Elektrotechnik für Ingenieure - Klausurenrechnen

Aufgaben mit ausführlichen Lösungen

Bearbeitet von
Wilfried Weißgerber

6. Auflage 2015. Buch. VII, 216 S. Kartoniert
ISBN 978 3 658 09087 6
Format (B x L): 16,8 x 24 cm

Aufgabenblätter

Abschnitt 2:

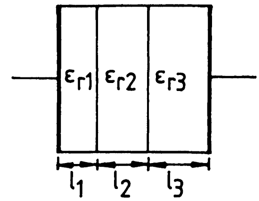
3 Das elektromagnetische Feld

W. Weißgerber, *Elektrotechnik für Ingenieure - Klausurenrechnen*, DOI 10.1007/978-3-658-09088-3_2

Aufgabenblatt 1

Aufgabe 1:

An einem Plattenkondensator mit drei quer geschichteten Dielektrika, deren relative Dielektrizitätskonstanten $\varepsilon_{r1}=6{,}5$, $\varepsilon_{r2}=1$ und $\varepsilon_{r3}=4$ betragen, liegt eine Spannung von 20kV an. Randstörungen des Feldes bleiben unberücksichtigt.



1.1 Entwickeln Sie die Formel für die elektrische Feldstärke E_1 im Dielektrikum mit ε_{r1}. Berechnen Sie E_1 mit den ε-Werten und mit den Längen $l_1=1{,}5$cm, $l_2=2$cm und $l_3=2{,}5$cm. (17P)

1.2 Berechnen Sie die Teilspannungen U_1, U_2 und U_3, die zwischen den Grenzschichten der Dielektika anliegen. Kontrollieren Sie die Ergebnisse mit der Gesamtspannung U. (8P)

Aufgabe 2:

Ein genormter EI-150-Kern (Maße in mm: a=150, b=100, c=20, e=80, f=40, g=35) aus Dynamoblech mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie und mit einem Luftspalt von 0,8mm, einer Schichthöhe von 50mm und einem Eisenfüllfaktor 0,95 soll auf dem Mittelschenkel eine Spule tragen, deren Durchflutung eine Luftspaltinduktion von 1,2T erzeugt. Die Streuung beträgt 10%.

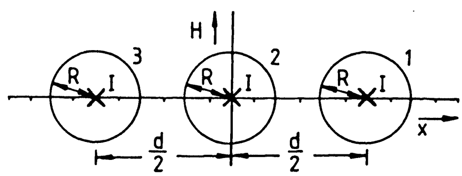
H	A/m	0	125	250	500	1000
B	T	0	0,8	1,0	1,2	1,4

2.1 Ermitteln Sie die magnetischen Feldstärken und magnetischen Spannungen im Luftspalt und im E- und I-Kern und die notwendige Durchflutung. (18P)

2.2 Wie groß wird die Durchflutung, wenn der Luftspalt auf 0,1mm vermindert und die Streuung vernachlässigt wird? (7P)

Aufgabe 3:

Die Leiter der gezeichneten Leiteranordnung sind vom gleichen Strom I in gleicher Richtung durchflossen.



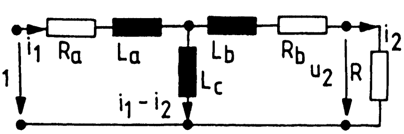
3.1 Tragen Sie die qualitativen Verläufe der magnetischen Feldstärken der einzelnen Leiter und der gesamten Leiteranordnung in Abhängigkeit von x im gezeichneten Bild ein. Begründen Sie die Verläufe. (13P)

3.2 Leiten Sie die Formel für die Berechnung der magnetischen Feldstärke zwischen und außerhalb der Leiter her. (12P)

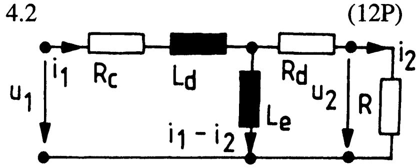
Aufgabe 4:

Stellen Sie für die beiden gezeichneten Ersatzschaltungen des Transformators die Spannungsgleichungen auf und ermitteln Sie deren ohmsche Widerstände und Induktivitäten, indem Sie die Spannungsgleichungen mit den Gleichungen des Transformators vergleichen. Die Permeabilität μ sei konstant und die ohmsche Belastung gleich R. Zeichnen Sie die Ersatzschaltungen mit den ermittelten Ersatzschaltelementen des Transformators.

4.1 (13P)

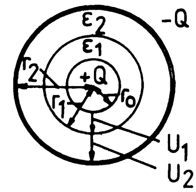


4.2 (12P)



Aufgabenblatt 2

Aufgabe 1:



Ein Zylinderkondensator der Höhe h, der aus zwei Dielektrika mit ε_{r1}und ε_{r2} besteht, ist mit ±Q aufgeladen. Der Radius der Innenelektrode ist r_0, der Radius der Grenzschicht $r_1=2\cdot r_0$ und der Radius der Außenelektrode $r_2=3\cdot r_0$.

1.1 Geben Sie die Formeln für die Spannungen U_1 und U_2 an und berücksichtigen Sie die Angaben über die Radien. (8P)

1.2 Berechnen Sie das Verhältnis $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$, damit die Spannungen gleich sind. (6P)

1.3 Kontrollieren Sie das Ergebnis für $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$, indem Sie die Kapazitäten der Einzelschichten vergleichen. (6P)

1.4 Wie groß ist bei dem berechneten Verhältnis von $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$ die Gesamtkapazität pro Höhe h des geschichteten Kondensators, wenn $\varepsilon_{r1}=3$ beträgt? (5P)

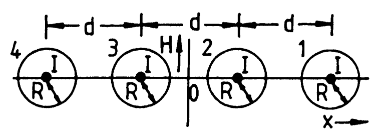
Aufgabe 2:

2.1 Ein genormter M 42 Kern (Maße in mm: a=42, b=42, c=6, e=30, f=12, g=9) aus Dynamoblech III mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie, mit einem Luftspalt von 1mm und einem Eisenfüllfaktor 0,85 soll auf dem Mittelschenkel eine Spule mit w=1000 tragen, deren Durchflutung im Luftspalt eine magnetische Induktion von 1T garantiert. Die Streuung wird auf 10% geschätzt. Berechnen Sie den dafür notwendigen Strom. (17P)

H	A/m	0	100	200	300	400
B	T	0	0,6	1,0	1,2	1,3

2.2 Auf welchen Wert muss der Strom geändert werden, wenn anstelle eines M 42 Kerns ein M 55 Kern (Maße in mm: a=55, b=55, c=8,5, e=38, f=17, g=10,5) verwendet wird und wenn der Luftspalt, der Eisenfüllfaktor, die Luftspaltinduktion und die Streuung unverändert bleiben? (8P)

Aufgabe 3:

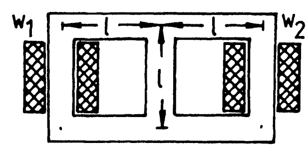


Die vier parallel liegenden Leiter mit gleichem Radius R der gezeichneten Leiteranordnung sind vom gleichen Strom I in gleicher Richtung durchflossen.

