
Elektrotechnik II

Übung 6

Prof. Dr. Göran Andersson

FS 2011

<http://www.eeh.ee.ethz.ch/>

Formelsammlung für Übung 6

Kapitel 5 Magnetische Kreise (siehe Skript: MK-31-51)

Eigenschaften des magnetischen Feldes:

- Intensität des magnetischen Feldes: magnetische Flussdichte $B = [\text{Tesla}]$
- Feldlinien sind immer geschlossen (quellenfreies Wirbelfeld)
- magnetische Feld schliesst sich bevorzugt über Eisenwege
- magnetischer Fluss

$$\Phi = \int_A \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad \Phi = [\text{Vs}] = [\text{Wb}]$$

- Für homogene Feldverteilung und Orthogonalität von B und dA

$$\Phi = B \cdot A$$

- Ursache des magnetischen Feldes ist der elektrischer Strom. Dies wird mit über die magnetische Erregung oder magnetische Feldstärke H beschrieben.

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H} \quad H = \left[\frac{\text{A}}{\text{m}} \right]$$

- Permeabilität: abhängig vom Material

$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

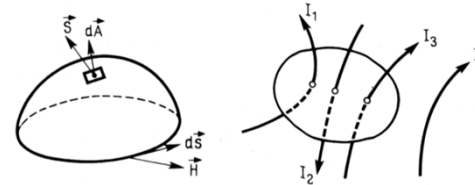
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}$$

Formelsammlung für Übung 6

Ohmsches Gesetz des magnetischen Kreises

Bestimmung der magn. Erregung H bei Kenntnis der erregenden elektrischen Ströme:

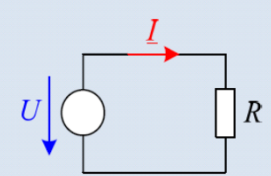
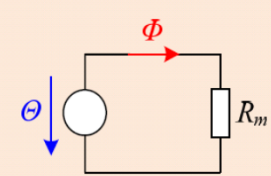
$$\Theta = \int H dl = \int S dA = \sum_n I_n = N \cdot I$$



- Durchflutungsgesetz

$$\Theta = N \cdot I = \oint H dl = \sum_v H_v l_v = \sum_v \frac{B_v}{\mu_v} l_v = \sum_v \Phi_v \cdot \frac{l_v}{A_v \mu_v} = \sum_v \Phi_v \cdot R_{m,v} = V_{m,v} \quad \Theta = [A]$$

- Magnetischer Fluss ϕ äquivalent zum elektrischen Strom I
- Reluktanz R_m äquivalent zum Widerstand R
- Magnetische Durchflutung Θ äquivalent zur elektrischen Spannung U

Elektrischer Kreis	Magnetischer Kreis
	
Spannungsquelle: U [V]	Durchflutung: Θ [A]
Strom: I [A]	Magnetischer Fluss: Φ [Vs]
Ohm. Widerstand: R [Ω]	Magn. Widerstand: R_m [A/Vs]
Leitwert: G [S]	Magn. Leitwert: Λ [Vs/A]
Teilspannung: $U = R_m \cdot I$	Teilspannung: $V_m = R_m \cdot \Phi$

Formelsammlung für Übung 6

Induktionsgesetz:

$$u_{ind} = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Krafteinwirkung:

- **Lorentzkraft**

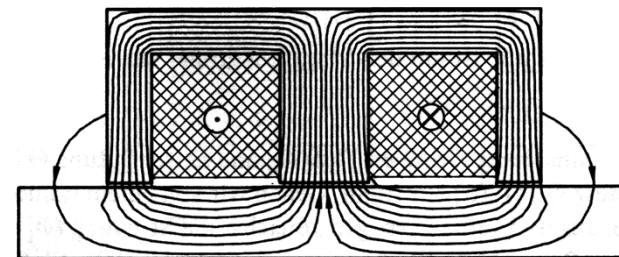
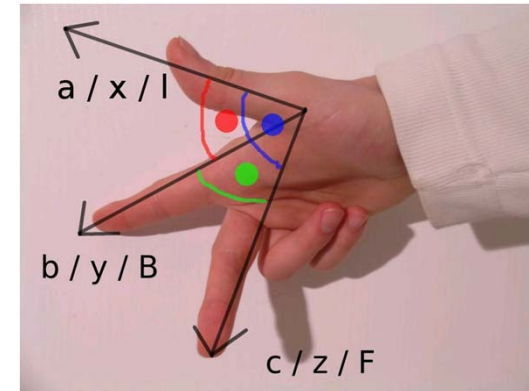
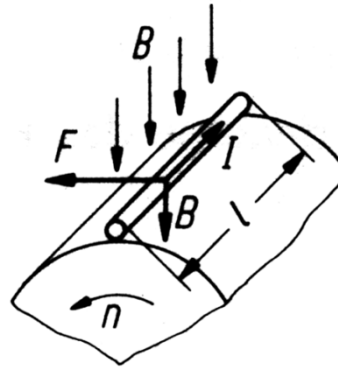
$$\vec{F} = I \cdot \left(\vec{l} \times \vec{B} \right)$$

