4.3.2 Градуювання гальванометра та визначення його чутливості

Детальний опис роботи подано в [3, (робота 12); 8, (робота Е-12)].

Метою роботи є вивчення основних характеристик гальванометра магнітоелектричної системи. Цієї мети досягають шляхом експериментального градуювання приладу: визначення ціни поділки шкали C_A (у разі, коли гальванометр використовується як амперметр, тобто для вимірювання сили струму; $[C_A]$ = 1 А/под.) та ціни поділки C_V (гальванометр використовується як вольтметр, тобто для вимірювання напруги; $[C_V]$ = 1 В/под.), а також вимірювання внутрішнього опору гальванометру R_G.

Експериментальна установка (рис. 10) складається з джерела постійного струму з ЕРС ε та малим внутрішнім опором, стрілочного гальванометра магнітоелектричної системи G, магазину опорів М та ключа К. Крім того, до складу установки входять вольтметр (на рис. 10 не показаний) та резистор для шунтування гальванометра з відомим опором $R_Ш$ (вказаний на стенді поруч із шунтом).

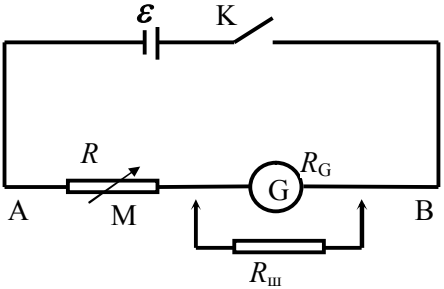

Рисунок 10

Експериментальна частина роботи *складається з двох етапів.*

Етап 1. Вимірювання, потрібні для градуювання гальванометра, тобто визначення C_A і C_V.

На цьому етапі з допомогою схеми, що подана на рис. 10 (резистор $R_Ш$ не використовують) проводять дві вимірювальні операції:

- вимірюють ЕРС ε джерела постійного струму вольтметром з великим власним опором;
- визначають опори R магазину М, за яких стрілка гальванометра послідовно відхиляється на ЦІЛЕ число поділок шкали n у всіх ділянках шкали (на початку, в середині, наприкінці).

Опис вимірювань детально поданий у посібниках [3, 8]. Результати вимірювань рекомендовано занотувати у таблицю, голівка якої має такий вигляд:

ε = _____ В						
№	n, поділок	ε / n, В/под.	Без шунта	$R_Ш$ = _____ Ом		
			R, кОм	R', кОм	R_G, Ом	ΔR_G, Ом
1	2	3	4	5	6	7

(таблицю використовують на обох етапах роботи).

☝ Зверніть увагу!

Перед початком вимірювань ЗА ВИМКНЕНОГО КЛЮЧА К потрібно:

- переконатися, що стрілка гальванометра збігається з нульовою поділкою шкали. Якщо такого збігу не має, то потрібно обережно встановити стрілку на нульовій поділці з допомогою гвинта коректора (аретирування приладу);
- виставити в магазині М опір не менший ніж, 10 кОм, що дає змогу захистити вимірювальний механізм гальванометра від пошкодження спричиненого проходженням через нього великого струму.

Наслідками вимірювань є заповнені стовпчики 1, 2, 4 таблиці вимірювань

Етап 2. Вимірювання, потрібні для визначення внутрішнього опору гальванометра та обчислення C_V.

На цьому етапі у коло, схему якого подана на рис. 10, вмикають резистор $R_Ш$, що є шунтом для гальванометра G. Далі *з допомогою магазину опорів М підбирають такий опір R′, за якого відхилення стрілки гальванометра збігається з одним із значень n, яке було отримане на першому етапі*. Цю дію слід повторити щонайменше для 5 різних значень n. При цьому слід віддавати перевагу показам гальванометра, що лежать в останній третині шкали. Результати вимірювань занотувати у стовпчику 5 таблиці вимірювань.

☝ Зверніть увагу!

Перед початком вимірювань слід занотувати опір $R_Ш$.

Градуювати гальванометра дає змогу рівняння, що випливає із закону Ома для кола, поданого на рис. 10:

$$\frac{\varepsilon}{n} = C_A R + C_V . \qquad (3.2.1)$$

Це рівняння є *першою з розрахункових формул роботи*.

Визначення внутрішнього опору гальванометра R_G проводять *методом шунта*. Для цього, використовуючи результати, подані у колонках 4 і 5 таблиці вимірювань, шукані значення R_G обчислюють з *другої розрахункової формули роботи*:

$$R_G = R_Ш \frac{R - R'}{R'} . \qquad (3.2.2)$$

та занотовують до стовпчика 6 таблиці вимірювань. *Число N_1 значень R' є меншим від N – числа значень R, але не може бути меншим від 5*.

