

Лабораторія “Електрики та магнетизму”

Лабораторна робота №14

“ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТУ ХОЛА”

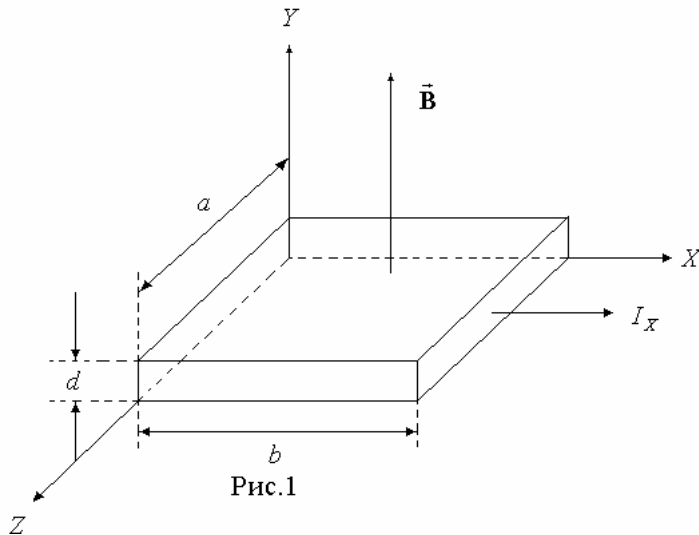
Мета роботи:

1. Визначити залежність холівської різниці потенціалів від магнітного поля та струму через датчик.
2. Знайти сталу Хола та концентрацію вільних носіїв заряду.

Вступ

У 1879 р. Едвін Герберт Хол відкрив явище, що полягає в тому, що в масивному провіднику зі струмом, розміщеному в магнітному полі, вектор напруженості якого перпендикулярний напрямку струму, виникає електричне поле в напрямі, перпендикулярному напрямкам як струму, так магнітного поля.

Нехай через однорідну пластину напівпровідника уздовж осі X протікає струм I_x (рис.1).



Якщо пластину напівпровідника помістити в магнітному полі з індукцією, направленою упродовж осі, то між гранями, перпендикулярними осі, з'явиться різниця потенціалів U_z . Виникнення поперечної різниці потенціалів пов'язане з дією сили Лоренца на заряд, який рухається в магнітному полі \vec{B} зі швидкістю \vec{v} :

$$\vec{F} = q[\vec{v} \times \vec{B}], \quad (1)$$

де q - величина заряду.

Під дією цієї сили, яка направлена уздовж осі, носії заряду відхиляються у бік граней,

перпендикулярних осі Z . Одна з цих граней, до якої відхилятимуться електрони, заряджатиметься від'ємним зарядом, а протилежна їй – додатнім. Ці заряди створюють в пластині електричне поле (поле Хола). Процес накопичення зарядів закінчиться тоді, коли напруженість холівського електричного поля повністю компенсуватиме дію на заряди магнітної сили Лоренца. Умова рівноваги сил, які діють на електрон з боку електричного і магнітного полів, може бути записана у вигляді:

$$qv_x B_y = qE_z.$$

Звідси можна визначити напруженість холівського електричного поля:

$$E_z = v_x B_y.$$

Різниця потенціалів:

$$U_z = aE_z = v_x B_y a \quad (2)$$

Струм, який протікає через зразок з площею поперечного перетину $S = a \cdot d$ та щільністю струму j_x , пов'язаний з концентрацією та швидкістю носіїв заряду:

$$I_x = j_x S = nqv_x ad. \quad (3)$$

З рівнянь (2) і (3) отримаємо

$$U_z = \frac{1}{qn} \frac{B_y I_x}{d} = R \frac{B_y I_x}{d}, \quad (4)$$

де $R = \frac{1}{qn}$ - стала Хола, d - товщина пластини в напрямку

зовнішнього магнітного поля.

Значення R залежить від матеріалу пластини, домішок та температури.

Якщо в магнітне поле з індукцією \vec{B} помістити провідник або електронний напівпровідник, по якому тече електричний струм, то на електрони, що рухаються зі швидкістю \vec{v} в магнітному полі, діє сила Лоренца, що відхиляє їх в певну сторону (мал. 2).

На протилежній стороні накопичуються додатні заряди.

В p -напівпровіднику знаки зарядів на поверхнях змінюються на протилежні (рис. 3).

Напруженість поперечного електричного поля визначається співвідношенням:

$$\vec{E}_H = R(\vec{B} \times \vec{j}). \quad (5)$$

Для металів і домішкових напівпровідників з одним типом провідності:

$$R = 1/nq, \quad (\text{в СИ}), \quad (6)$$

$$R = 1/cnq \quad (\text{у гаусовій системі})$$

де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с - швидкість світла у вакуумі, q і n - заряд і концентрація носіїв струму.

По знаку сталої Хола визначають тип провідності напівпровідника або провідника: при електронній провідності $q = -e$ (e - заряд електрона) і $R < 0$; при провідності за допомогою дірок $q = e$ і $R > 0$. По величині R можна визначити концентрацію носіїв струму.