- Wenn Feldrichtung und stromdurchflossener Leiter rechtwinklig zueinander sind gilt: $F = I \cdot l \cdot B$

- **Kräfte auf Grenzflächen**

- Kraft ist so gerichtet, dass sie das Volumen des Stoffes mit der kleineren Permeabilität zu verkleinern versucht.

$$F = \frac{B^2}{2\mu_0} A$$



Beispiel: Induktivität mit Eisenkern und Luftspalt

Erregung des Eisenkernes durch den Wicklungsstrom I , die magnetische Induktion B ist auf den Eisenweg konzentriert, der magnetische **Fluss Φ** ist in erster Näherung im **Eisenkreis** und im **Luftspalt gleich** gross.

Gehen wir davon aus dass uns der Fluss Φ bekannt ist, folgen für die magnetische Induktionen B_i in den einzelnen Abschnitten i mit den Querschnittsflächen A_i

$$B_i = \frac{\Phi}{A_i}$$

und damit für die magnetischen Erregungen

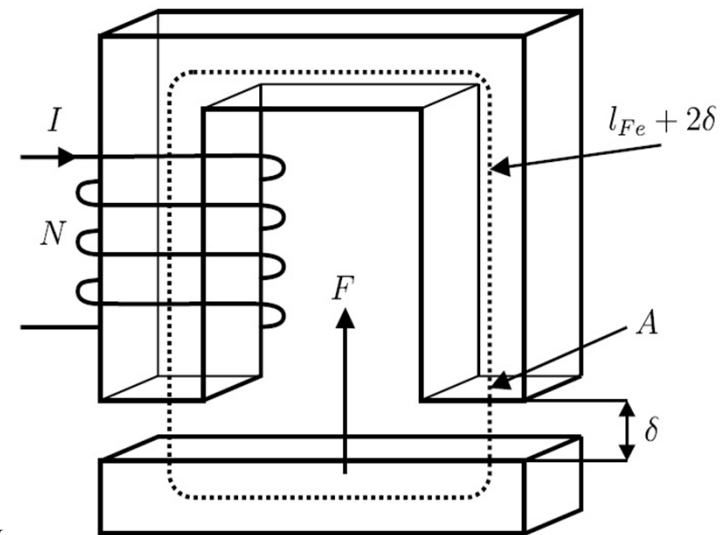
$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

