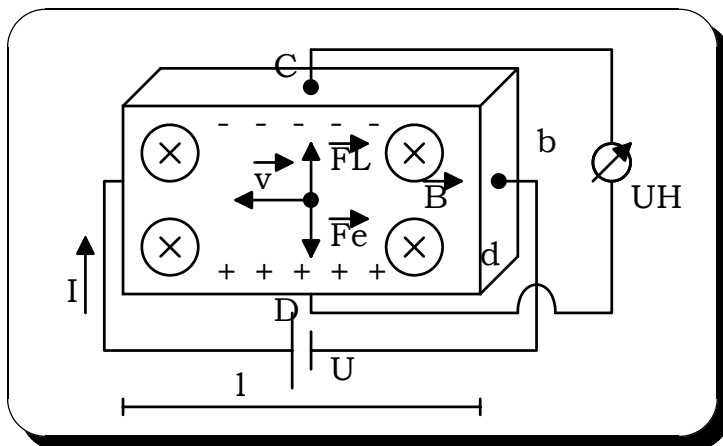


1.2.3 Hall-Effekt; Hall-Sonde

Der Hall-Effekt

Die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld hängt, wie bereits besprochen, unter anderem vom Magnetfeld selbst ab und basiert letztlich auf der Kraft auf bewegte Ladungsträger. Sie führt in geeigneten Vorrichtungen zum Entstehen einer Spannung (Hall-Effekt, nach E. H. Hall, amerik. Physiker, 1855 -1938).

Prinzipalskizze:



Durch einen streifenförmigen Ag-Leiter fließt der Steuerstrom I ; das Magnetfeld steht senkrecht zur Plättchenebene.

Ergebnis: Beim Anlegen eines Magnetfeldes B senkrecht zur Driftgeschwindigkeit v der Ladungsträger misst man zwischen den Punkten C und D eine Spannung, die Hallspannung U_H .

Erklärung: Unter der Annahme, dass der elektrische Strom in Leitern von bewegten Elektronen herrührt, entspricht einer technischen Stromrichtung von links nach rechts eine Elektronenstromrichtung (Ladungsträgerrichtung) von rechts nach links. Auf die so bewegten Elektronen wirkt im Magnetfeld B die Lorentzkraft F_L nach oben und lenkt die Elektronen entsprechend ab. Der obere Teil des Plättchens wird dadurch negativ, der untere Teil positiv aufgeladen; es entsteht ein elektrisches Feld der Größe $E = U_H/b$ (Kondensator!),

das auf weitere Elektronen die elektrische Kraft

$$F_e = e \cdot E = e \cdot \frac{U_H}{b}$$

nach unten ausübt. Nach kurzer Zeit stellt sich ein Kräftegleichgewicht ein, d. h. es gilt

$$F_e = F_L \text{ bzw.}$$

$$e \cdot \frac{U_H}{b} = e \cdot v \cdot B.$$

Daraus folgt für die Hallspannung (Querspannung zwischen oben und unten)

$$U_H = v \cdot b \cdot B.$$

Auswirkung, Anwendung: Für konstante Streifenbreite b und konstante Ladungsträgergeschwindigkeit v (sicher erfüllt für konstanten Steuerstrom I) folgt

$$U_H \sim B,$$

d. h. aus der Hall-Spannung U_H kann nach geeigneter Eichung die Flussdichte B eines das Hall-Plättchen durchsetzenden Magnetfeldes bestimmt werden. Darauf bauen die üblichen Hall-Sonden zur Ausmessung von Magnetfeldern auf.

Hall-Effekt und Leitungsmechanismus

Sind im Plättchen N Ladungsträger (beliebigen, aber einheitlichen Vorzeichens) mit je einer Elementarladung vorhanden, die sich mit der mittleren Geschwindigkeit v bewegen, so lässt sich der Term für die Hallspannung umformen:

Zunächst gilt für die Stromstärke I

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t} \text{ bzw. } \frac{1}{t} = \frac{I}{N \cdot e},$$

woraus wegen

$$v = \frac{1}{t}$$

sofort

$$v = \frac{I \cdot l}{N \cdot e}$$

folgt. Setzt man diesen Ausdruck in die Gleichung für U_H ein, so erhält man

$$U_H = v \cdot b \cdot B = \frac{I \cdot l \cdot B \cdot b}{N \cdot e}.$$

Bringt man jetzt noch die Geometrie des Plättchens mit

$$V = l \cdot b \cdot d$$

ein und bezeichnet den Quotienten $\frac{N}{V} = n$ als Teilchenzahldichte (Zahl der Ladungsträger pro Volumeneinheit), so folgt schließlich für die Hallspannung

$$U_H = \frac{I \cdot B \cdot l \cdot b \cdot d}{N \cdot e \cdot d} = \frac{I \cdot B \cdot V}{N \cdot e \cdot d} = \frac{I \cdot B}{\frac{N}{V} \cdot e \cdot d} \text{ bzw.}$$

$$U_H = \frac{I \cdot B}{n \cdot e \cdot d}.$$

Daraus lässt sich ohne Schwierigkeiten aus leicht zugänglichen Messgrößen die Teilchenzahldichte n berechnen.

Für Silber erhält man auf diese Weise eine Ladungsträgerdichte von $n = 7,1 \cdot 10^{22} \text{ cm}^{-3}$; dies ist etwa so viel wie die Anzahldichte der Atome, d. h. jedes Silberatom stellt ungefähr ein Elektron zur Elektrizitätsleitung ab.

Der Term $R_H := \frac{1}{n \cdot e}$ in obiger Gleichung heißt auch Hall-Konstante R_H (Voraussetzung: Jeder Ladungsträger trägt nur die Elementarladung e !).

Die Polarität der Hall-Spannung wird, wenn die Vorzeichen von I und B nicht wechseln, von der Polarität der Hall-Konstanten bestimmt, die wiederum nur vom Vorzeichen der Ladungsträger abhängt. Für Metalle ist eine negative Hall-Konstante zu erwarten; dies ist aber nicht für alle Metalle der Fall (z. B. nicht für Zink). Für die meisten Metalle kann aber aus negativen Hall-Konstanten gefolgert werden, dass der Leitungsvorgang überwiegend von negativen Ladungsträgern bewirkt wird.

Hall-Effekt

Besonders groß ist die Hallkonstante für bestimmte Halbleiter. Diese zeigen also relativ hohe Hall-Spannungen und sind deshalb zur Verwendung in Hall-Sonden zur Ausmessung von Flussdichten besonders gut geeignet.

Hall-Konstanten R_H in m^3/As :

Material	Hall-Konstante	Material	Hall-Konstante
Kupfer	$-5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{As}$	Silber	$-9,0 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{As}$
Wismut	$-5,4 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{As}$	Indiumantimonid	$-10^{-4} \text{ m}^3/\text{As}$
Aluminium	$+9,9 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{As}$	Indium	$+1,6 \cdot 10^{-10} \text{ m}^3/\text{As}$