

Drehspulmessgerät

Aufgabe 1

Die durch den Spulenstrom erzeugten Kräfte müssen ein Kräftepaar bilden, welches den Zeiger im Uhrzeigersinn ausschlagen lässt. Auf einen stromdurchflossenen Leiter wirkt die Kraft

$$\vec{F}_S = I \cdot (\vec{l} \times \vec{B}) = I_S \cdot (\vec{l}_S \times \vec{B}_L).$$

Daraus folgt die dazu erforderliche Richtung des magnetischen Feldes \underline{B}_L im Luftspalt. **Abb. 1** zeigt den Verlauf der Feldlinien im Drehspulmessgerät. Ausserhalb des Magnets verlaufen die Feldlinien von Nord nach Süd und innerhalb des Magnets von Süd nach Nord, so dass geschlossene Kreise ohne Quellen oder Senken entstehen. Im Luftspalt verlaufen die Feldlinien radial.

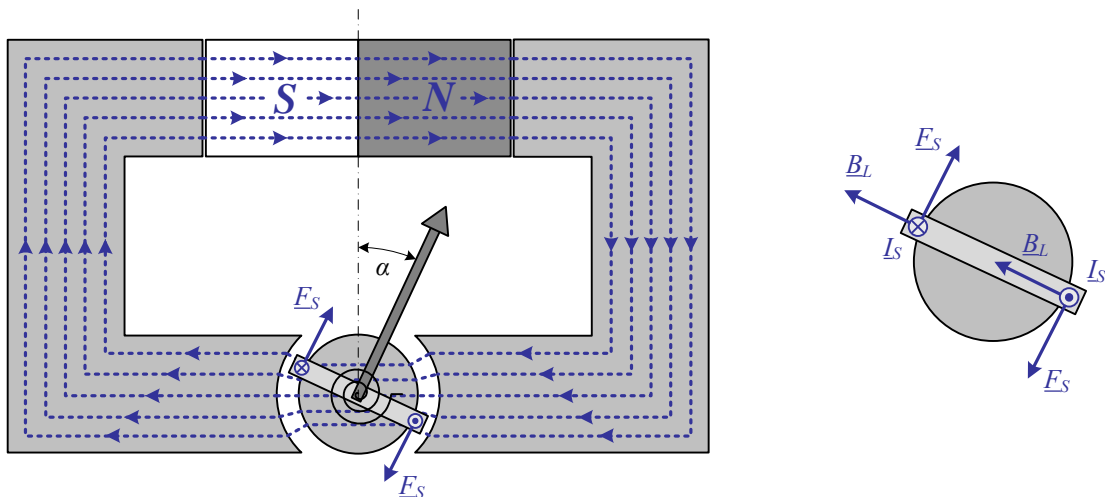


Abb. 1: Verlauf der Feldlinien im Drehspulmessgerät.

Aufgabe 2

Da keine Streuflüsse auftreten ist der magnetische Fluss konstant und berechnet sich wie folgt:

$$B = \frac{\Phi}{A} \quad \rightarrow \quad \Phi = B \cdot A = B \cdot h \cdot b = 391.5 \mu\text{Vs}$$

Die Durchflutung berechnet sich mit dem Durchflutungsgesetz wie folgt:

$$\Theta = \oint H dl$$

Mit der Annahme, dass das magnetische Feld homogen und konstant ist können wir das Linienintegral als Summe der einzelnen Wege schreiben

$$\Theta = \sum_i H_i l_i = \sum_i \frac{B_i}{\mu_i} l_i = \frac{B}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Schenkel} + \frac{B}{\mu_{Luft} \mu_0} l_{Luft} + \frac{B}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Kern}$$

Da die Permeabilität von Eisen $\mu_{Fe} = \infty$ ist, ist hier nur der Luftspalt relevant:

$$\begin{aligned}\Theta &= \underbrace{\frac{B}{\mu_{Fe}\mu_0}}_0 l_{Schenkel} + \frac{B}{\mu_{Luft}\mu_0} l_{Luft} + \underbrace{\frac{B}{\mu_{Fe}\mu_0}}_0 l_{Kern} \\ &= \frac{B}{\mu_{Luft}\mu_0} l_{Luft} \\ \Theta &= 1.432 \cdot 10^3 \text{ A}\end{aligned}$$

Aufgabe 3

Bei Vollausschlag α_{max} übt die Spiralfeder das Moment

$$M_F = c \cdot \alpha_{max}$$

aus.