3.1 Leiten Sie die Formel für die Berechnung der magnetischen Feldstärke (magnetische Erregung) zwischen und außerhalb der Leiter her und zwar auf der Verbindungslinie zwischen den Leitermittelpunkten. (10P)
Begründen Sie die Herleitung. (8P)

3.2 Wie ändert sich die Formel, wenn in den beiden Leitern 1 und 2 die Stromrichtung geändert wird? (7P)

Aufgabe 4:



4.1 Für den gezeichneten magnetischen Kreis mit zwei Wicklungen $w_1=400$, $w_2=1000$, l=10cm, A=9cm^2 und $\mu_r=2000$ sollen die Gegeninduktivitäten berechnet werden, wobei Sie die Koppelfaktoren k_1 und k_2 verwenden. (10P)

4.2 Ermitteln Sie dann die Selbstinduktivitäten und mit der Gegeninduktivität den Koppelfaktor k. Kontrollieren Sie das Ergebnis mit k_1 und k_2. (10P)
Ermitteln Sie schließlich die Streufaktoren σ_1, σ_2 und σ. (5P)

Aufgabenblatt 3

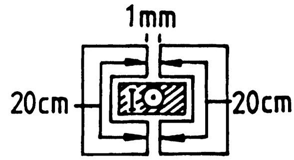
Aufgabe 1:

Zwischen den Elektroden eines Zylinderkondensators der Höhe h mit den Radien r_a und r_i liegt die Spannung U. Die Außenelektrode hat das elektrische Potential Null.

1.1 Ermitteln Sie den Radius r_x der Äquipotentialfläche, die die Spannung U/2 hat. (18P)

1.2 Berechnen Sie r_x, wenn r_a=8cm und r_i=5cm betragen, und stellen Sie das Ergebnis zeichnerisch dar. (7P)

Aufgabe 2:



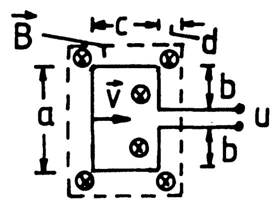
Für die Messung von großen Gleichströmen in einer Stromschiene wird die Schiene durch zwei gleiche Eisenkerne aus Dynamoblech umgeben. Die Magnetisierungskennlinie ist durch folgende Wertetabelle gegeben. In einem der beiden Luftspalte wird mittels einer Hallsonde die magnetische Induktion B_L gemessen. Die Streuung in beiden Luftspalten beträgt 10%.

H	A/m	0	500	1000	2000	3000
B	T	0	1,20	1,40	1,58	1,64

2.1 Berechnen Sie den Strom I, wenn für B_L=1,2T gemessen wurde. (15P)

2.2 Welchen Wert würde die Hallsonde für die Luftspaltinduktion B_L anzeigen, wenn der Strom I=1200A betragen würde? (10P)

Aufgabe 3:

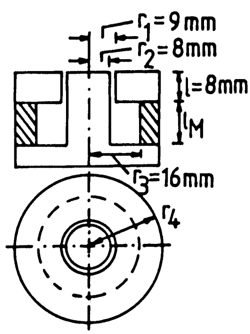


Aus einem homogenen, zeitlich konstanten Magnetfeld mit der magnetischen Induktion B=1T wird eine Leiterschleife mit den Abmessungen a=50mm, b=20mm, c=30mm mit der Geschwindigkeit v=0,2m/s herausgezogen. Während des Bewegungsvorgangs verlaufen die magnetischen Feldlinien senkrecht durch die Fläche der Leiterschleife.

3.1 Welche Seiten der Leiterschleife sind an der Induktion der Gesamtspannung u beteiligt? Zeichnen Sie die Richtungen der Spannungen ein und begründen Sie Ihre Aussage. (10P)

3.2 Berechnen Sie die Teilspannungen und die jeweils wirksamen Gesamtspannungen mit den Zahlenwerten und zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Gesamtspannung u, wenn sich zum Zeitpunkt t=0 die Leiterschleife in der gezeichneten Lage mit d=10mm befindet und dann nach rechts vollständig herausgezogen wird. (15P)

Aufgabe 4:



Ein elektrodynamischer Lautsprecher enthält einen ringförmigen Dauermagneten aus AlNiCo 700, der nach der maximalen Energiedichte dimensioniert werden soll (B_{Mopt}=1,06T, H_{Mopt}=-53kA/m). Die Luftspaltinduktion soll 1,2T betragen, obwohl wegen Streuungen nur 60% des Dauermagnet-Flusses im Luftspalt ankommen.

4.1 Zeichnen Sie den Verlauf der magnetischen Flüsse und die Flächen A_M und A_L in das gezeichnete Bild ein. Welcher Art sind die Flächen? (5P)

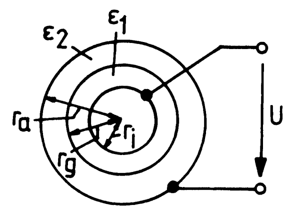
4.2 Geben Sie die Formeln für die Flächen A_M und A_L an, wenn im Luftspalt ein homogener Feldverlauf angenommen wird. Berechnen Sie A_L mit den Zahlenwerten. (6P)

4.3 Entwickeln Sie aus der Gleichung für die magnetischen Flüsse die Formel für A_M bei Berücksichtigung der Streuung. Berechnen Sie A_M und r_4 mit den Zahlenwerten. (8P)

4.4 Entwickeln Sie schließlich mit Hilfe des Durchflutungssatzes die Formel für die Länge l_M des Dauermagneten und berechnen Sie l_M mit den Zahlenwerten. (6P)

Aufgabenblatt 4

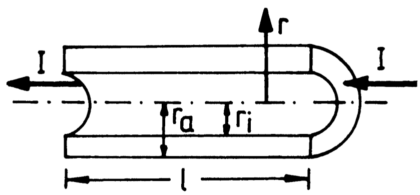
Aufgabe 1:
Ein Kugelkondensator enthält zwei Isolierschichten mit den Dielektrizitätskonstanten ε_1 und ε_2.



