

18. STUDIUM HALLOVA JEVU

Měřicí potřeby:

- 1) dva stejnosměrné zdroje
- 2) školní transformátor upravený jako elektromagnet
- 3) polovodičové vzorky, držák vzorků
- 4) miliampérmetr
- 5) digitální multimetr V553
- 6) teslametr

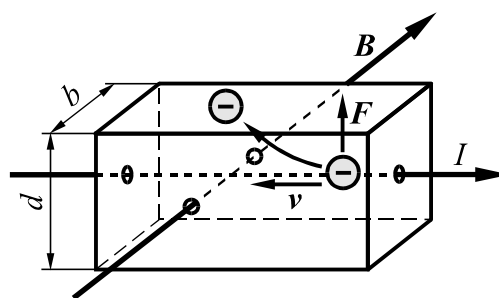
Teorie:

Hallův jev je pozorován jak u vodičů, tak u polovodičů a byl objeven r. 1879 E. H. Hallen. V praxi se využívá v přístrojích pro měření magnetické indukce, pro konstrukci násobičů a modulátorů a zjišťování fyzikálních parametrů polovodičů.

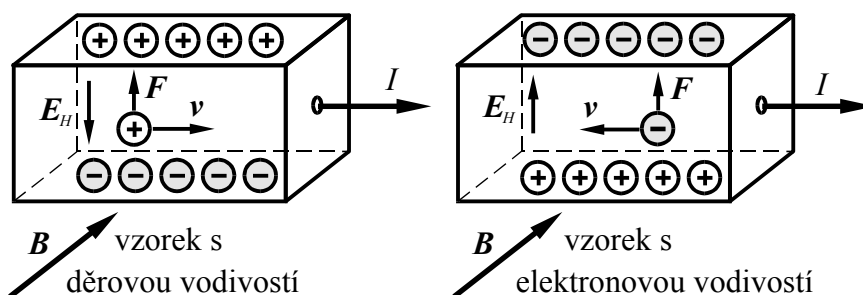
Tenkou obdélníkovou destičku z vodiče nebo polovodiče, kterou protéká proud I , vložíme do magnetického pole o indukci B (obr.1). V tomto poli působí na náboj nosiče proudu q_e , který se pohybuje rychlostí v , Lorentzova síla:

$$F = q_e [v \times B] \quad (1)$$

Síla zakříví dráhy nábojů tak, že na protilehlých bočních stěnách destičky se objeví náboje různého znaménka a uvnitř destičky vznikne příčné elektrické pole E_H . Směr E_H závisí na typu převažujících nosičů náboje, to jest na typu polovodiče (viz obr.2). Odchylování nosičů náboje



Obr. 1 Vznik Hallova napětí



Obr. 2 Určení typu vodivosti

bude pokračovat tak dlouho, dokud vzniklé elektrické pole E_H nevyrovná působení magnetického pole. Potom síla, kterou působí na náboj elektrické pole, bude rovna Lorentzově síle (1) a nastane rovnovážný stav, neboť výsledná síla, působící na náboj napříč destičkou, bude rovna nule.

Za předpokladu, že magnetické pole je kolmé ke směru proudu (vektory v a B jsou na sebe kolmé), bude platit:

$$q_e E_H = q_e v B \quad (2)$$

Pro tzv. Hallovo napětí $U_H = d \cdot E_H$ měřené mezi spodní a horní stěnou destičky je možno odvodit z (2) a za použití vztahu $I = n q_e v b d$ výraz:

$$U_H = \frac{I B}{n q_e b} = R \frac{I B}{b} \quad (3)$$

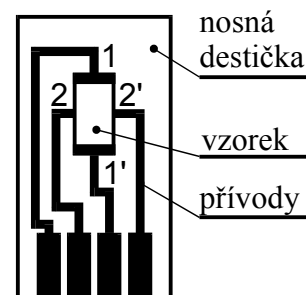
Zde kromě známých symbolů I, B, q_e značí b tloušťku destičky a n koncentraci volných nosičů náboje v měřeném vzorku.

$$R = \frac{b U_H}{I B} = \frac{1}{n q_e} \quad [\text{m}^3 \text{C}^{-1}] \quad (4)$$

Veličina R se nazývá Hallova konstanta. Pro vzorek s kladnými nosiči náboje (děrová vodivost) je $q_e = e$ a $R > 0$, pro vzorek s elektronovou vodivostí je $q_e = -e$ a $R < 0$.

Měření a vyhodnocení

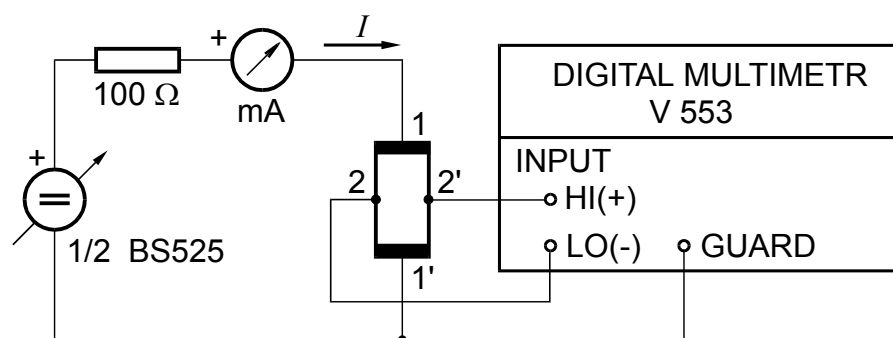
Měřený vzorek je umístěn na nosné destičce, která se po zasunutí do držáku vzorků umístí do mezery elektromagnetu. K vlastnímu vzorku jsou připojeny dva páry kontaktů $1 - 1'$ a $2 - 2'$. Kontakty $1 - 1'$ slouží pro vedení proudu vzorkem a kontakty $2 - 2'$ slouží pro měření Hallova napětí.



