

A18.25 Gemischt erregter Magnetkreis:

Das drehsymmetrische Magnetsystem aus Abb. A18.25a (Abmessungen in mm) enthält - zur Erzeugung des Grundwertes B_{L0} der magnetischen Flussdichte B_L im Luftspalt L - eine transversal starr magnetisierte Dauermagnetscheibe M der Remanenzflussdichte $B_r = 0,3 \text{ T}$. Durch die Spule soll B_L im Bereich von $\pm 30\%$ verändert werden können, wozu eine Stromquelle mit $-1 \text{ A} \leq I \leq 1 \text{ A}$ verfügbar ist. Wie groß ist die Windungszahl N zu wählen? Setzen Sie die Eisenteile als ideal magnetisierbar voraus und vernachlässigen Sie Streuungen.

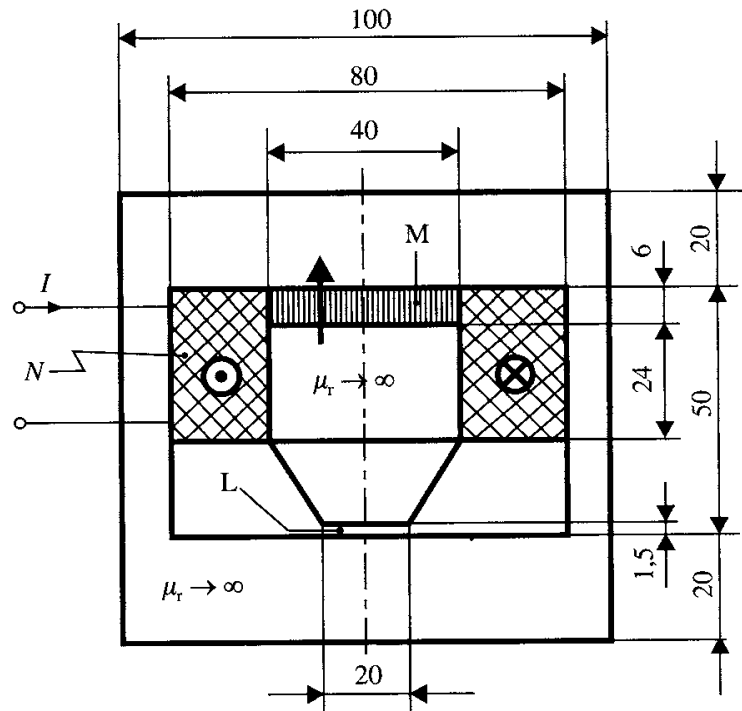


Abb. A18.25a

Programm für Laborübung:

Lösen Sie zuerst die Aufgabe A18.25 und bearbeiten Sie dann die über die ursprüngliche Fragestellung hinausgehenden Punkte:

- Bestimmen Sie **für den stromlosen Fall** unter den getroffenen Annahmen (starr magnetisierter Dauermagnet, ideal magnetisierbare Eisenteile, vernachlässigbare Streuflüsse) und unter Zuhilfenahme von Durchflutungssatz, Fluss-erhaltung, Kennliniengleichung des starren Dauermagneten und der Verknüpfungsbeziehung im leeren Raum

- die Luftspaltflussdichte B_{L0} ,
- die Luftspaltfeldstärke H_{L0} ,
- die Flussdichte B_{M0} im Magneten,
- die Feldstärke H_{M0} im Magneten.

Luftspaltflussdichte	B_{L0}	
Luftspaltfeldstärke	H_{L0}	
Flussdichte im Magneten	B_{M0}	
Feldstärke im Magneten	H_{M0}	

Tab.1 Ergebnisse der Überschlagsrechnung

2. Tragen Sie die Ergebnisse der Überschlagsrechnung für den Arbeitspunkt (H_{M0} , B_{M0}), die Kennlinie und die Arbeitsgerade des Magneten sowie den Arbeitspunkt (H_{L0} , B_{L0}) für den Luftspalt im $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein!
3. Überlegen und argumentieren Sie, ob und wie (entlang welcher Geraden) sich die beiden Arbeitspunkte bei zusätzlicher Erregung durch Stromfluss in der Wicklung verschieben werden: Variante 1: Plus 30%, Variante 2: Minus 30%.

Var. 1	wird größer	wird kleiner	bleibt gleich
B_{L+}			
H_{L+}			
B_{M+}			
H_{M+}			

Tab.2 Vermutliche Änderungen für Variante 1: „Plus 30%“

Var. 2	wird größer	wird kleiner	bleibt gleich
B_{L-}			
H_{L-}			
B_{M-}			
H_{M-}			

Tab.3 Vermutliche Änderungen für Variante 2: „Minus 30%“

4. Führen Sie nun die Überschlagsrechnung für eine Feldänderung im Luftspalt um $\pm 30\%$ durch (siehe Angabe) und bestimmen Sie für beide Fälle die beiden Arbeitspunkte im Luftspalt (H_{L+} , B_{L+} ; H_{L-} , B_{L-}) und im Magneten (H_{M+} , B_{M+} ; H_{M-} , B_{M-}).
5. Tragen Sie auch diese Arbeitspunkte für beide Varianten in die Tab. 4 und ins $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein.
6. Führen Sie nun die numerische Feldberechnung für die 3 Fälle (stromlos, feldverstärkend, feldschwächend) durch und achten Sie bei der Darstellung der