1.1 Geben Sie die Formeln für die Feldstärkeverläufe $E_1(r)$ und $E_2(r)$ in den beiden Bereichen bei gegebener Ladung Q an. (8P)

1.2 Ermitteln Sie die Teilspannungen U_1 und U_2 und die Spannung U und damit die Kapazität des geschichteten Kugelkondensators. (17P)

Aufgabe 2:
Durch ein dickes Kupferrohr der Länge l mit den Radien r_a und r_i (aufgeschnitten dargestellt) fließt ein Strom I. Berechnen Sie den magnetischen Fluss in den Bereichen



2.1 $0 < r < r_1$ (5P)

2.2 $r_i < r < r_a$ (10P)

2.3 $r_a < r < 2r_a$ (10P)

Aufgabe 3:
Auf dem Mittelschenkel eines genormten EI-150-Kern (Maße in mm: a=150, b=100, c=20, e=80, f=40, g=35, Schichtdicke 40mm) aus Dynamoblech mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie

H	A/m	0	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
B	T	0	0,9	1,15	1,27	1,35	1,45	1,5	1,55	1,6	1,63	1,65	1,67

befindet sich eine Spule mit der Windungszahl w=1000. Der Abstand zwischen E-Kern und I-Kern beträgt 0,8mm.

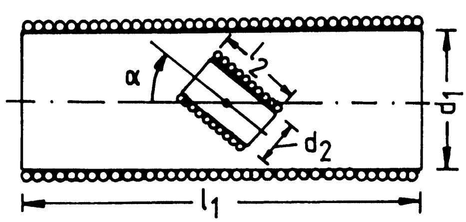
3.1 Ermitteln Sie die Luftspaltinduktionen B_L, wenn die Spule mit verschieden großen Strömen belastet wird: I=0,5A 1A 1,5A 2A. (21P)

3.2 Stellen Sie die ermittelte Funktion B_L=f(I) grafisch dar. (4P)

Aufgabe 4:

4.1 In dem gezeichneten Variometer ändert sich die Gegeninduktivität als Funktion des Winkels α von 0° bis 90°. Leiten Sie die Formel für die Gegeninduktivität M_{12} her. Gegeben sind die Windungszahlen w_1 und w_2, die Längen l_1 und l_2 und die Durchmesser d_1 und d_2 der beiden Spulen. (20P)

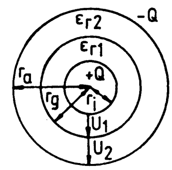
4.2 Warum lässt sich M_{21} nicht auf die gleiche Weise herleiten? (5P)



Aufgabenblatt 5

Aufgabe 1:

Ein Kugelkondensator mit zwei geschichteten Isolierschichten mit ε_{r1} und ε_{r2} ist mit $\pm Q$ aufgeladen. Der Radius der Innenelektrode ist r_i, der Radius der Grenzschicht $r_g=2 \cdot r_i$ und der Radius der Außenelektrode $r_a=3 \cdot r_i$.



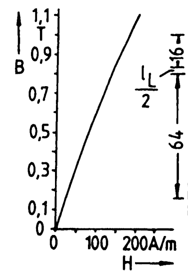
1.1 Entwickeln Sie die Formeln für die Spannungen U_1 und U_2 in Abhängigkeit von r_i. (10P)

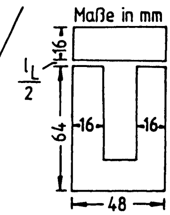
1.2 Um das wievielfache größer muss ε_{r1} gegenüber ε_{r2} sein, damit die Spannungen U_1 und U_2 gleich sind. (7P)

1.3 Kontrollieren Sie das Ergebnis für $\varepsilon_{r1}/\varepsilon_{r2}$, indem Sie die Kapazitäten der Schichten in Abhängigkeit von r_i berechnen und vergleichen. (8P)

Aufgabe 2:

2.1 In der gezeichneten U/I-Anordnung aus Dynamoblechen mit einer Schichtdicke von 20mm soll eine Spule mit w=1000 untergebracht werden. Ermitteln Sie die Abhängigkeit des Spulenstroms vom Luftspalt $I=f(l_L)$ mit $l_L=1$, 2, 3, 4mm, wenn in dem Luftspalt jeweils ein magnetischer Fluss $\Phi_L=256\mu Vs$ vorhanden sein soll. Eine Ausweitung der Feldlinien ist nicht zu berücksichtigen, die Streuung wird 10% geschätzt und der Eisenfüllfaktor betrage 0,85. (18P)





2.2 Berechnen Sie überschlägig, bei welchen Luftspaltlängen l_L die Spule thermisch überlastet wird, wenn die zulässige Stromdichte $S_{zul}=2A/mm^2$ beträgt? (7P)

Aufgabe 3:

Ein Dauermagnetkreis mit einem Luftspalt $A_L=5cm^2$, $l_L=2mm$ soll optimal dimensioniert werden. Gefordert ist eine Luftspaltinduktion $B_L=0{,}5T$. Für drei Magnetmaterialien sind aus den Entmagnetisierungskurven die Werte für B_{Mopt} und H_{Mopt} abgelesen:

AlNiCo (1,03T,-40·10³A/m), Hartferrit (0,20T,-120·10³A/m), Seco (0,5T,-350·10³A/m).

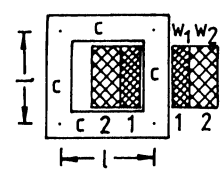
3.1 Ermitteln Sie $(B_M \cdot H_M)_{max}$ für die drei Materialien. (6P)

3.2 Errechnen Sie dann die notwendigen Volumen V_M, die Flächen A_M, die Längen l_M und den jeweiligen Preis der Dauermagnete. (16P)

3.3 Vergleichen Sie die Ergebnisse hinsichtlich des Volumens und des Preises.
(Preise: AlNiCo: 0,36Euro/cm³, Hartferrit: 0,13Euro/cm³, Seco: 2,56Euro/cm³) (3P)

Aufgabe 4:

Der gezeichnete Transformator besteht aus einem geblechten Eisenkern mit l=80mm, Schichtdicke d=30mm, c=20mm, Eisenfüllfaktor $f_{Fe}=0{,}9$ und konstanter Permeabilität $\mu_r=5000$ und zwei übereinander liegenden Spulen mit $w_1=500$ und $w_2=1200$.



