

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
“МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)”

Физтех-школа радиотехники и компьютерных технологий

**Отчёт по лабораторной работе № 3.2.6
"Изучение гальванометра"**

Выполнил:
Студент гр. Б01-305
Миннахметов Артур

1 Введение

1.1 Теоретические сведения

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.

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

Главной частью баллистического гальванометра является подвешенная на вертикальной нити рамка, помещённая в поле постоянного магнита. Вырез цилиндрической формы в полюсах магнита и ферромагнитный цилиндр на оси системы делают поле в зазоре радиальным (рис. 1). Скреплённое с рамкой зеркальце служит для измерения угла поворота рамки. К рамке прикреплен полый цилиндр, который сильно увеличивает момент инерции и, следовательно, период колебаний подвижной системы, не очень её утяжеляя. Магнит и подвижная система заключены в защитный кожух. В баллистических гальванометрах применяют сильные постоянные магниты и рамки с большим количеством витков, подвешенные на тонких нитях с малой упругостью.

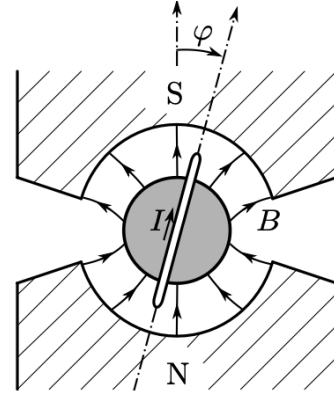


Рис. 1: Рамки с током в магнитном поле

Уравнение колебаний рамки в магнитном поле:

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

где $2\gamma = \frac{(BSN)^2}{JR_\Sigma}$, $\omega_0^2 = \frac{D}{J}$, $K = \frac{BSN}{J}$.

1.2 Определение динамической постоянной гальванометра

Схема для исследования гальванометра в стационарном режиме представлена на рис. 2. Постоянное напряжение U снимается с блока питания и измеряется вольтметром V . Ключ K_3 позволяет менять направление 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 аperiodического.

Если в схеме на рис. 2 будет протекать постоянный ток, то в (1) динамическую постоянную для гальванометра, используя угол поворота, можно определить формулой

$$C_1 = \frac{I}{\varphi} = \frac{2aI}{x}, \quad (2)$$

где a — расстояние между гальванометром и линейкой, x — отклонение зайчика.

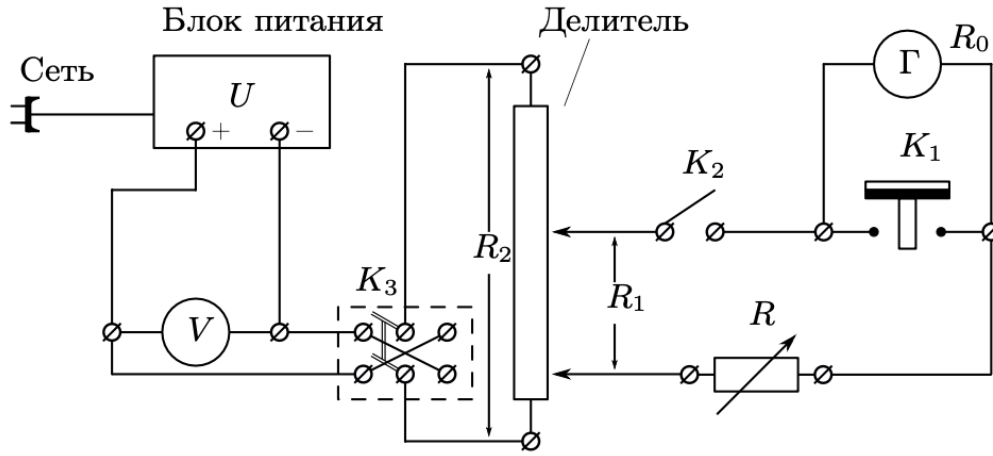


Рис. 2: Схема установки для работы гальванометра в стационарном режиме

1.3 Определение критического сопротивления гальванометра

При затухающих колебаниях вводится логарифмический декремент затухания:

$$\Theta = \gamma T_1 = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}}. \quad (3)$$