		Var. 1	Var. 2
Luftspaltflussdichte	B_L		
Luftspaltfeldstärke	H_L		
Flussdichte im Magneten	B_M		
Feldstärke im Magneten	H_M		

Tab.4 Ergebnisse der Übersichtsrechnung für die Varianten 1 („Plus 30%“) und 2 („Minus 30%“)

Ergebnisse insbesondere auf ein skaliertes Flussröhrenbild (Bestimmen Sie in der von Ihnen gewählten Art der Darstellung die zwischen zwei Feldlinien (=Flussröhrenwänden) transportierte Menge des magnetischen Flusses $\Delta\Phi$!).

7. Werten Sie die Ergebnisse der numerischen Feldberechnung aus:

- (a) Bestimmen Sie die pauschalen Flussmengen in Magnet (Φ_M) und Luftspalt (Φ_L) und die Streuflusskomponente (Φ_σ) durch **Abzählen der Flussröhren** (Eintrag in Tab. 5).

		Original- konfiguration	Variante 1 Plus 30%	Variante 2 Minus 30%
$\Delta\Phi$	Flussmenge pro Röhre			
Φ_M	Magnetfluss			
Φ_L	Luftspaltfluss			
Φ_σ	Streufluss			

Tab.5 Auswertung der numerischen Feldberechnung: Ergebnisse der Methode „Abzählen der Flussröhren“ für die Originalkonfiguration sowie die Variante 1 („Plus 30%“) und 2 („Minus 30%“).

- (b) Ermitteln Sie den Fluss in Magnet (Φ_M) und Luftspalt (Φ_L) sowie den Streufluss Φ_σ **durch numerische Integration** der lokalen Flussdichteverteilungen und tragen Sie die Werte in die Tabellen 6 – 8 ein.
- (c) Bestimmen Sie die **räumliche Verteilung** der magnetischen Flussdichte und daraus ableitbare **Durchschnittswerte** im Magneten und im Luftspalt. Die dazugehörigen Feldstärkewerte erhalten Sie graphisch für den stromlosen Fall durch Schnitt mit der Magnetkennlinie.

- (d) Schätzen Sie schließlich den Fluss in Magnet (Φ_M) und Luftspalt (Φ_L) durch eine **Multiplikation der mittleren Flussdichte mit der jeweiligen Querschnittfläche** ab und tragen auch diese Werte in die Tabellen 6 – 8 ein.
8. Tragen Sie die Ergebnisse der numerischen Feldberechnung für die Arbeitspunkte für Magnet und Luftspalt für alle 3 Fälle (stromlos, feldverstärkend, feldschwächend) in das $B(H)$ -Diagramm (Abb. 1) ein!
9. Vergleichen Sie die Ergebnisse der Überschlagsrechnung mit denjenigen aus der numerischen Feldberechnung. Quantifizieren (Prozentangaben!) und interpretieren Sie die Abweichungen.

		Num. Integration (Punkt 7 (b))	Produktnäherung (Punkt 7 (d))
	Einheiten		
Φ_M	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_L	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_σ	Eisenkern		
	Gesamt		

Tab.6 Ergebnisse für „stromlosen Fall“

		Num. Integration (Punkt 7 (b))	Produktnäherung (Punkt 7 (d))
	Einheiten		
Φ_M	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_L	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_σ	Eisenkern		
	Gesamt		

Tab.7 Ergebnisse für „Plus 30%“

		Num. Integration (Punkt 7 (b))	Produktnäherung (Punkt 7 (d))
	Einheiten		
Φ_M	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_L	Oben		
	Mitte		
	Unten		
Φ_σ	Kreisscheibe		
	Gesamt		

Tab.8 Ergebnisse für „Minus 30%“

10. Stellen Sie für die verschiedenen Methoden (Abzählen der Flussröhren, numerische Integration, Produkt aus mittlerer Flussdichte und Querschnittfläche) Bilanzen der Form

$$\Phi_{\text{Magnet}} = \Phi_{\text{Luftspalt}} + \Phi_{\text{Streufluss}}$$

auf und vergleichen Sie die Ergebnisse.