Aus dem Durchflutungsgesetz und unter den Annahmen

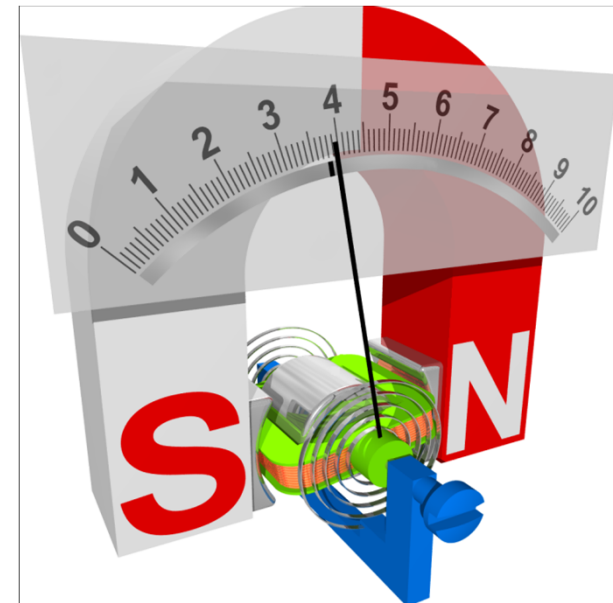
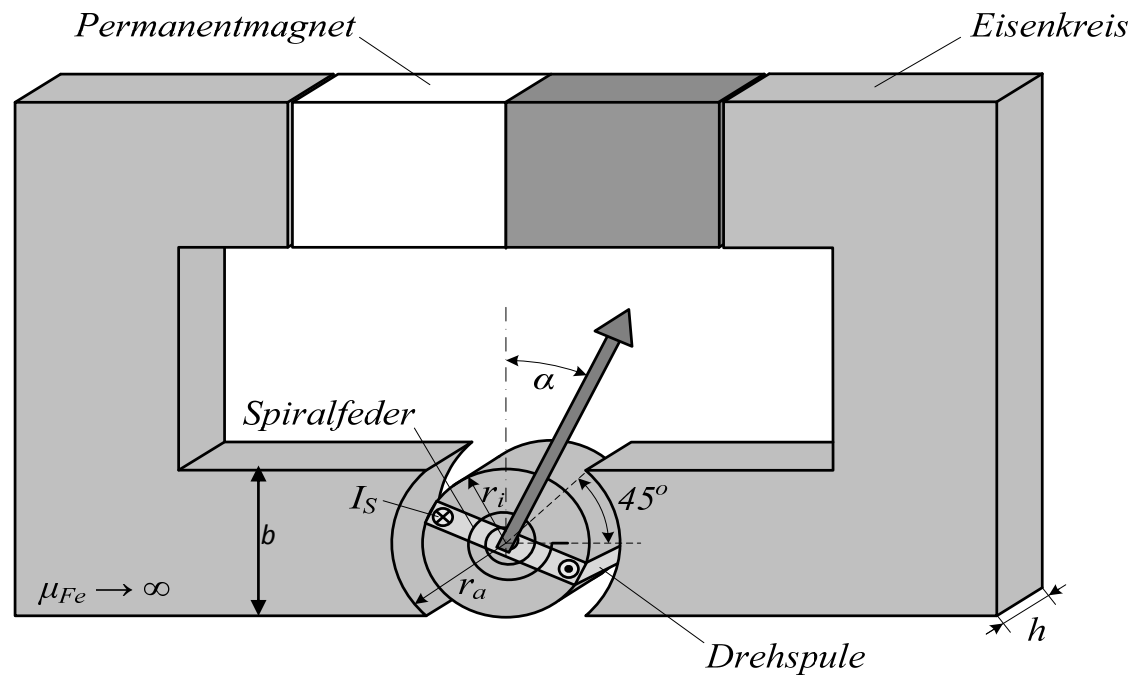
$$\Theta_{Fe} = \Theta_L \quad \text{und} \quad A_{Fe} = A_L \quad \text{und somit gilt:} \quad B_{Fe} = B_L$$

folgt nun

$$\Theta = N \cdot I = \frac{B}{\mu_0} \cdot 2\delta + \frac{B}{\mu_0 \cdot \mu_r} \cdot l_{Fe} \quad \text{und somit} \quad B = \frac{N \cdot I \cdot \mu_0}{2\delta + l_{Fe} / \mu_r}$$



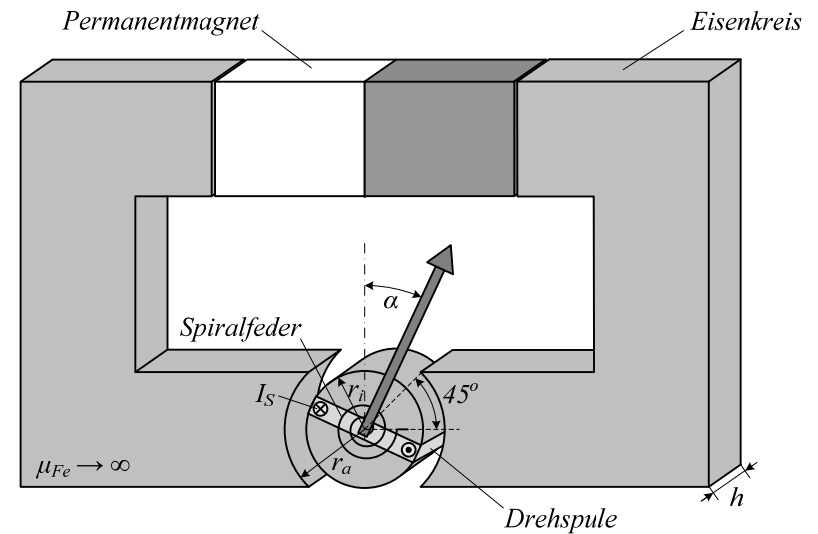
Drehspulmessgerät



Übung 6, Aufgabe 1

- 1) Welche Richtung muss das Magnetfeld aufweisen, damit sich für die gegebene Richtung des Spulenstromes die in Abb.1 gezeigte Verdrehung einstellt? Trage in Abb. 1 die Feldrichtung ein und begründe kurz deine Antwort – Formel genügt!