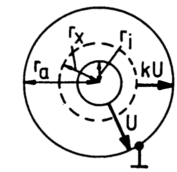
4.1 Leiten Sie die Formel für die Gegeninduktivität M bei vernachlässigbarem Streufluss her und berechnen Sie M mit den angegebenen Zahlenwerten. (15P)

4.2 Berechnen Sie die in der Spule 2 induzierte Spannung u_2, wenn in der Spule 1 ein Strom $i = \hat{i} \cdot \sin \omega t$ mit $\hat{i} = 25mA$, $\omega=314s^{-1}$ fließt und der Transformator sekundärseitig unbelastet ist. (10P)

Aufgabenblatt 6

Aufgabe 1:

An der Innenelektrode eines Zylinderkondensators der Höhe h mit einem Dielektrikum ε liegt die Spannung U gegenüber der geerdeten Außenelektrode an.



1.1 Entwickeln Sie die Formel für die Radien r_x der Äquipotentialflächen $k \cdot U$ in Abhängigkeit von r_a, r_i und k mit $0 < k < 1$. (15P)

1.2 Berechnen Sie die Radien r_x für k=3/4, 1/2 und 1/4, wenn r_i=2cm und r_a=8cm betragen. (6P)

1.3 Stellen Sie den Zylinderkondensator im Querschnitt mit seinen berechneten Äquipotentiallinien quantitativ dar. (4P)

Aufgabe 2:

Auf dem Mittelschenkel eines EI-84-Kerns aus Dynamoblech mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie (Maße in mm: a=84, b=56, c=14, e=42, f=28, g=14, Schichtdicke 28mm) befindet sich eine Spule (w=2000), durch die ein Strom von 0,5A fließt.

H	A/m	0	250	500	750	1000	1500	2000	3000	4000	5000	6000	7000
B	T	0	0,9	1,15	1,27	1,35	1,45	1,5	1,55	1,6	1,63	1,65	1,67

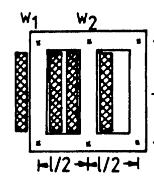
2.1 Ermitteln Sie die Luftspaltinduktionen B_L, wenn sich der Abstand zwischen E-Kern und I-Kern und damit der Gesamtluftspalt l_L und die Streuung verändern. (18P)

l_L	mm	0	0,5	1	1,5	2,0
σ	%	0	5	10	15	20

2.2 Berechnen Sie die auftretenden Anzugskräfte für die Luftspaltlängen und stellen Sie diese Funktion $F=f(l_L)$ in einem Diagramm dar. (7P)

Aufgabe 3:

Für die gezeichnete Magnetanordnung mit zwei Spulen sind gegeben: l=4cm, A=1cm², w_1=1200, w_2=500, μ_r=2000.

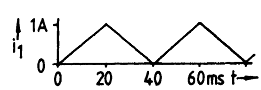


3.1 Ist die Spule 1 oder die Spule 2 stromdurchflossen, dann entstehen magnetische Flüsse, die durch magnetische Widerstände begrenzt werden. Berechnen Sie die magnetischen Widerstände. (6P)

3.2 Anschließend sind die Induktivitäten L_1, L_2, M_{12} und M_{21} zu berechnen. (10P)

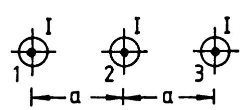
3.3 Kontrollieren Sie die Ergebnisse mit $k = \sqrt{k_1 \cdot k_2} = \sqrt{\dfrac{M_{12} \cdot M_{21}}{L_1 \cdot L_2}}$ (3P)

3.4 Berechnen Sie die Spannung $u_2(t)$ an der Spule 2, wenn die Spule 1 mit dem gezeichneten dreieckförmigen Strom $i_1(t)$ durchflossen ist. Zeichnen Sie den Verlauf von $u_2(t)$. (6P)



Aufgabe 4:

Die gezeichnete Dreileiteranordnung mit a=1m ist in gleicher Richtung jeweils vom gleichen Strom I=1A durchflossen.

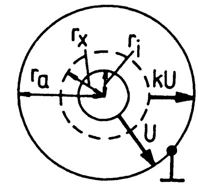


4.1 Berechnen Sie durch Überlagerung die magnetischen Induktionen B_1, B_2 und B_3 in den Achsen der drei Leiter und tragen Sie diese quantitativ in der Anordnung ein. (15P)

4.2 Berechnen Sie die Kräfte F_1, F_2, F_3, die auf die drei Leiter pro Länge wirken. Tragen Sie die Kräfte ebenfalls in der Anordnung quantitativ ein. (10P)

Aufgabenblatt 7

Aufgabe 1:



An der Innenelektrode eines Kugelkondensators mit einem Dielektrikum ε liegt die Spannung U gegenüber der geerdeten Außenelektrode an.

1.1 Entwickeln Sie die Formel für die Radien r_x der Äquipotentialflächen $k \cdot U$ in Abhängigkeit von r_a, r_i und k mit $0 < k < 1$. (12P)

1.2 Berechnen Sie die Radien r_x für k=3/4, 1/2 und 1/4, wenn r_i=2cm und r_a=8cm betragen. (6P)

1.3 Stellen Sie den Kugelkondensator im Querschnitt mit seinen berechneten Äquipotentiallinien quantitativ dar. (3P)

1.4 Warum liegen die entsprechenden Äquipotentiallinien bei einem Kugelkondensator enger an der Innenelektrode als beim Zylinderkondensator? (4P)

Aufgabe 2:

Ein magnetischer Kreis besteht aus genormten M55-Blechen (Maße in mm: a=55, b=55, c=8,5, e=38, f=17, g=10,5) aus Dynamoblech mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie mit einem Füllfaktor 0,85 und einer Spule mit w=500 auf dem Mittelschenkel. Die Streuung im Luftspalt l_L=0,8mm wird auf 5% geschätzt.