Steht der Zeiger des Messgeräts still, steht M_F im Gleichgewicht mit dem elektrisch erzeugten Moment M_{el} . Das elektrische Moment berechnet sich mit Hilfe der Lorentzkraft wie folgt:

$$M_{el} = 2 \cdot \frac{D_S}{2} \cdot F_S = D_S \cdot l_S \cdot I_S \cdot B_L.$$

Die wirksame Leiterlänge l_S beträgt

$$l_S = N_S \cdot h = 6 \text{ m},$$

und der Spulenstrom berechnet sich mit dem Widerstand R_S der Drehspule zu

$$I_S = \frac{U_{M,max}}{R_S}.$$

Zusammen mit der Gleichgewichtsbedingung $M_F = M_{el}$ folgt:

$$R_S = \frac{U_{M,max} \cdot D_S \cdot N_S \cdot h \cdot B_L}{c \cdot \alpha_{max}} = 2.7 \text{ k}\Omega$$

Aufgabe 4

Die Verlustleistung in der Spule soll den Wert

$$P_{V,max} = \frac{U_{M,max}^2}{R_S} = 0.6 \text{ W}$$

nicht übersteigen. Zusammen mit dem Ausdruck für R_S folgt daraus für die Windungszahl:

$$N_S = \frac{U_{M,max} \cdot c \cdot \alpha_{max}}{D_S \cdot h \cdot B_L \cdot P_{V,max}} = 2470$$

Die Windungszahl der Drehspule muss daher mindestens $N_S = 2470$ betragen.

Aufgabe 5

Ohne angeschlossenes Messgerät fällt über dem Widerstand R_2 die Spannung

$$U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U = 14\text{V}$$

ab. Wird nun das Drehspulmessgerät angeschlossen, kommt dessen Innenwiderstand R_S parallel zu R_2 zu liegen (vgl. **Abb. 2**) und dadurch nimmt die Spannung über dem Widerstand auf

$$U_2 = \frac{R_2 // R_S}{R_1 + R_2 // R_S} \cdot U = \frac{R_2 \cdot R_S}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_S + R_2 \cdot R_S} \cdot U = 10.08\text{V}$$

ab. Das Drehspulmessgerät zeigt demnach eine zu tiefe Spannung an.

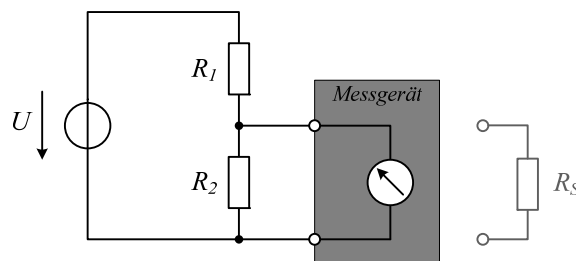


Abb. 2: Ersatzschaltung des Spannungsteilers mit angeschlossenem Drehspulmessgerät.

Aufgabe 6

Die benötigte Windungszahl wird mit dem Durchflutungsgesetz

$$N \cdot I = \oint H \cdot dl = \sum_i H_i \cdot l_i = \sum_i \frac{B_i}{\mu_i} \cdot l_i$$

berechnet. Wegen $\mu_{Fe} \rightarrow 4500$ können die Terme des Eisens nicht vernachlässigt werden. Es müssen alle Summanden des Durchflutungsgesetzes berücksichtigt werden.

$$N \cdot I = \sum_i \frac{B_i}{\mu_i} l_i = \frac{B}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Schenkel} + \frac{B}{\mu_{Luft} \mu_0} l_{Luft} + \frac{B}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Kern}$$

Daraus berechnet sich die Anzahl Windungen:

$$\begin{aligned} N &= \frac{B}{I} \left(\frac{1}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Schenkel} + \frac{1}{\mu_{Luft} \mu_0} l_{Luft} + \frac{1}{\mu_{Fe} \mu_0} l_{Kern} \right) \\ &= \frac{B}{\mu_0 I} \left(\frac{1}{\mu_{Fe}} (l_{Schenkel} + l_{Kern}) + \frac{1}{\mu_{Luft}} l_{Luft} \right) \\ N &= 366.454 \end{aligned}$$

Damit sich im Luftspalt die gewünschte Flussdichte von $B_L = 0.9\text{T}$ einstellt, sind also $N_E = 367$ Windungen vorzusehen.

Aufgabe 7

Das durch den Spulenstrom erzeugte Moment berechnet sich zu:

$$M_M = \left| \sum_i \vec{r}_S \times \vec{F}_S \right| = 2 \cdot \frac{D_S}{2} \cdot F_S \cdot \cos(\alpha) = D_S \cdot I_S \cdot N_S \cdot h \cdot B_P \cdot \cos(\alpha)$$

Das maximale Moment tritt demnach bei $\alpha = 0^\circ$ auf und beträgt:

$$M_{M_{\max}} = D_S \cdot I_S \cdot N_S \cdot h \cdot B_P = 1.8 \text{ mNm}$$

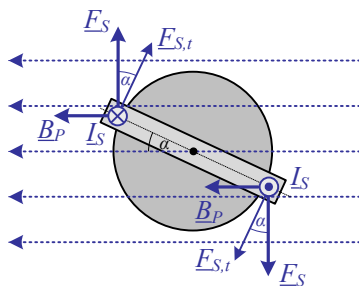


Abb. 3: Drehspule im Magnetfeld mit parallel verlaufenden Feldlinien.