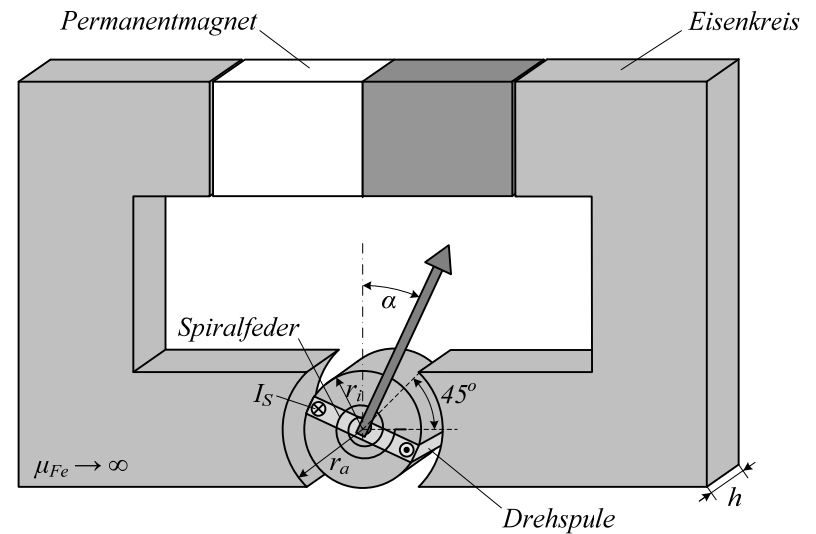
- Lorentzkraft



Übung 6, Aufgabe 2

2) Berechne den magnetischen Fluss Φ und die Erregerdurchflutung Θ des Permanentmagneten. Das Magnetfeld im Bereich der Spule kann mit $B_L = 0.9 \text{ T}$ angenommen werden. Es kann weiter angenommen werden, dass keine Streuflüsse existieren und die Querschnittsflächen A_i konstant sind.

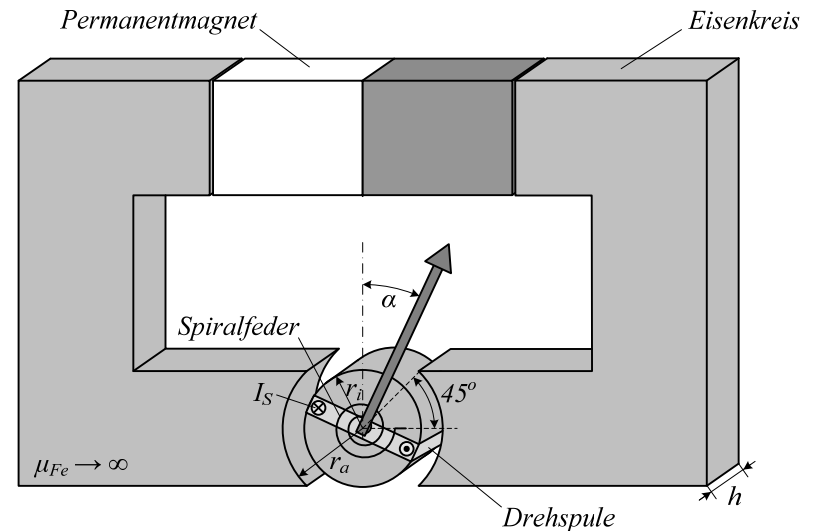
- Durchflutungsgesetz
- Ausnutzung von Orthogonalität



Übung 6, Aufgabe 3

3) Welchen Widerstand R_S muss die Spule aufweisen, damit bei einer Windungszahl von $N_S = 400$ für eine maximal zu messende Spannung von $U_{M,max} = 100V$ der Vollausschlag der Skala von $\alpha_{max} = 30^\circ$ erreicht wird? Das Magnetfeld im Bereich der Spule kann mit $B_L = 0.9T$ angenommen werden, der mittlere Spulendurchmesser beträgt $D_S = 30mm$..