H	A/m	0	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000
B	T	0	0,80	1,10	1,25	1,35	1,41	1,46	1,50	1,52	1,54	1,56

2.1 Ermitteln Sie den Spulenstrom I, damit im Luftspalt eine magnetische Induktion B_L=0,8T gemessen werden kann. (13P)

2.2 Kontrollieren Sie die Lösung von 2.1, indem Sie den ermittelten Strom I als gegeben annehmen und die Luftspaltinduktion B_L ermitteln. (12P)

Aufgabe 3:

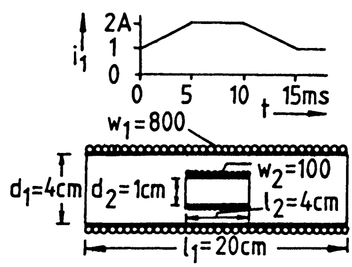
Ein Dauermagnetkreis besteht aus einem Dauermagnet aus AlNiCo 400 mit einer Länge l_M=5cm, einem Weicheisen und einem Luftspalt mit l_L=2mm und A_L=1cm^2. Die Entmagnetisierungskennlinie mit $H_k=-44 \cdot 10^3$A/m und B_r=1,07T ist punktweise gegeben:

H_M	10^3A/m	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
B_M	T	1,07	1,0	0,95	0,88	0,82	0,74	0,64	0,50	0,30

3.1 Ermitteln Sie die magnetische Induktion B_M im Dauermagneten und die Luftspaltinduktion B_L, wenn die Dauermagnetfläche variabel ist: A_M=1, 2, 3, 4, 5cm^2. (20P)

3.2 Stellen Sie die Abhängigkeit der ermittelten Luftspaltinduktion B_L vom Volumen des Dauermagneten V_M in einer Wertetabelle und grafisch dar. (5P)

Aufgabe 4:



Der zeitlich veränderliche Strom $i_1(t)$ verursacht ein zeitlich veränderliches Feld innerhalb der Zylinderspule 1.

4.1 Leiten Sie die Formel für den magnetischen Fluß $\Phi_1(t)$ allgemein her, der durch den Strom $i_1(t)$ innerhalb der Spule verursacht wird. (6P)

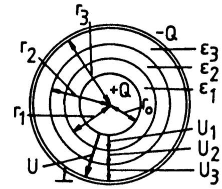
4.2 Befindet sich innerhalb der Spule eine koaxial angeordnete Spule 2, dann wird in ihr eine Spannung u_2 erzeugt.
Berechnen Sie die Spannung $u_2(t)$, wenn der Strom $i_1(t)$ den gezeichneten Verlauf hat. Stellen Sie $u_2(t)$ in einem Diagramm dar. (16P)

4.3 Wie verändert sich die Spannung, wenn die Windungszahl w_2 verdoppelt wird oder wenn der Durchmesser d_2 verdoppelt wird oder die Länge l_2 verdoppelt wird? (3P)

Aufgabenblatt 8

Aufgabe 1:

Für ein Koaxialkabel, bestehend aus einem Kupfer-Innenleiter, einem geerdeten Eisen-Außenmantel und einem dreifach konzentrisch geschichteten Dielektrikum soll die Kapazität pro Länge ermittelt werden.



1.1 Geben Sie die allgemeinen Formeln für die elektrischen Feldstärken $E_1(r)$, $E_2(r)$ und $E_3(r)$ an, wenn Q, h, ε_{r1}, ε_{r2} und, ε_{r3} gegeben sind. (6P)

1.2 Ermitteln Sie daraus die allgemeinen Formeln für die Teilspannungen U_1, U_2 und U_3 und die Gesamtspannung U. (8P)

1.3 Leiten Sie aus der Formel für U die Formel für die Kapazität pro Länge h her. (7P)

1.4 Berechnen Sie die Kapazität pro Länge, wenn r_0=12mm, r_1=18mm, r_2=24mm, r_3=36mm, ε_{r1}=2, ε_{r2}=4 und ε_{r3}=8 betragen. (4P)

Aufgabe 2:

Durch den Luftspalt (l_L=0,5mm) eines Kern aus M42-Dynamoblechen (Maße in mm: a=42, b=42, c=6, e=30, f=12, g=9), auf dessen Mittelschenkel eine Spule (w=250) mit variabler Durchflutung Θ=100A, 200A, 300A und 400A sitzt, wird die punktweise gegebene Magnetisierungskennlinie "geschert".

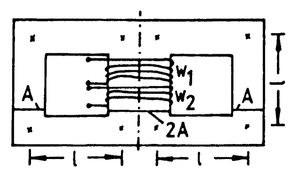
H_{Fe}	A/m	0	500	1000	1500	2000	2500
B_{Fe}	T	0	0,5	0,75	0,95	1,1	1,2

2.1 Ermitteln Sie mit Hilfe der Magnetisierungskennlinie die Abhängigkeit B_L=B_{Fe} von H_0, und zeichnen Sie die Funktion B_L=f(H_0). (18P)

2.2 Ermitteln Sie mit der gescherten Kennlinie den Strom durch die Spule, damit sich eine Luftspaltinduktion von 0,5T ergibt. (7P)

Aufgabe 3:

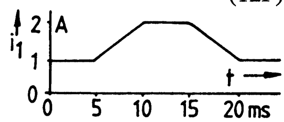
Auf dem Mittelschenkel der gezeichneten Magnetanordnung mit A=1cm², l=4cm und μ_r=2000 (konstant) sind die beiden Spulen mit w_1=250 und w_2=150 so angeordnet, dass k=1 ist.



3.1 Berechnen Sie L_1, L_2 und M und kontrollieren Sie Ihre Ergebnisse mit $M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2}$. (7P)

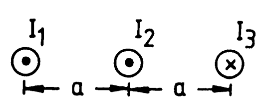
3.2 Die Magnetanordnung soll als Transformator betrieben werden, indem an der Primärspule u_1 angelegt und die Sekundärseite mit R belastet wird. Kennzeichnen Sie den Wicklungssinn der Spulen. Tragen Sie sämtliche Spannungen, Ströme und magnetischen Flüsse in die Magnetanordnung ein. Geben Sie die Spannungsgleichungen an, und zeichnen Sie das Ersatzschaltbild. (12P)

3.3 Berechnen Sie u_1 und u_2, wenn die Verluste vernachlässigbar, der Belastungswiderstand R unendlich groß und i_1 den gezeichneten Verlauf hat. (6P)



Aufgabe 4:

In der gezeichneten Dreileiteranordnung mit a=1m fließen I_1=2A, I_2=1A und I_3=4A in den angegebenen Richtungen.



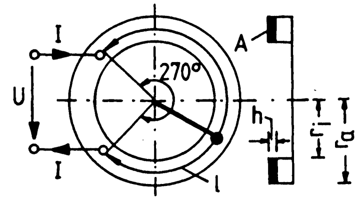
4.1 Berechnen Sie durch Überlagerung die magnetischen Induktionen B_1, B_2 und B_3 in den Achsen der drei Leiter, und tragen Sie diese quantitativ in der Anordnung ein. (15P)

4.2 Berechnen Sie die Kräfte F_1, F_2 und F_3, die auf die drei Leiter pro Länge wirken. Tragen Sie die Kräfte ebenfalls in der Anordnung quantitativ ein. (10P)

Aufgabenblatt 9

Aufgabe 1:

Ein Trimmpotentiometer besitzt eine Kohleschicht mit $\rho = 65\Omega\cdot mm^2/m$ (r_a=6mm, r_i=4mm, h=$0{,}755\cdot 10^{-3}$mm), auf der ein Schleifer um 270° gedreht werden kann. Wird an die beiden Enden des Widerstandes eine Spannung U angelegt, entsteht ein inhomogenes Strömungsfeld.



