

3.2.6

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАЛЬВАНОМЕТРА

Егор Берсенеv

1 Цель работы

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

2 Оборудование

Зеркальный гальванометр с осветителем и шкалой, источник постоянного напряжения, делитель напряжения, магазин сопротивлений, эталонный конденсатор, вольтметр, переключатель, ключи, линейка.

3 Теоретическая часть

Уравнение движения рамки сопротивлением R , площадью S с N витками, по которым течет ток I в постоянном магнитном поле B имеет вид:

$$J\ddot{\varphi} + \frac{(BSN)^2}{R_{\sigma}}\dot{\varphi} + D\varphi = BSNI \quad (1)$$

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

3.1 Режим измерения постоянного тока

Считаем колебания затухшими, т.е. $\ddot{\varphi} = \dot{\varphi} = 0$, когда

$$\varphi = \frac{K}{\omega_0^2}I = \frac{BSN}{D}I = \frac{I}{C_1} \quad (3)$$

, где $C_1 = \frac{D}{BSN}$ — динамическая постоянная гальванометра.

3.2 Свободные колебания рамки

Пусть $I = 0$ и выполнены следующие начальные условия: $t = 0, \varphi = 0, \dot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$. Тогда уравнение движения примет вид:

$$\ddot{\varphi} + 2\gamma\dot{\varphi} + \omega_0^2\varphi = 0 \quad (4)$$

Рассмотрим три варианта движения рамки:

Колебательный режим В колебательном режиме $\gamma \leq \omega_0$. Теперь пусть $\omega^2 = \omega_0^2 - \gamma^2$. В этом случае решение уравнения имеет вид:

$$\varphi = \frac{\dot{\varphi}_0}{\omega_0} e^{-\gamma t} \sin \omega t \quad (5)$$

В этом случае период колебаний равен $T = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \gamma^2}}$

Критический режим В критическом режиме $\gamma = \omega_0$. В этом случае движение не имеет колебательного характера, и уравнение движения имеет вид:

$$\varphi = \dot{\varphi}_0 t e^{-\gamma t} \quad (6)$$

Затухание велико В этом режиме $\gamma \geq \omega_0$. Это случай переусвоенного гальванометра. Теперь пусть $\kappa^2 = \gamma^2 - \omega_0^2$. Уравнение движения имеет вид:

$$\varphi = \frac{\dot{\varphi}_0}{\omega_0} e^{-\gamma t} \sinh \kappa t \quad (7)$$

В этом случае движение все еще аperiodическое, но система приближается к равновесию медленнее, чем в критическом режиме.

3.3 Режим измерения заряда

Период свободных колебаний гальванометра оказывается очень большим. Если через рамку пропустить короткий импульс тока, то можно считать, что весь ток успевает пройти при неотклоненном положении рамки. В этом случае уравнение движения сводится к следующему:

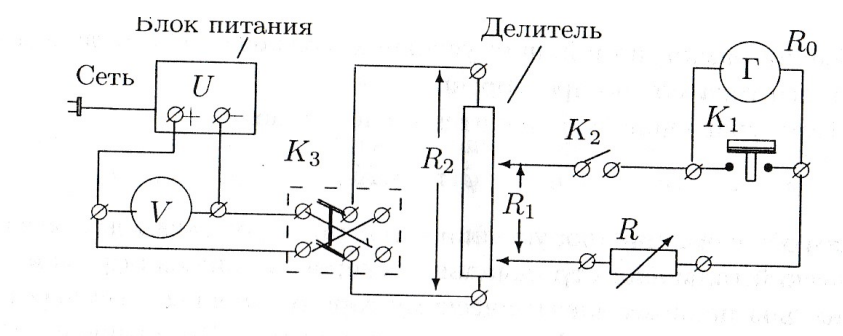
$$\dot{\varphi}(\tau) = Kq \quad (8)$$

Максимальный отброс достигается при

$$\varphi_{max} = \frac{\dot{\varphi}(\tau)}{\omega_0} = \frac{Kq}{\omega_0} \quad (9)$$

3.4 Определение динамической постоянной

Соберем схему по рисунку:



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

$$I = U_0 \frac{R_1}{R_2} \frac{1}{R + R_0} \quad (10)$$

Угол отклонения рамки связан с координатой зайчика следующим образом: $x = a \tan(2\varphi)$ При малых углах можно считать, что $\varphi = \frac{x}{2a}$. Динамическую постоянную

$$C_1 = \frac{I}{\varphi} = \frac{2aI}{x} \quad (11)$$

как правило выражают в единицах $\left[\frac{\text{А}}{\text{мм/м}} \right]$

3.5 Определение критического сопротивления гальванометра

Скорость затухания характеризуется логарифмическим декрементом затухания:

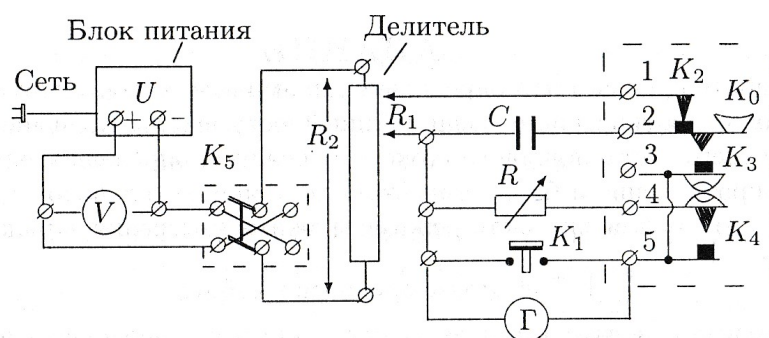
$$\theta = \ln \frac{x_n}{x_{n+1}} = \gamma T = \frac{2\pi R_3}{\sqrt{(R_0 + R)^2 - R_3^2}}, \quad (12)$$

где $R_3 = R_0 + R_{cr}$.

Отсюда получаем:

$$R_{cr} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\Delta X}{\Delta Y}} - R_0 \quad (13)$$

3.6 Определение баллистической постоянной



Конденсатор заряжается до напряжения $U_c = \frac{R_1}{R_2} U_0$, при этом его заряд равен $q = CU_c = \frac{R_1}{R_2} U_0 C$.

Баллистическая постоянная определяется при критическом сопротивлении:

$$C_{qcr} = \frac{q}{\varphi_{max}} = 2a \frac{R_1 U_0 C}{R_2 I_{max}} \quad (14)$$

4 Ход работы

4.1 Определение динамической постоянной

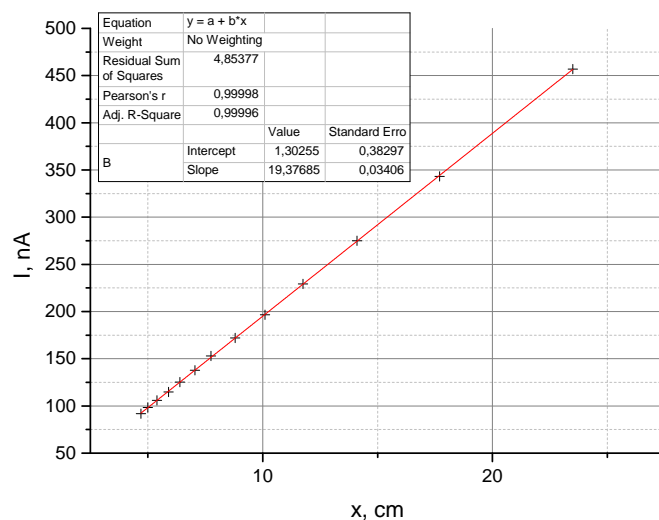
Соберем схему 1 и снимем зависимость отклонения зайчика от сопротивления магнзина при постоянном положении делителя $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{2000}$.

Построим таблицу результатов:

Таблица 1: Определение динамической постоянной

R	0.9	1.4	2.4	2.9	3.4	3.9	4.9	5.4	5.9	6.4
x_+	23.1	174	11.6	10	8.7	7.6	6.3	5.8	5.3	4.9
x_-	23.9	18	11.9	10.2	8.9	7.9	6.5	6	5.5	5.1
x_{av}	23.5	17.7	11.75	10.1	8.8	7.75	6.4	5.9	5.4	5
I	456.95	343.28	229.24	195.58	172.07	152.99	125.23	114.81	105.99	98.43

Построим график:



4.2 Определение критического сопротивления

Пронаблюдаем свободные колебания рамки. Измерим два последовательных отклонения и рассчитаем логарифмический декремент затухания.

Таблица 2: Логарифмический декремент затухания

x_n	20.2	17.9	16	14.7	12.7	17.2
x_{n+1}	17.9	16	14.7	12.7	11.4	15.3
θ	0.121	0.112	0.085	0.146	0.108	0.117

Отсюда получаем: $\bar{\theta} = 0.115 \pm 0.005$

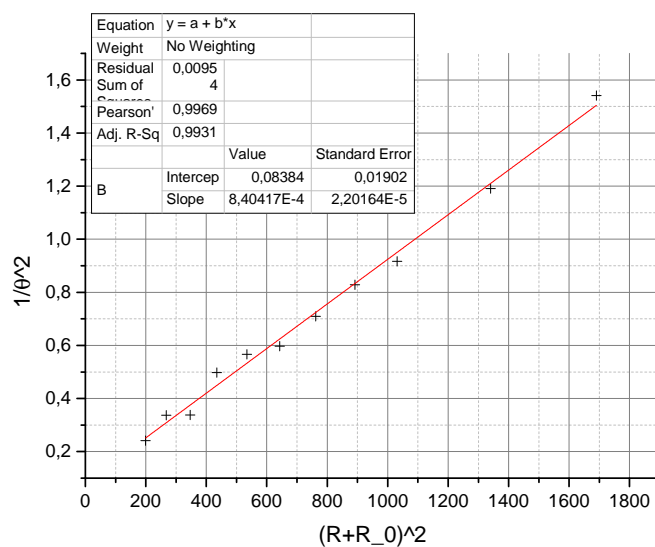
Измерим также период свободных колебаний рамки: $T = 2.5$ с