Obr. 3 Vzorek

1) Pro napájení cívek elektromagnetu použijeme jednu část zdroje BS525 (popis zdrojů viz kap. „Přístroje užívané ve fyzikálním praktiku“ v úvodní části skript).

Cívky se propojí do serie pomocí zdířek **A** (začátek) a **E** (konec) tak, aby se magnetická indukce obou cívek sčítala (nutno vyzkoušet za současného měření



Obr. 4 Schema zapojení obvodu se vzorkem

mag. indukce). Velikost a směr magnetického pole v mezeře elektromagnetu měříme teslametrem (viz kap. „Přístroje užívané ve fyzikálním praktiku“).

Cívky nerozpojujte, protéká-li jimi proud – opalují se kontakty!

2) Z druhé části zdroje BS525 napájíme proudové kontakty vzorku $1 - 1'$ přes v sérii zapojený miliampérmetr a odpor 100Ω . **Před připojením nových vzorků je nutno snížit výstupní napětí na nulu!** Potenciometry "OMEZENÍ

PROUDU" na zdroji musí být vytočeny na maximum. Hallovo napětí měříme multimetrem V553.

- 3) Vzhledem k tomu, že je obtížné experimentálně upevnit kontakty 2 - 2' symetricky, vznikne vždy jistý potenciální rozdíl U_0 i při nulovém magnetickém poli. Rozdíl potenciálů U_0 je způsoben ohmickým spádem napětí podél vzorku a není závislý na magnetickém poli. Může být dokonce několikrát větší než je vlastní Hallovo napětí. Je možno jej vyloučit, jestliže budeme měřit Hallovo napětí pro dva opačné směry magnetického pole, při nichž Hallovo napětí U_H mění polaritu. Výsledná napětí, která naměříme, budou:

$$U_1 = U_0 + U_H \qquad U_2 = U_0 - U_H$$

odtud:

$$U_H = \frac{U_1 - U_2}{2} .$$

- 4) Typ vodivosti určíme ze znalosti směru průchodu magnetické indukce \mathbf{B} vzorkem, směru proudu I a polarity Hallova napětí U_H (obr.2). Polaritu Hallova napětí můžeme stanovit z následující úvahy:

Pokud zapojíme voltmetr tak, jak je na obrázku (+ voltmetru na kontakt 2', - voltmetru na 2) a při vložení do magnetického pole se údaj voltmetru změní z napětí U_0 (daného nesymetrií kontaktů) na napětí U_1 , potom:

- je-li $U_1 > U_0$ (s uvažováním znamének), má Hallovo napětí kladný pól na kontaktu 2' a záporný na kontaktu 2
- je-li $U_1 < U_0$ je na kontaktu 2' záporný pól a na kontaktu 2 kladný.

Příklad 1:

Bez magnetického pole je na kontaktech 2 - 2' napětí $U_0 = -25$ mV. Vložíme vzorek do elektromagnetu a napětí se změní na $U_1 = -10$ mV (vzroste). Hallovo napětí má tedy (pro tento směr proudu I a magnetického pole \mathbf{B}) kladný pól na svorce 2'

Příklad 2:

Bez magnetického pole je na kontaktech 2 - 2' napětí $U_0 = +5$ mV. Vložíme vzorek do elektromagnetu a napětí se změní na $U_1 = -15$ mV (klesne). Pak má Hallovo napětí na kontaktu 2' záporný pól. Změníme-li směr \mathbf{B} , naměříme $U_2 = +25$ mV. Velikost Hallova napětí je pak

$$\left| \frac{U_1 - U_2}{2} \right| = \left| \frac{-15 - (+25)}{2} \right| = 20 \text{ mV} .$$

- 5) Při vlastním měření Hallova napětí nastavíme určitý proud vzorkem (řádově mA) a udržujeme jej na stálé hodnotě. Proudem ve vinutí elektromagnetu pak vybudíme potřebné magnetické pole (měříme teslametrem). Pak vsuneme do mezery vzorek a změříme Hallovo napětí. Opačný směr magnetické indukce získáme obráceným vložením destičky se vzorkem do mezery elektromagnetu.

Pracovní úkol

- 1) Změřte napětí U_1 a U_2 v závislosti na magnetické indukci B při dvou opačných směrech magnetického pole. Proud vzorkem volte dle přiložené tabulky u úlohy. Magnetickou indukci měňte od 0,1 T do 0,5 T po 0,1 T. **Ihned** při měření vzorku je třeba určit o jaký typ vodivosti jde.
- 2) Změřte totéž pro další dva vzorky.
- 3) Z naměřených hodnot určete Hallovo napětí U_H a Hallovu konstantu R pro každé B . Spočtěte střední hodnotu R (včetně příslušné chyby) a z ní koncentraci volných nosičů náboje pro každý vzorek. Pro zápis hodnot můžete použít tabulku 1.

Tabulka 1

$I =$ [mA]				
B [T]	U_1 [mV]	U_2 [mV]	U_H [mV]	R [m ³ C ⁻¹]