мы изучили работу гальванометра в трех режимах: стационарном, свободных колебаний и баллистическом. Мы измерили критическое сопротивление контура R тремя способами, а также нашли динамическую и баллистическую постоянную установки.