Вимірювання R_G методом шунта є сукупними (значення R_G визначають сукупно виміряні опори R' та R), тому їхню похибку слід шукати одним з методів регресійного аналізу. Проте доволі добру оцінку цієї похибки можна отримати за стандартною процедурою прямих вимірювань

Алгоритм опрацювання результатів експерименту

А Графічний метод градуювання гальванометра

Слід виконати такі дії.

1. Побудувати графік залежності $\varepsilon/n = f(R)$, який згідно з формулою (3.2.1) має буде лінійним. При цьому експериментальні точки зазвичай дуже добре лягають на пряму, а сама пряма перетинає вісь ε/n неподалік від початку координат
2. За графіком вирахувати тангенс кута нахилу отриманої прямої до осі R, який дорівнює C_A.
3. (*Якщо це можливо в обраному масштабі осі* ε/n*!*) Визначити відрізок, який побудована пряма відтинає на осі ε/n. Довжина цього відрізку дорівнює C_V.
4. Відшукати середнє значення $<R_G>$:

$$< R_G >= \frac{1}{N_1}\sum_{k=1}^{N_1}(R_G)_k \ . \qquad (3.2.3)$$

5. Обчислити та занотувати до стовпчика 7 таблиці вимірювань похибки кожного спостереження $(\Delta R_G)_k$ (k = 1, 2, … N_1):

$$(\Delta R_G)_k = |< R_G > -(R_G)_k| \ .$$

6. Знайти похибку ΔR_G

$$\Delta R_G = 1{,}1\sqrt{\frac{1}{N_1(N_1-1)}\sum_{k=1}^{N_1}(\Delta R_G)_k^2} \ . \qquad (3.2.4)$$

7. Подати результат у стандартній формі:

$$R_G = < R_G > \pm \Delta R_G \ . \qquad (3.2.5)$$

8. Визначити незалежним чином ціну поділки вольтметра C_V. Це слід зробити за формулою:

$$C_V = C_A R_G \ . \qquad (3.2.6)$$

9. Порівняти значення C_V, отримане графічно (якщо це вдалося зробити!) та за формулою (3.2.6).

Існують два фактори, які істотно впливають на точність графічного методу:

- Внутрішній опір гальванометра є невеликим, тому графічний метод визначення ціни поділки C_V має похибки порівнювані із її значенням. Отже із графіка насправді можна знайти тільки C_A.
- Експериментальні точки на графіку $\varepsilon/n = f(R)$ зазвичай дуже добре лягають на пряму, тому визначення похибки ΔC_A графічним методом (див. п. 2.3.1 Вступу) у цій роботі є практично невиконуваним завданням.

Зазначене спричинює потребу використати для опрацювання експериментальних даних інший метод, наприклад *метод найменших квадратів* (п. 2.3.2 Вступу).

☝ Зверніть увагу!

Подальші обчислення не є обов'язковими. Вони пропоновані для тих студентів, що бажають більше знати та вміти в сфері опрацювання результатів експерименту.

Б Метод найменших квадратів

Схема цього методу для розглядуваної задачі має такий вигляд.

1. Використовуючи значення $y_i = \varepsilon/n_i$ ($i = 1, \ldots N$, де N – число вимірювань), що занотовані у стовпчику 3 таблиці вимірювань, обчислити середні за час досліду значення опору магазину $\overline{R}$ та величину $\overline{y}$:

$$\overline{R} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} R_i, \quad \overline{y} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i \qquad (3.2.7)$$

2. Знайти уточнені значення C'_{A} та C'_{V} за формулами:

$$C'_{\mathrm{A}} = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(R_i - \overline{R}\right) y_i}{\sum_{i=1}^{N}\left(R_i - \overline{R}\right)^2}, \quad C'_{\mathrm{V}} = \overline{y} - C_{\mathrm{A}}\overline{R}. \qquad (3.2.8)$$

3. Відшукати похибки ΔC_{A} та ΔC_{V}:

$$\Delta C_{\mathrm{A}} = S_y\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} R_i^2}{D}}, \quad \Delta C_{\mathrm{V}} = S_y\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} R_i^2}{D}}, \qquad (3.2.9)$$

де

$$S_y = \frac{1}{N-2}\sum_{i=1}^{N}\left(y_i - a - C'_{\mathrm{A}} R_i\right)^2, \quad D = N\sum_{i=1}^{N} R_i^2 - \left(\sum_{i=1}^{N} R_i\right)^2. \qquad (3.2.10)$$

4. Подати результати в стандартній формі:

$$C_{\mathrm{A}} = C'_{\mathrm{A}} \pm \Delta C_{\mathrm{A}}, \qquad C_{\mathrm{V}} = C'_{\mathrm{V}} \pm \Delta C_{\mathrm{V}} \qquad (3.2.11)$$

5. Порівняти C'_{A} та C'_{V} з C_{A} та C_{V} відповідно, що були знайдені за графіком. Упевнитись, що значення C_{A} та C_{V}, які були знайдені графічним методом, потрапляють у довірчі інтервали визначені співвідношеннями (3.2.11).