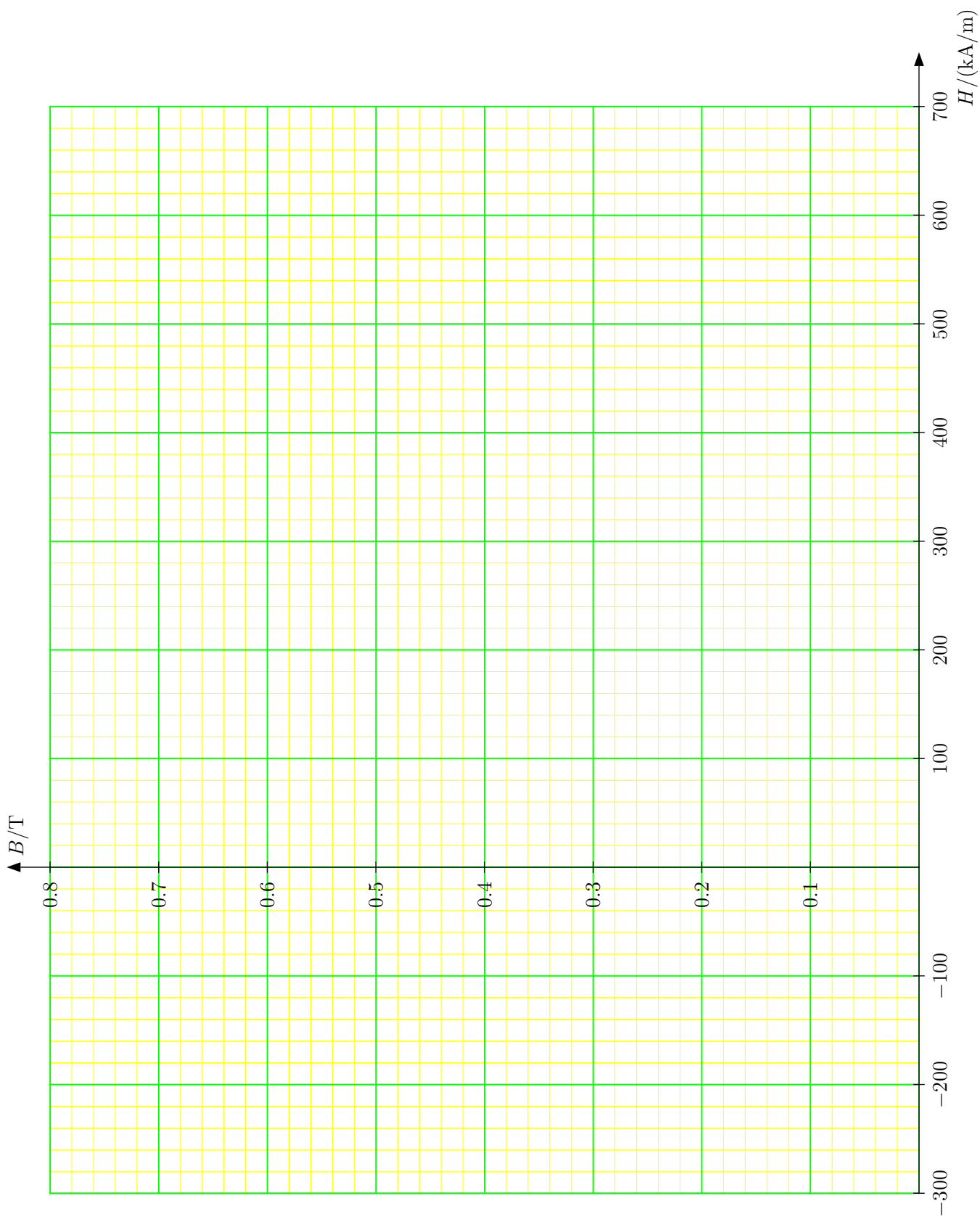


Abb.1 Arbeitspunkte und -geraden im Magneten und Luftspalt.

Dimensionierung eines einfachen Magnetkreises:

- Durchflutungssatz:

$$H_M l_M + H_L l_L = \Theta$$

($\Theta = NI$... Durchflutung einer Spule mit Windungszahl N und Stromstärke I im gemischt erregten Kreis.)

- Satz vom magnetischen Hüllenfluss:

$$B_M A_M - B_L A_L = 0$$

- Verknüpfungsbeziehung für Permanentmagneten:

$$B_M = B_r + \mu_0 H_M = \mu_0 (H_M + H_c)$$

(B_r ... Remanenzflussdichte, $H_c = B_r / \mu_0$... Koerzitivfeldstärke)

- Verknüpfungsbeziehung für leeren Raum (Luft):

$$B_L = \mu_0 H_L$$

Auflösen dieser 4 Gleichungen nach den 4 Unbekannten B_L , H_L , B_M und H_M ergibt für die

- Flussdichte in Luft:

$$B_L = \frac{B_r + \mu_0 \frac{NI}{l_M}}{\frac{A_L}{A_M} + \frac{l_L}{l_M}}$$

- Feldstärke in Luft:

$$H_L = \frac{1}{\mu_0} B_L = \frac{\frac{B_r}{\mu_0} + \frac{NI}{l_M}}{\frac{A_L}{A_M} + \frac{l_L}{l_M}}$$

- Flussdichte im Magneten:

$$B_M = \frac{A_L}{A_M} B_L = \frac{B_r + \mu_0 \frac{NI}{l_M}}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}}$$

- Feldstärke im Magneten:

$$H_M = \frac{\Theta}{l_M} - \frac{l_L}{l_M} \frac{B_L}{\mu_0} = \frac{NI}{l_M} \frac{1}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}} - \frac{B_r}{\mu_0} \frac{1}{1 + \frac{l_L}{l_M} \frac{A_M}{A_L}}$$