1.1 Entwickeln Sie die Formel für den exakten Widerstand R durch "Homogenität im Kleinen" und berechnen Sie R mit den angegebenen Größen. (12P)

1.2 Entwickeln Sie die Formel für den Widerstand, indem Sie angenähert ein homogenes Strömungsfeld annehmen und berechnen Sie R mit den angegebenen Größen. (10P)

1.3 Geben Sie aus beiden Formeln die prozentuale Abweichung an und berechnen Sie die prozentuale Abweichung mit den angegebenen Größen. (3P)

Aufgabe 2:

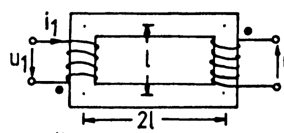
Ein genormter M55-Kern (a=55, b=55, c=8,5, e=38, f=17, g=10,5 in mm) aus Dynamoblech mit der punktweise gegebenen Magnetisierungskennlinie mit einem Luftspalt von 1mm und einem Eisenfüllfaktor 0,85 soll auf dem Mittelschenkel eine Spule mit w=1000 tragen, deren Durchflutung eine Luftspaltinduktion von 1T garantieren soll. Die Streuung wird auf 10% geschätzt.

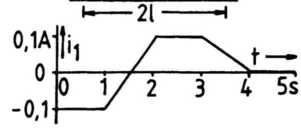
H	A/m	0	50	100	500	1000	1500
B	T	0	0,3	1,0	1,4	1,6	1,7

2.1 Berechnen Sie den dafür notwendigen Strom und untersuchen Sie, ob die Spule thermisch überlastet wird bei einer zulässigen Stromdichte S_{zul}=2A/mm². (15P)

2.2 Auf welchen Wert ändern sich der Strom und die Stromdichte, wenn anstelle eines M55-Kern ein M65-Kern (a=65, b=65, c=10, e=45, f=20, g=12,5 in mm) verwendet wird und wenn die sonstigen Daten unverändert bleiben? Ist die zulässige Stromdichte von 2A/mm² überschritten? (10P)

Aufgabe 3:





3.1 Berechnen Sie L_1, L_2 und M des gezeichneten Transformators mit w_1=400, w_2=200, k=0,8, μ_r=1500, A=1,2cm² und l=5cm. (6P)

3.2 Zeichnen Sie die Richtungen der magnetischen Flüsse und induzierten Spannungen in den Transformator ein, wenn dieser bei Leerlauf betrieben wird. (5P)
Wie groß sind u_1 und u_2, wenn R_1 und R_2 vernachlässigt werden? (6P)

3.3 In dem bei Leerlauf betriebenen Transformator wird in den Eingang ein Strom i_1 eingespeist, dessen Verlauf gezeichnet ist. Ermitteln Sie die Spannungen u_1 und u_2 mit vernachlässigbaren Widerständen und zeichnen Sie ihre zeitlichen Verläufe. (8P)

Aufgabe 4:

Eine Toroidspule mit Eisenkern (r_a=5cm, r_i=3cm, h=2cm, w=200) aus demselben Material wie in Aufgabe 2 und einem Luftspalt l_L=0,5mm ist mit einem Strom I=2A belastet.

4.1 Ermitteln Sie die magnetische Induktion im Eisen und im Luftspalt $B_{Fe}=B_L$. (8P)

4.2 Berechnen Sie die magnetische Energie des Luftspaltes über die Energiedichte. (8P)

4.3 Ermitteln Sie mit Hilfe der gezeichneten Magnetisierungskennlinie die magnetische Energie des Eisenkerns und die Gesamtenergie des magnetischen Kreises. (9P)

Aufgabenblatt 10

Aufgabe 1:
Zwischen den Elektroden eines Zylinderkondensators der Höhe h mit den Radien r_a und r_i liegt die Spannung U. Die Außenelektrode hat das elektrische Potential Null.

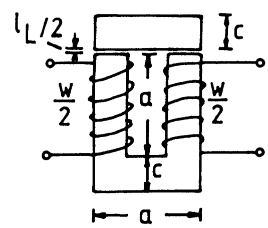
1.1 Ermitteln Sie die Formel für U_1, die zwischen der Innenelektrode und der Äquipotentialfläche liegt, die den Abstand zwischen Innen- und Außenelektrode halbiert. (13P)

1.2 Berechnen Sie mit dieser Formel U_1, wenn r_a=6cm, r_i=2cm und U=10kV betragen. (5P)

1.3 Kontrollieren Sie das Ergebnis, indem Sie die Spannung U_2 ermitteln, die zwischen der Äquipotentialfläche und der Außenelektrode anliegt. (7P)

Aufgabe 2:
Um die Streuung der gezeichneten Magnetanordnung aus UI39-Blechen (a=39, c=13, b=a+c=52, l_L=2 in mm, f_{Fe}=0,95) mit der Schichtdicke d=20mm gering zu halten, wird die Spule mit w=1000 in zwei Teilspulen mit gleichen Windungszahlen w/2 geteilt. Die Magnetisierungskurve ist punktweise gegeben:

H	A/m	0	50	100	200	300	500	700	1000
B	T	0	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2	1,26	1,28



2.1 Berechnen Sie die erforderliche Durchflutung, die beide Teilspulen aufbringen müssen, damit eine Luftspaltinduktion von 1,2T entsteht. (10P)

2.2 Schalten Sie die beiden Teilspulen so in Reihe, dass ein magnetischer Fluss Φ auftritt und berechnen Sie den durch beide Teilspulen fließende Strom I. (7P)

2.3 Berechnen Sie diesen magnetischen Fluss Φ und die Selbstinduktivität L. (8P)

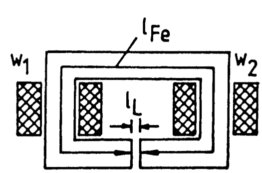
Aufgabe 3:
Ein Dauermagnetkreis aus AlNiCo bildet mit einem Weicheisen und einem Luftspalt mit l_L=2mm einen Dauermagnetkreis, wobei die Luftspaltfläche gleich der Dauermagnetfläche ist: A_L=A_M=1cm^2. Die Entmagnetisierungskurve mit H_k=-44·10^{3}A/m und B_r=1,07T ist punktweise gegeben.