В таком случае можно определить критическое сопротивление по формуле:

$$R_{кр} = \frac{R + R_0}{\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\Theta}\right)^2 + 1}} - R_0 \quad (4)$$

1.4 Определение баллистической постоянной и критического сопротивления гальванометра, работающего в баллистическом режиме

Для изучения работы гальванометра в режиме измерения заряда (в баллистическом режиме), используется схема, представленная на рис. 3. Система ключей устроена так, что нормально ключ K_2 замкнут, а ключи K_3 и K_4 разомкнуты. При нажатии на кнопку K_0 сначала размыкается ключ K_2 , затем замыкается K_3 и через некоторое время — K_4 . При нормальном положении кнопки K_0 конденсатор C заряжается до напряжения U_C и получает заряд q :

$$U_C = \frac{R_1}{R_2} U_0, \quad q = C U_C = C \frac{R_1}{R_2} U_0$$

Первый отброс зайчика φ_{max} после нажатия на кнопку K_0 зависит от сопротивления внешней цепи, подключённой к гальванометру. Для определения $R_{кр}$ используется то обстоятельство, что в критическом режиме максимальное отклонение зайчика в e раз меньше, чем у гальванометра без затухания.

Величину максимального отклонения рамки гальванометра без затухания φ_{max}^{cb} можно, однако, рассчитать, если при разомкнутой цепи измерить реальное максимальное отклонение рамки φ_0 и логарифмический декремент затухания Θ_0 :

$$\varphi_0 = \varphi(T_1/4) = \varphi_{max}^{cb} e^{-\Theta/4},$$

так что максимальное отклонение рамки гальванометра без затухания

$$\varphi_{max}^{cb} = \varphi_0 e^{-\Theta/4} \approx \varphi_0 \left(1 + \frac{\Theta_0}{4}\right) \quad (5)$$

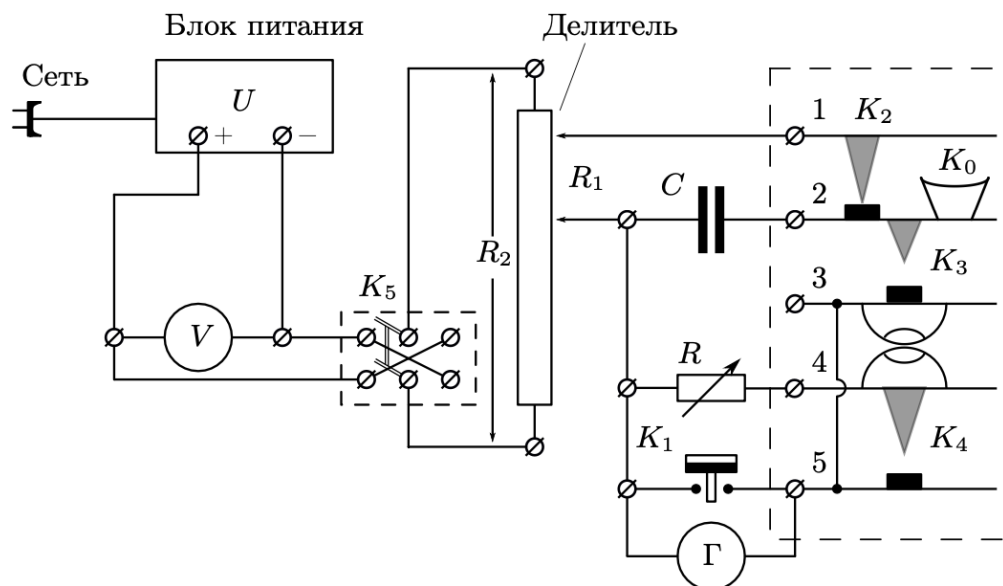


Рис. 3: Схема установки для определения баллистической постоянной

Баллистическая постоянная гальванометра $C_{кр} [\frac{Кл}{мм/м}]$ определяется при критическом сопротивлении ($R = R_{кр}$):

$$C_q^{кр} = \frac{q}{\varphi_{max}} = 2a \frac{R_1}{R_2} \frac{CU_0}{x_{max}^{кр}}. \quad (6)$$

2 Ход работы

2.1 Измерения

1. Настроен осветитель гальванометра: на шкале проявилась четкая вертикальная риска. Делитель установлен на небольшое выходное напряжение ($\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2000}$), а магазин напряжений на $R = 50$ кОм. Напряжение на источнике питания $U_0 = (1,26 \pm 0,02)$ В.

