

Beispiel 6, Seite 101 aus dem Buch Elektrotechnik von Seyr und Schwaiger, Buch-Nr. 2557

6. Diese Übung ist etwas umfangreicher und verlangt gute Kenntnisse aus früheren Kapiteln. Bitte schlagen Sie dort nach und benützen Sie die Gelegenheit für eine gründliche Wiederholung.

Überlegen Sie sich vorher den Rechengang und notieren Sie die Abfolge der Berechnung.

Ein Haltemagnet soll ein Gewicht von 80 kg halten (siehe Abb. 8).

Die Erregerspule besteht aus 600 Windungen Kupferdraht.

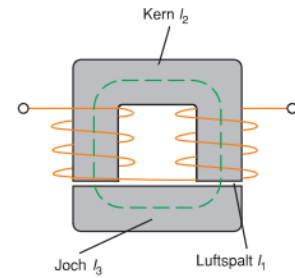
Die Polfläche beträgt $2 \times 12 \text{ cm}^2$.

Mittlere Feldlinienlängen: Luftspalt: $l_1 = 2 \times 1 \text{ mm}$

Kern: Trafoblech $l_2 = 36 \text{ cm}$

Joch: Stahlguss $l_3 = 12 \text{ cm}$

Welche Stromstärke ist dazu notwendig?



Die Angabe ist nicht ganz eindeutig, da eine Haltekraft angegeben ist, wobei zu bedenken wäre, dass bei dem völlig angezogenen Joch der Luftspalt nahezu Null ist. Ebenso ist die Qualität des Trafobleches nicht angegeben, ob 1 oder 2, siehe Diagramm. Die Skizze ist nicht proportional zu den angegebenen Maßen.

Für die folgende Berechnung ist ein bleibender Luftspalt von $2 \times 1 \text{ mm}$ und Trafoblech 2 zu Grunde gelegt.

1. Teil

Bestimmung der Gewichtskraft für eine Masse von 80kg, die der Magnet halten soll:

$$F = m \cdot g = 80 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ N/kg} = 785 \text{ N}$$

Die für diese Kraft benötigte Induktion (Flussdichte) wird abgeleitet von:

$$F = \frac{A \cdot B^2}{2\mu_0} \quad \text{daraus} \quad B = \sqrt{\frac{F \cdot 2\mu_0}{A}} = \sqrt{\frac{785 \text{ N} \cdot 2 \cdot 1,27 \cdot 10^{-6}}{0,0024 \text{ m}^2}} = 0,83 \text{ T}$$

Der Magnetische Kreis besteht aus drei Materialien, Luftspalt, Trafoblech und Stahlguss. Für jeden dieser Bereiche muss die Durchflutung Θ berechnet werden. Die Flussdichte B ist in allen Bereichen gleich, nämlich $0,83 \text{ T}$

Luftspalt, $2 \times 1 \text{ mm}$

$$H_1 = \frac{B}{\mu_0} = \frac{0,83 \text{ T}}{1,27 \cdot 10^{-6}} = 654166 \text{ A/m}$$

$$\Theta_1 = H_1 \cdot l_1 = 654166 \text{ A/m} \cdot 0,002 \text{ m} = 1308 \text{ A}$$

Für Trafoblech und Stahlguss muss die Feldstärke aus dem Diagramm ermittelt werden.

Trafoblech 2, 36cm

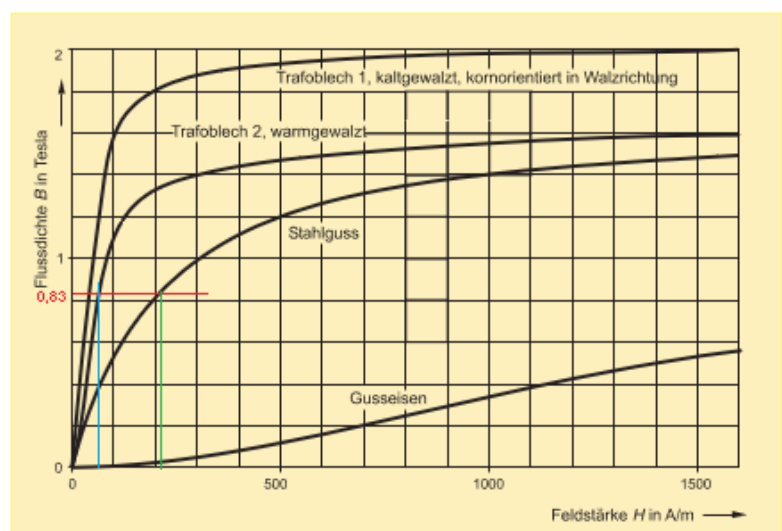
H bei $0,83 \text{ T}$ aus Tabelle 60 A/m , blaue Linie

$$\Theta_2 = H_2 \cdot l_2 = 60 \text{ A/m} \cdot 0,36 \text{ m} = 21,6 \text{ A}$$

Stahlguss, 12cm

H bei $0,83 \text{ T}$ aus Tabelle 210 A/m , grüne Linie

$$\Theta_3 = H_3 \cdot l_3 = 210 \text{ A/m} \cdot 0,12 \text{ m} = 25,2 \text{ A}$$



Die Gesamtdurchflutung ist die Summe der Einzelnen:

$$\Theta_{\text{Ges}} = \Theta_1 + \Theta_2 + \Theta_3 = 1308\text{A} + 21,6\text{A} + 25,6\text{A} = 1354,8\text{A}$$

Aus der Formel $\Theta = N * I$ wird der Strom berechnet mit $I = \Theta / N = 1354,8\text{A} / 600 = 2,26\text{A}$

Aus der Berechnung der Durchflutung, die quasi das Maß für die notwendige magnetische und daraus die elektrische Erregung darstellt, ist deutlich zu erkennen, dass den bedeutend größten Anteil der Luftspalt mit nur 2mm hat. Etwa 96% sind nur für diesen Luftspalt erforderlich.