H_M	10^3A/m	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40
B_M	T	1,07	1,0	0,95	0,88	0,82	0,74	0,64	0,50	0,30

3.1 Ermitteln Sie die Luftspaltinduktionen B_L , wenn die Länge des Dauermagneten veränderlich ist: l_M=1, 2, 3, 4 und 5cm. (20P)

3.2 Stellen Sie die Abhängigkeit der ermittelten Luftspaltinduktionen B_L vom Volumen des Dauermagneten V_M in einer Wertetabelle und grafisch dar. (5P)

Aufgabe 4:
Sind die beiden Spulen (w_1=400 und w_2=1000) in der gezeichneten Magnetanordnung stromdurchflossen, dann entsteht im Eisen ein magnetischer Fluss, der im Luftspalt wegen der Streuung vermindert ist.



4.1 Berechnen Sie die Gegeninduktivität M_{12}, indem Sie das Ersatzschaltbild zu Hilfe nehmen. (18P)

4.2 Begründen Sie, warum M_{12}=M_{21} ist. (2P)

4.3 Berechnen Sie die Gegeninduktivität mit μ_r=2000, l_{Fe}=20cm, l_L=1mm, A_{Fe}=A_L=9cm^2 und σ=10%. (5P)

Lösungen

Abschnitt 2:

3 Das elektromagnetische Feld

Lösungen zum Aufgabenblatt 1

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Bd.1, S.206 Beispiel oder FS S.43

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$U = E_1 \cdot l_1 + E_2 \cdot l_2 + E_3 \cdot l_3$$

da $D_1 = D_2 = D_3$

$$\varepsilon_1 \cdot E_1 = \varepsilon_2 \cdot E_2 = \varepsilon_3 \cdot E_3$$

$$E_2 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot E_1 \qquad E_3 = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3} \cdot E_1$$

$$U = E_1 \cdot l_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot E_1 \cdot l_2 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3} \cdot E_1 \cdot l_3$$

$$E_1 = \frac{U}{l_1 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \cdot l_2 + \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_3} \cdot l_3} = \frac{U}{\varepsilon_1 \cdot \left(\frac{l_1}{\varepsilon_1} + \frac{l_2}{\varepsilon_2} + \frac{l_3}{\varepsilon_3} \right)}$$

mit $\varepsilon_1 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \qquad \varepsilon_2 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \qquad \varepsilon_3 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r3}$

$$E_1 = \frac{U}{\varepsilon_{r1} \cdot \left(\frac{l_1}{\varepsilon_{r1}} + \frac{l_2}{\varepsilon_{r2}} + \frac{l_3}{\varepsilon_{r3}} \right)} \qquad \text{(14P)}$$

$$E_1 = \frac{20\text{kV}}{6{,}5 \cdot \left(\frac{1{,}5\text{cm}}{6{,}5} + \frac{2\text{cm}}{1} + \frac{2{,}5\text{cm}}{4} \right)}$$

$$E_1 = 1{,}08 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} = 108 \frac{\text{kV}}{\text{m}} \qquad \text{(3P)}$$

Zu 1.2

$$U_1 = E_1 \cdot l_1 = 1{,}08 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} \cdot 1{,}5\text{cm} = 1{,}62\text{kV}$$

$$U_2 = E_2 \cdot l_2 = \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} \cdot E_1 \cdot l_2 = \frac{6{,}5}{1} \cdot 1{,}08 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} \cdot 2\text{cm} = 14{,}00\text{kV}$$

$$U_3 = E_3 \cdot l_3 = \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r3}} \cdot E_1 \cdot l_3 = \frac{6{,}5}{4} \cdot 1{,}08 \frac{\text{kV}}{\text{cm}} \cdot 2{,}5\text{cm} = 4{,}38\text{kV}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = 1{,}62\text{kV} + 14{,}00\text{kV} + 4{,}38\text{kV} = 20\text{kV} \qquad \text{(8P)}$$

Lösungen zum Aufgabenblatt 1

Aufgabe 2:

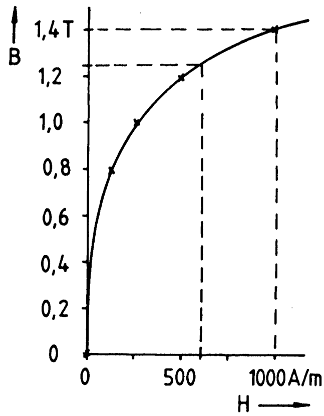
Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1, S.258-260, Beispiel 3 oder FS S.55-56 Beispiel 3

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_E \cdot l_E + H_I \cdot l_I$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{1{,}2\frac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}} = 955{,}4 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$$

$$B_I = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} = 1{,}2T \cdot \frac{1}{0{,}95} = 1{,}26T$$

abgelesen: $H_I = 600\frac{A}{m}$



$$B_E = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = 1{,}2T \cdot \frac{1}{0{,}95} \cdot \frac{1}{0{,}9} = 1{,}40T$$

abgelesen: $H_E = 1000\frac{A}{m}$

Bd.1, S.260, Gl. 3.221 und 3.222 oder FS S.56 Beispiel 3

$$l_I = g + 2c = (35 + 2 \cdot 20)mm = 75mm$$

$$l_E = 2e + g + 2c = (2 \cdot 80 + 35 + 2 \cdot 20)mm = 235mm$$

$$\Theta = 955{,}4 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-3} m + 1000\frac{A}{m} \cdot 235 \cdot 10^{-3} m + 600\frac{A}{m} \cdot 75 \cdot 10^{-3} m$$

$$\Theta = 1529A + 235A + 45$$

$$\Theta = 1809A$$ (18P)

Zu 2.2 Bd.1, S.260

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H \cdot (l_I + l_E)$$

$B_I = B_E = 1{,}26T$ abgelesen: $H_I = H_E = H = 600\frac{A}{m}$

$$\Theta = 955{,}4 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} m + 600\frac{A}{m} \cdot 310 \cdot 10^{-3} m$$

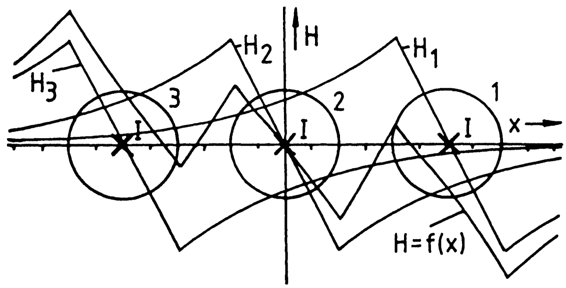
$$\Theta = 191A + 186A$$

$$\Theta = 377A$$ (7P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 1

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S.234 Bild 3.82 und Übungsaufgabe 3.42 oder FS S.51



(7P)

Begründung:

Die magnetischen Feldstärkeanteile verlaufen nur senkrecht zur x-Achse, so dass nur die Beträge addiert oder subtrahiert werden müssen, um den Gesamtverlauf H=f(x) zu erhalten.