2. Цепь собрана согласно рис. 2. Ключи K_2 и K_3 разомкнуты. Установка включена в сеть, ключ K_3 замкнули, через некоторое время замкнули K_2 .

3. Измерена зависимость отклонения зайчика x от сопротивления магазина R . Результаты представлены в таблице 1. Погрешность измерений для x будем считать одно деление шкалы, то есть $\Delta x = 0,1$ см.

x , см	R , кОм	I , нА	ΔI , нА
23	13	468	7
16,6	18	341	5
13,1	23	268	4
10,7	28	221	4
9,2	33	188	3
8,1	38	164	3
7,3	43	145	2
6,2	48	130	2
5,6	53	118	21

Таблица 1: Зависимость $x(R)$

4. Вернули значение к 13 кОм. Наблюдались свободные колебания. Рассмотрели 3 последовательных

колебания и посчитали период колебаний T_0 .

$$T_0 = \frac{16,1 \pm 0,3}{3} \text{ с} = (5,4 \pm 0,1) \text{ с}$$

5. Подобраны наибольшее значение, при котором зайчик не переходит через положение равновесия при свободных колебаниях. Этим значением оказалось $R_{\text{кр}} = 7200 \text{ Ом}$.

6. Посчитаны значения логарифмического декремента затухания Θ в зависимости от сопротивления магазина R . Данные представлены в таблице 2. Формула для $\Delta\Theta$: $\Delta\Theta = \frac{\Theta\Delta x}{x_2^2} \sqrt{x_1^2 + x_2^2}$

$R/R_{\text{кр}}$	$x_1, \text{ см}$	$x_2, \text{ см}$	Θ	$\Delta\Theta$
3	9,5	1,1	2,16	1,7
3,5	9,3	1,5	1,82	0,76
4	9,1	1,7	1,67	0,53
4,5	8,9	2	1,49	0,34
5	8,6	2,3	1,31	0,22
6	12,9	4,1	1,14	0,09
7	11,8	4	1,08	0,08
8	16,8	6,5	0,95	0,04
10	14,3	6,4	0,8	0,03

Таблица 2: Зависимость $\Theta(R)$

7. Собрана вторая схема. $C = 2 \text{ мкФ}$, $R_1/R_2 = 1/30$, $a = 133 \text{ см}$.

8. Получена зависимость $l_{\text{max}}(R)$. Результаты представлены в таблице 3.

$l_{\text{max}}, \text{ см}$	$R, \text{ кОм}$
24	∞
20,6	50
19,8	40
18,9	30
15,6	15
13,0	10
10,9	7,5
9,1	5
6,5	2,5

Таблица 3: Зависимость $l_{\text{max}}(R)$

2.2 Обратботка

9. Определен ток через гальванометр по формуле (7). Данные добавлены в таблицу 1.

$$I = \frac{R_1}{R_2} \frac{U_0}{R + R_0}. \quad (7)$$

Далее значения нанесены на график на рис. 4. Посчитан C_1 :

$$C_1 = (5,40 \pm 0,04) \frac{\text{нА}}{\text{мм/м}}.$$

10. По ниже формуле (4) посчитано критическое сопротивление. На рис. 5 изображен график зависимости $(R + R_0) \left(\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\Theta}\right)^2 + 1} \right)$. Результат:

$$R_{\text{кр}} = (10 \pm 1) \text{ кОм}.$$

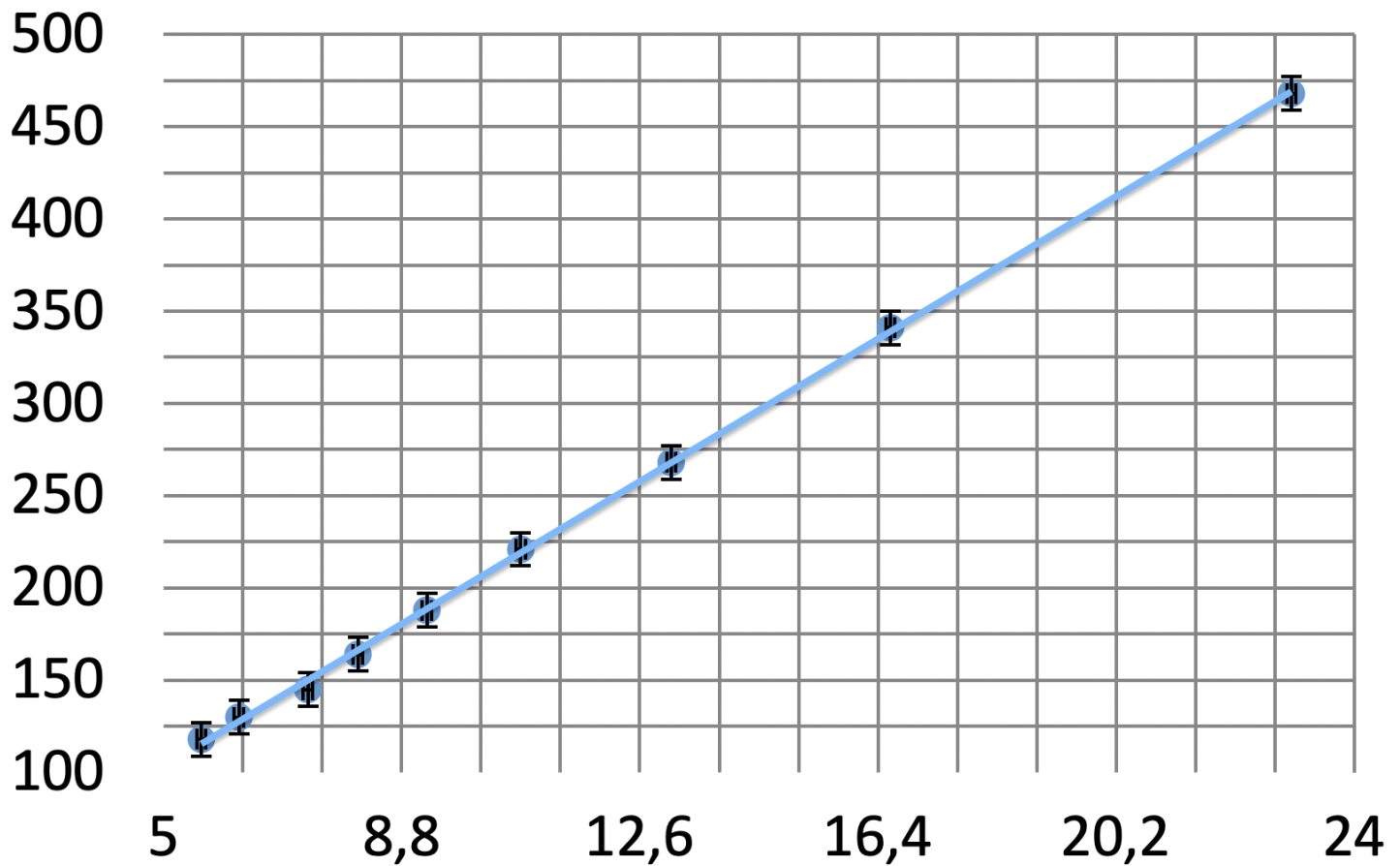


Рис. 4: График $I(x)$

Заметим, что $R_{кр}$, которое определено подбором оказалось меньше.

11. По формуле (6) рассчитан $C_q^{кр}$. Так как для $R_{кр}$ измерение было проведено, то можно использовать $x_{max}^{кр} = 13$ см.

$$C_q^{кр} = (1,71 \pm 0,03) \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

3 Выводы

Изучена работы высокочувствительного зеркального гальванометра магнитоэлектрической системы в режимах измерения постоянного тока и электрического заряда. Получены основные константы гальванометра:

$$C_1 = (5,40 \pm 0,04) \frac{\text{нА}}{\text{мм/м}},$$

$$R_{кр} = (10 \pm 1) \text{ кОм},$$

$$C_q^{кр} = (1,71 \pm 0,03) \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

Значения $R_{кр}$, полученные подбором и аналитически, отличаются. Другие измерения довольно близки к теоретическим значениям, поэтому могут считаться успешными.

