

Name, Vorname	Testat	

Aufgabe 1: Hall-Effekt und Strommessung mittels eines Hall-Sensors (Teilaufgabe e) nicht testatpflichtig)

Ein vom Strom I_H durchflossenes planares Hall-Element befinde sich gemäss **Fig. 1a)** in einem homogenen Magnetfeld der Flussdichte B_{ext} , das senkrecht zur Stromflussebene weist. Aufgrund der Lorentz-Kraft wird die bewegte Ladung senkrecht zu Strom I_H und zur Flussdichte B_{ext} abgelenkt. Somit tritt an den beiden Rändern des Hall-Elementes ein Ladungsüberschuss bzw. -mangel auf. Es bildet sich demnach ein elektrisches Feld derart aus, dass die resultierende Coulomb-Kraft der Lorentz-Kraft das Gleichgewicht hält. Die dann zwischen den Punkten A und B auftretende Spannung wird als Hall-Spannung U_H bezeichnet.

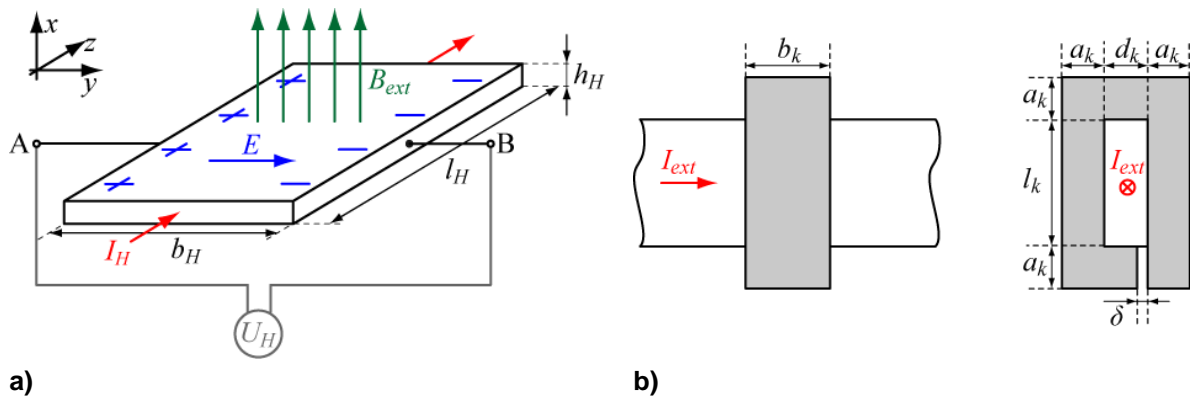


Fig. 1: a) Hall-Effekt sowie **b)** Darstellung einer Vorrichtung zur Strommessung mittels Hall-Element

- Leiten Sie allgemein aus der Lorentz-Kraft und der Coulomb-Kraft die resultierende Hallspannung U_H nach Richtung und Betrag her.
- Wie gross ist die zu messende Hallspannung U_H für ein Hall-Element aus n-dotiertem Silizium ($n^- = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$) mit der Dicke $h_H = 0,1 \text{ mm}$ sowie dem Strom $I_H = 100 \text{ mA}$, wenn die magnetische Flussdichte $B_{ext} = 0,5 \text{ T}$ beträgt?

Mit Hilfe des nach **b)** gegebenen Hall-Sensors soll eine Strommessvorrichtung realisiert werden. Dazu wird gemäss **Fig. 1b)** um einen stromführenden Leiter mit dem Strom I_{ext} ein Magnetkreis vorgesehen, in dessen Luftspalt δ der Hall-Sensor eingebracht wird. Die dabei auftretende Hallspannung U_H ist somit ein Mass für den Strom I_{ext} .

- Berechnen Sie die im Luftspalt δ auftretende Flussdichte B_{ext} in Abhängigkeit des Stromes I_{ext} . Die Luftspaltlänge sei dabei $\delta = 3 \text{ mm}$. Der magnetische Widerstand des Magnetmaterials kann vernachlässigt werden ($\mu_r \rightarrow \infty$).
- Wie gross ist dann allgemein die sich in Abhängigkeit des Stromes I_{ext} einstellende Hallspannung U_H ? Welchen Zahlenwert weist U_H für einen Strom von $I_{ext} = 1200 \text{ A}$ auf?
- Berechnen Sie die Erhöhung der Induktivität des den Strom I_{ext} führenden Leiters. Die Abmessungen des Magnetkreises betragen $a_k = 15 \text{ mm}$, $b_k = 20 \text{ mm}$, $d_k = 10 \text{ mm}$ und $l_k = 50 \text{ mm}$?