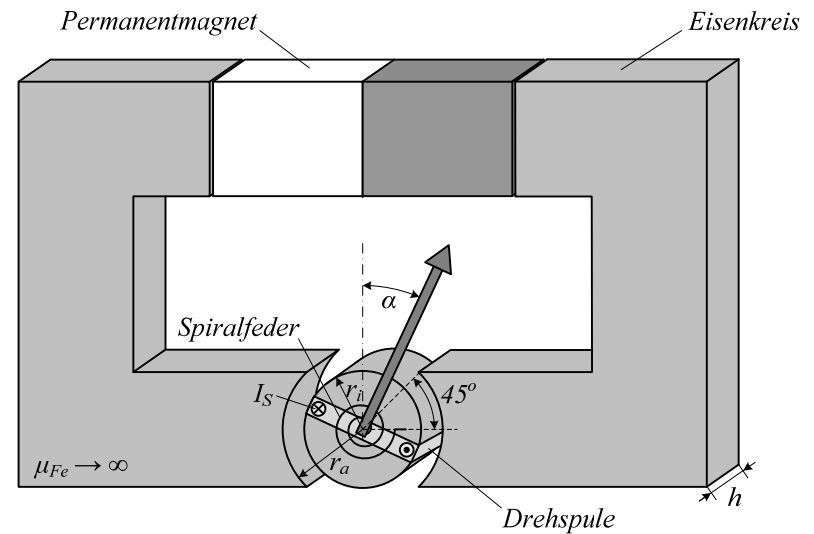
- Moment der Feder: $M_F = c \cdot \alpha_{max}$
- Elektrisches Moment: Mit Hilfe der Lorentzkraft
- Gleichgewicht der Momente



Übung 6, Aufgabe 4

- 4) In der Messspule darf, um die mit der Eigenerwärmung verbundenen Fehler gering zu halten, nur eine Verlustleistung von max. $P_{V,\max} = 0.6\text{W}$ auftreten. Auf welchen Wert N_S ist die Windungszahl zu ändern, damit dieser Grenzwert bei $U_{M,\max}$ eingehalten wird?

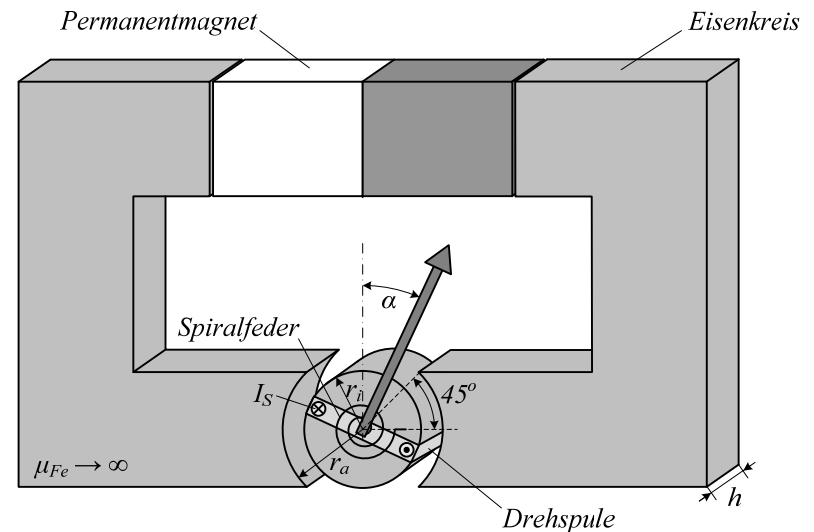
- Verlustleistung: $P_{V,\max} = \frac{U_{M,\max}^2}{R_S} = 0.6\text{W}$
- R_S ist aus Aufgabe 3 bekannt und ist abhängig von der Anzahl Windungen



Übung 6, Aufgabe 6

- 6) Die Permanenterregung des Magnetkreises soll durch eine Erregerwicklung ersetzt werden. Die durch das Entfernen des Magneten entstehende Lücke wird dabei mit Eisen gefüllt. Welche Windungszahl N_E ist vorzusehen, damit sich im Luftspalt die gewünschte Flussdichte von $B_L = 0.9\text{T}$ einstellt? Die Permeabilität des Eisenkreises kann dabei mit $\mu_{Fe} = 4500$ angenommen werden. Der Erregerstrom betrage $I_E = 4\text{A}$. Die mittlere Weglänge im Schenkel beträgt $l_{Schenkel} = 185\text{mm}$, im Luftspalt $\delta = 2\text{mm}$, und im Eisenkern der Drehspule $l_{Kern} = 25\text{mm}$.

- Durchflutungsgesetz



Übung 6, Aufgabe 7

- 7) Die Drehspule liege in einem Magnetfeld B_P mit parallel (und nicht radial) verlaufenden Feldlinien. Wie ist dann das zufolge der elektromagnetischen Kraft entstehende Drehmoment vom Drehwinkel abhängig? Wie hoch ist der Maximalwert des Drehmomentes für $B_P = 1\text{T}$, $N_S = 400$, $I_S = 10\text{mA}$ und bei welchem Verdrehwinkel tritt er auf?

- Moment des elektrischen Stromes:

$$M_M = \left| \sum_i \underline{r}_S \times \underline{F}_S \right|$$