2. Teil

Die Stromdichte in der Spule soll 4A/mm^2 betragen, d. h., je mm^2 Drahtfläche dürfen 4 A fließen.

Die mittlere Länge einer Windung beträgt 20 cm.

Im Dauerbetrieb erreicht die Spule eine Temperatur von 60°C .

Welche Gleichspannung ist notwendig und welche Leistung wird in der Spule umgesetzt?

Der Innenwiderstand der Gleichstromversorgung für den Haltemagnet beträgt $0,8\ \Omega$.

Welche Quellenspannung benötigt die Gleichstromquelle, damit der benötigte Strom fließen kann?

Bei der Stromdichte (J) von 4A/mm^2 und einem Strom von $2,26\text{A}$ ist ein Drahtquerschnitt von

$$A = \frac{I}{J} = \frac{2,26\text{A}}{4\text{A/mm}^2} = 0,56\text{mm}^2 \text{ erforderlich.}$$

Der Drahtdurchmesser wird aus der Formel -

$$A = \frac{d^2 * \pi}{4} \quad \text{daraus} \quad d = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0,56\text{mm}^2}{\pi}} = 0,844\text{mm} - \text{berechnet}$$

Die Gesamtlänge der Wicklung = mittlere Windungslänge * Windungszahl = $0,2\text{m} * 600 = 120\text{m}$

Für die Berechnung des Widerstandes ist der spezifische Widerstand von Kupfer erforderlich:

$$\rho = 0,017\ \Omega\text{mm}^2/\text{m}$$

$$R = \rho * \frac{l}{A} = 0,017 * \frac{120\text{m}}{0,56\text{mm}^2} = 3,6\ \Omega$$

Für die Berechnung des Widerstandes bei 60°C ist der Temperaturkoeffizient von Kupfer erforderlich:

$$\alpha = 0,0039\text{K}^{-1}$$

Die einfachere Formel für die Temperaturerhöhung ist:

$$R_w = R_k * (1 + \alpha * \Delta\theta) = 3,6\ \Omega * (1 + 0,0039\text{K}^{-1} * 40^\circ\text{C}) = 4,16\ \Omega$$

Die Spannung an der warmen Wicklung beträgt: $U = R * I = 4,16\ \Omega * 2,26\text{A} = 9,4\text{V}$

Die Leistung wird berechnet mit: $P = U * I = 9,4\text{V} * 2,26\text{A} = 21,24\text{W}$ **oder** $P = I^2 * R = 2,26^2 * 4,16 = 21,24\text{W}$

Der Innenwiderstand der Spannungsquelle beträgt $0,8\ \Omega$, daraus ergibt sich ein Spannungsabfall über diesen Innenwiderstand von: $U = R * I = 0,8\ \Omega * 2,26\text{A} = 1,8\text{V}$ – um diesen Wert muss die Quellenspannung größer sein.

Die Quellenspannung der Spannungsquelle muss betragen: $U_{\text{Wickl}} + U_{\text{Ri}} = 9,4\text{V} + 1,8\text{V} = 11,2\text{V}$

Im Lehrbuch ist noch eine weitere Berechnung / Überlegung angeschlossen:

Wie groß sind die Flussdichte und die Haltekraft des Magneten von Übung 6, wenn in der Erregerspule nur der halbe Strom fließt?

Anmerkung:

Sie werden feststellen, dass man bei einem gemischten magnetischen Gleichstromkreis nicht von der Durchflutung auf die entstehende Flussdichte rechnen kann. Man muss im Kreis mehrere Flussdichten annehmen, die zugehörige Durchflutung berechnen und eine Magnetisierungslinie für den Kreis zeichnen.

Aus dieser Magnetisierungslinie kann dann die Flussdichte für die gegebene Durchflutung (Stromstärke) entnommen werden (Abb. 9).

Bei der vorigen Berechnung wurde festgestellt, dass der Anteil in der Magnetisierung der Eisenwege nur etwa 3,4% der Magnetisierung des Luftspaltes beträgt. In der Kennlinie ist auch zu sehen, dass sich die Magnetisierungslinien aller Materialien im linearen Bereich befinden, daher kann auch für den halbierten Strom angenommen werden, dass das Verhältnis Luft zu Eisen gleichbleibt.

Berechnung der gesamten Durchflutung beim halben Strom von 1,13A:

$$\Theta = N * I = 1,13A * 600 = 678A$$

Davon nun 96,6% für den Luftspalt ergibt: $\Theta_L = 678A * 0,966 = 655A$

Berechnung für den Luftspalt:

$$\Theta = H * l \quad \text{daraus} \quad H = \frac{\Theta}{l} = \frac{655A}{0,002m} = 327500A/m$$

Damit kann nun die Induktion (Flussdichte) berechnet werden:

$$B = \mu_0 * H = 1,27 * 10^{-6} * 327500A/m = 0,416T$$

Weiter mit der Berechnung der Anzugskraft:

$$F = \frac{A * B^2}{2\mu_0} = \frac{0,0024m^2 * 0,173T^2}{2 * 1,27 * 10^{-6}} = 163,5N$$

Umrechnung in gehaltene Masse:

$$F = m * g \quad \text{daraus} \quad m = \frac{F}{g} = \frac{163,5N}{9,81} = 16,6kg$$

Bei halbiertem Strom sind die Anzugskraft und damit auch die gehaltene Masse etwa nur ein Fünftel, als 20%.