Aufgabe 2: Dimensionierung einer Induktivität für einen Gleichspannungswandler

Für einen Gleichspannungswandler muss zur Energieübertragung eine Induktivität von $L = 50 \mu\text{H}$ realisiert werden. Bei Betrieb des Wandlers tritt in der Induktivität ein Spitzenstrom von $I_p = 5 \text{ A}$ auf. Die Induktivität soll als Toroidspule aufgebaut werden, wobei die Kupferwicklung mit dem Leiterdurchmesser $d_{\text{cu}} = 1 \text{ mm}$ gleichmässig auf einen Kunststoffring gemäss **Fig. 2a)** aufgewickelt wird. Die Abmessungen des Kunststoffrings seien $D_a = 3,5 \text{ cm}$ und $D_i = 1,8 \text{ cm}$.

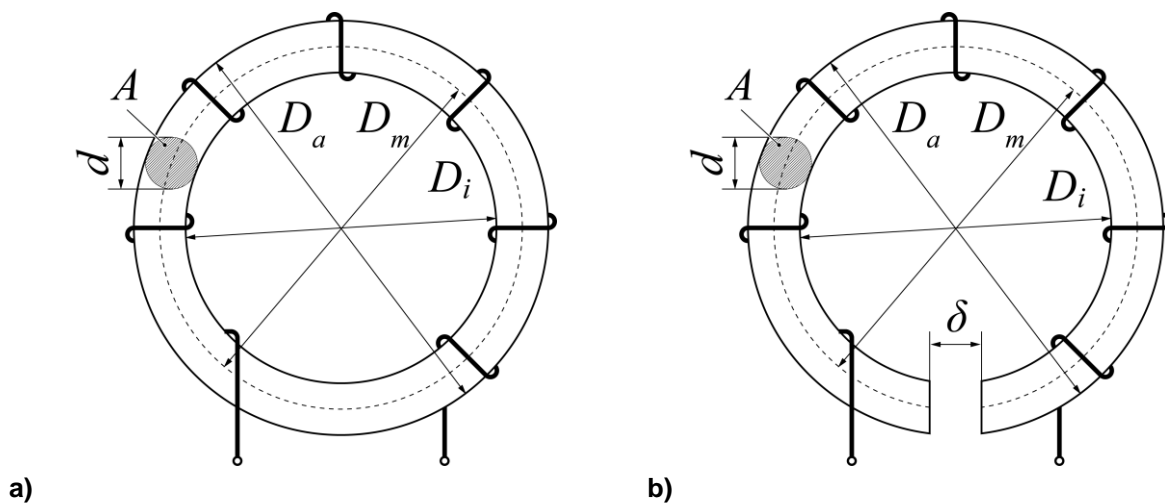


Fig. 2: a) Luft-Toroidspule und b) Toroidspule mit Luftspalt

- Berechnen Sie die benötigte Windungszahl N , damit der vorgegebene Induktivitätswert L erreicht wird. Wie gross ist dann der resultierende ohmsche Widerstand der Wicklung und wie hoch sind die Wicklungsverluste bei einem Stromeffektivwert von $I_{\text{eff}} = 3 \text{ A}$?
- Damit die Windungszahl und somit die Wicklungsverluste reduziert werden können, wird der Kunststoffring durch einen Ferritkern mit denselben Abmessungen ersetzt. Die relative Permeabilität sei $\mu_r = 3000$. Wie gross wird nun die erforderliche Windungszahl N und welche maximale Flussdichte B_{max} würde auftreten? Welchen Strom I_{max} kann die Induktivität maximal führen, wenn die Sättigungsinduktion des Ferritkerns bei $B_{\text{sat}} = 0,3 \text{ T}$ liegt?
- Um den Maximalwert der Flussdichte auf einen Wert unterhalb der Sättigungsgrenze zu beschränken, wird gemäss **Fig. 2b)** ein Luftspalt δ in den magnetischen Kreis eingefügt. Berechnen Sie die Länge des Luftspalts δ sowie die Windungszahl N derart, dass für den gegebenen Induktivitätswert gerade eine Sättigung des Kernmaterials verhindert wird. Der magnetische Widerstand des Kernmaterials kann dabei vernachlässigt werden ($\mu_r \rightarrow \infty$). Wie hoch sind nun die Wicklungsverluste bei einem Stromeffektivwert von $I_{\text{eff}} = 3 \text{ A}$?