Для напівпровідників зі змішаною провідністю (n -типу та p -типу) стала Хола в загальному випадку залежить від обох типів носіїв струму - електронів і дірок.

Знак сталої Хола дозволяє визначити тип переважної провідності напівпровідника.

На рис.4 показаний датчик Хола. У магнітному полі з індукцією \vec{B} знаходиться напівпровідникова пластинка, наприклад, з арсеніду іридію або антимоніда індію, через яку протікає електричний струм I . На бічних сторонах пластинки перпендикулярно напрямку струму виникає різниця потенціалів - напруга Хола або ЕРС Хола U_H .

Максимальне значення U_H має місце, якщо вектор \vec{B} направлений нормально до пластинки.

Дія сили Лоренца на від'ємний заряд, що рухається

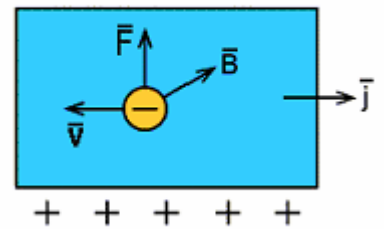


Рис. 2

Дія сили Лоренца на додатний заряд, що рухається

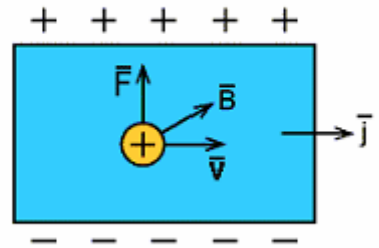


Рис. 3

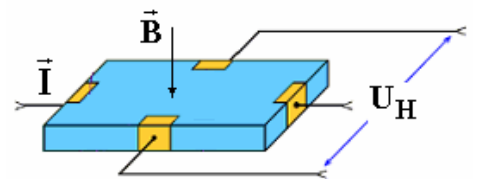


Рис. 4

Опис експериментальної установки.

Принципова електрична схема установки показана на рис.5. На схемі через РЕЖ-1 і РЕЖ-2 позначені блоки живлення електромагніту і холівського датчика відповідно. Товщина датчика Хола у напрямі магнітного поля $d = 3$ мм.

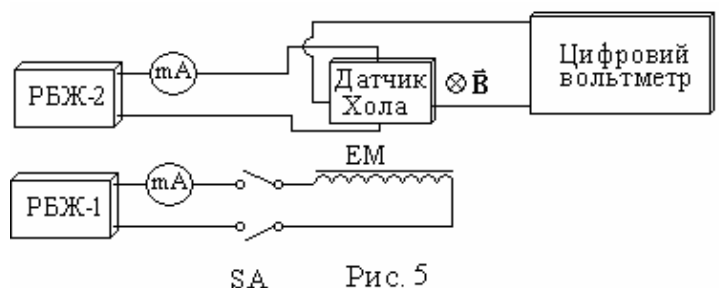


Рис. 5

Датчики Хола широко використовуються для визначення індукції магнітного поля \vec{B} .

Виконання роботи.

1. Включити схему. Встановити струм I_e через соленоїд в інтервалі від 0 мА до 100 мА з кроком 20 мА. Задати значення напруги живлення датчика 4,5 В, 6,5 В, 8,5 В, вимірюючи при цьому струму I_x через датчик.

2. Зняти залежність холівської різниці потенціалів від індукції магнітного поля B для кожного заданого значення напруги живлення датчика.

3. Величину магнітного поля, що створюється струмом I_e , який протікає через обмотку електромагніту, знаходиться за допомогою співвідношення:

$$B = \alpha I_e, \quad (8)$$

де коефіцієнт $\alpha = 0,0403 \text{ Тл/А}$, I_e - струм обмотки електромагніту.

4. Для кожного заданого значення струму I_x через датчик побудувати графік залежності холівської різниці потенціалів $U_z(B)$ від величини магнітного поля $B = \alpha I_e$.

5. Використовуючи отримані дані, визначити сталу Хола R .

6. Після цього визначити концентрацію носіїв струму в датчику.

Контрольні питання.

- 1) Що таке ефект Хола?
- 2) Чим визначається холівська різниця потенціалів?
- 3) Який метод виключення впливу побічних ефектів використовується в роботі?
- 4) Чим визначається знак сталої Хола R ?
- 5) Як за допомогою ефекту Хола визначити знак носіїв заряду?
- 6) Як використовується ефект Хола для вимірювання індукції магнітного поля B ?
- 7) Що таке магнітогідродинамічні генератори?
- 8) Де у фізиці та техніці використовується ефект Хола?

Хол (Hall) Едвін Герберт (7.11.1855 - 20.11.1938) Американський фізик. Вступив в перший набір на фізичний факультет тільки що відкритого Університету Джонса Хопкінса в Балтіморі - першої американської науково-дослідної і учбово-освітньої установи, змодельованої за зразком німецьких науково-дослідних закладів. Ефект, названий згодом його ім'ям, Хол відкрив при підготовці докторської дисертації з електрики та магнетизму. Захистивши її, вчений перейшов у Гарвардський університет, де прославився своїми інноваціями.



ХОЛЛ (Hall)
Едвін Герберт
1855 -1938