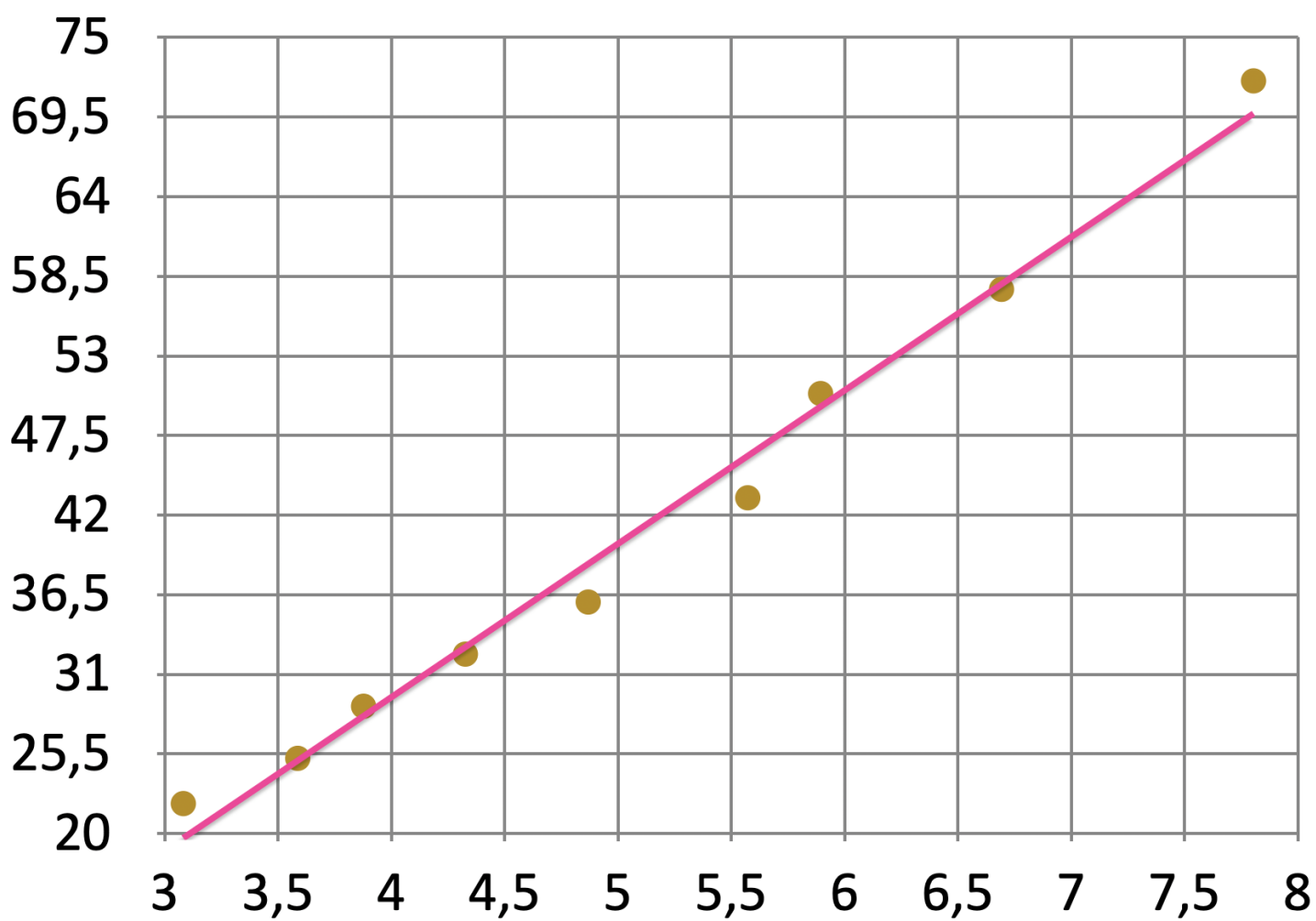


Рис. 5: График $(R + R_0) \left(\sqrt{\left(\frac{2\pi}{\Theta}\right)^2 + 1} \right)$