Подберем наибольшее сопротивление магазина, при котором зайчик не проходит через нулевое положение. Это сопротивление $R = 4.5$ кОм. Проведем измерения

Таблица 3: Измерение логарифмического декремента

R , кОм	$(R + R_0)^2$, кОм	x_n , см	x_{n+1} , см	θ	$\frac{1}{\theta^2}$
13.5	199.09	2.3	0.3	2.037	0.241
15.75	267.65	2.8	0.5	1.723	0.337
18	346.33	6.7	1.2	1.720	0.338
20.25	435.14	3.3	0.8	1.417	0.498
22.5	534.07	3.4	0.9	1.329	0.566
24.75	643.13	6.2	1.7	1.294	0.597
27	762.31	5.9	1.8	1.187	0.710
29.25	891.62	5.7	1.9	1.099	0.829
31.5	1031.05	5.4	1.9	1.045	0.917
36	1340.29	5	2	0.916	1.191
40.5	1690.03	4.7	2.1	0.806	1.541

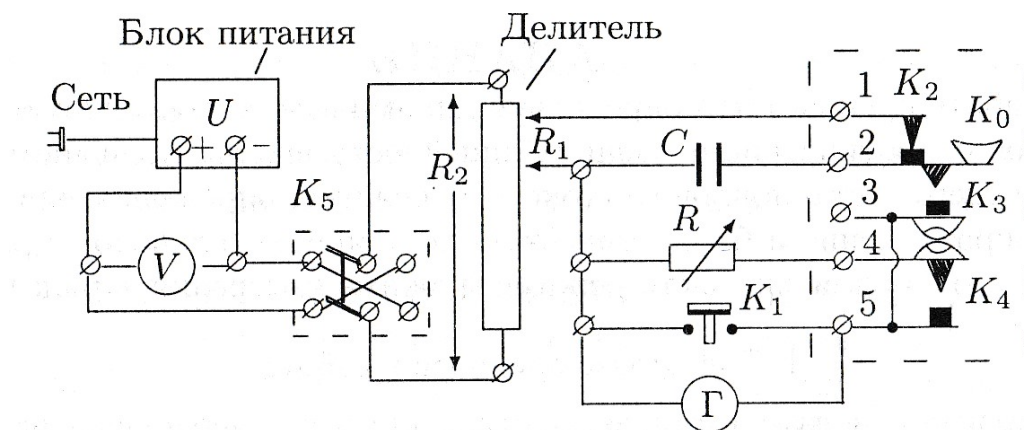
Построим график:



Критическое сопротивление: $R_{cr} = 4.88 \pm 0.43$ кОм.

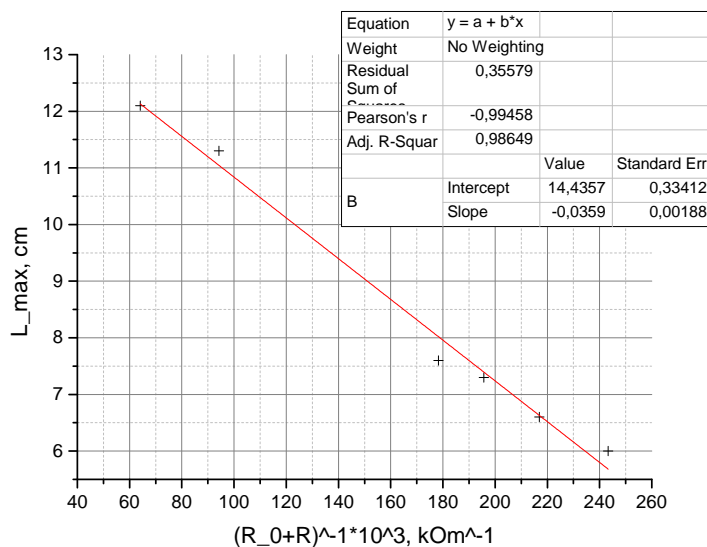
4.3 Баллистический режим

Соберем схему по рисунку:



Измерим первый отброс в свободном режиме при положении делителя $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1}{15}$

R , кОм	50	40	25	15	10	5	4.5	4	3.5
$(R + R_0)^{-1} \cdot 10^3$, кОм $^{-1}$	19.76	24.62	39.05	64.06	94.25	178.25	195.69	216.92	243.31
x_{max} , см	17.2	16.5	14.7	12.1	11.3	7.6	7.3	6.6	6



Критическое сопротивление : 4.71 ± 0.47 кОм.

Рассчитаем баллистическую постоянную в критическом режиме:

$$C_{q_{cr}} = 2a \frac{R_1 U_0 C}{R_2 I_{max}} = 6.76 \cdot 10^{-10} \frac{\text{К}}{\text{мм/м}}$$

Время релаксации $t = R_0 C = 610 \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 1.22 \cdot 10^{-3} \ll T = 2.5$ с.

5 Вывод

Критическое сопротивление, измеренное тремя путями сошлось в пределах погрешности, что позволяет говорить о точном измерении. Время релаксации много меньше периода свободных колебаний, что подтверждает наше предположение о том, что можно пренебречь начальным углом и угловой скоростью.