Innerhalb der Leiter ist der Verlauf von H=f(x) linear, außerhalb der Leiter hyperbolisch (Bd.1, S.232-234, Beispiel 2 oder FS S.50-51).

Da die Anordnung der drei Leiter symmetrisch ist, brauchen nur die magnetischen Feldstärken für positive x ausgerechnet zu werden, für negative x haben die H-Werte umgekehrtes Vorzeichen. (6P)

Zu 3.2 Bd.1, siehe Übungsaufgabe 3.42

$x > \frac{d}{2} + R:$ (außerhalb aller drei Leiter)

$$H = -H_1 - H_2 - H_3$$

$$H = -\frac{I}{2\pi(x - d/2)} - \frac{I}{2\pi x} - \frac{I}{2\pi(x + d/2)}$$

$$H = -\frac{I}{2\pi}\left(\frac{1}{x - d/2} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x + d/2}\right) \qquad \text{(5P)}$$

$R < x < \frac{d}{2} - R:$ (zwischen Leiter 1 und 2)

$$H = H_1 - H_2 - H_3$$

$$H = \frac{I}{2\pi(d/2 - x)} - \frac{I}{2\pi x} - \frac{I}{2\pi(d/2 + x)}$$

$$H = -\frac{I}{2\pi}\left(\frac{1}{x - d/2} + \frac{1}{x} + \frac{1}{x + d/2}\right) \qquad \text{(5P)}$$

Für alle Bereiche lässt sich die magnetische Feldstärke H durch eine Formel angeben. (2P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 1

Aufgabe 4:

Zu 4.1

$$u_1 = R_a \cdot i_1 + L_a \cdot \frac{di_1}{dt} + L_c \cdot \frac{d(i_1 - i_2)}{dt}$$

$$u_2 = -R_b \cdot i_2 - L_b \cdot \frac{di_2}{dt} + L_c \cdot \frac{d(i_1 - i_2)}{dt}$$

$$u_1 = R_a \cdot i_1 + (L_a + L_c) \cdot \frac{di_1}{dt} - L_c \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -R_b \cdot i_2 - (L_b + L_c) \cdot \frac{di_2}{dt} + L_c \cdot \frac{di_1}{dt}$$

---

zum Vergleich
die Transformatorengleichungen:

Zu 4.2

$$u_1 = R_c \cdot i_1 + L_d \cdot \frac{di_1}{dt} + L_e \cdot \frac{d(i_1 - i_2)}{dt}$$

$$u_2 = -R_d \cdot i_2 + L_e \cdot \frac{d(i_1 - i_2)}{dt}$$

$$u_1 = R_c \cdot i_1 + (L_d + L_e) \cdot \frac{di_1}{dt} - L_e \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -R_d \cdot i_2 - L_e \cdot \frac{di_2}{dt} + L_e \cdot \frac{di_1}{dt}$$

---

zum Vergleich
die Transformatorengleichungen:

(Bd.1, S.333, Gl. 3.354 und S.320, Gl. 3.340 oder FS S.80 und S.73)

Zu 4.1:

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -R_2 \cdot i_2 - L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

Der Koeffizientenvergleich ergibt:

$R_a = R_1 \quad L_a + L_c = L_1 \quad L_c = M$

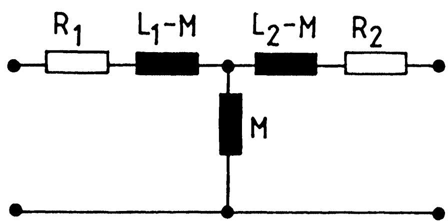
$R_b = R_2 \quad L_b + L_c = L_2 \quad L_c = M$

und daraus

$L_a = L_1 - L_c = L_1 - M$

$L_b = L_2 - L_c = L_2 - M$

Damit kann das Ersatzschaltbild gezeichnet werden:



(13P)

Zu 4.2:

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt}$$

$$u_2 = -R_2 \cdot i_2 - L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt}$$

Der Koeffizientenvergleich ergibt:

$R_c = R_1 \quad L_d + L_e = L_1 \quad L_e = M$

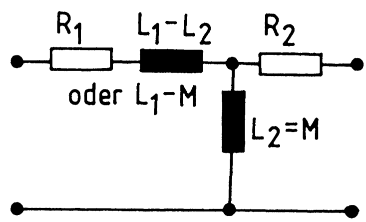
$R_d = R_2 \quad L_e = L_2 \quad L_e = M$

und daraus

$L_d = L_1 - L_e = L_1 - M$

$L_2 = M$

Damit kann das Ersatzschaltbild gezeichnet werden:



(12P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 2

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.190, Gl. 3.79 oder FS S.39

$$U_{12} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_2}{r_1}$$

ist $U_1 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_1 h} \cdot \ln\frac{r_1}{r_0} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} h} \cdot \ln\frac{2r_0}{r_0}$

$$U_1 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} h} \cdot \ln 2 \qquad (4P)$$

und $U_2 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_2 h} \cdot \ln\frac{r_2}{r_1} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} h} \cdot \ln\frac{3r_0}{2r_0}$

$$U_2 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} h} \cdot \ln 1{,}5 \qquad (4P)$$

Zu 1.2 $U_1 = U_2$

$$\frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} h} \cdot \ln 2 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} h} \cdot \ln 1{,}5$$

$$\frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} = \frac{\ln 2}{\ln 1{,}5} = 1{,}71 \qquad (6P)$$

Zu 1.3 Nach Bd.1, S.176, Gl.3.42 oder S.194, Beispiel 1 oder FS. S.35 bzw. 40

$$C = \varepsilon \cdot \frac{2\pi h}{\ln\frac{r_a}{r_i}}$$

ergeben sich

$$C_1 = \varepsilon_1 \cdot \frac{2\pi h}{\ln\frac{r_1}{r_0}} = \varepsilon_1 \cdot \frac{2\pi h}{\ln\frac{2r_0}{r_0}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{2\pi h}{\ln 2} \qquad C_2 = \varepsilon_2 \cdot \frac{2\pi h}{\ln\frac{r_2}{r_1}} = \varepsilon_2 \cdot \frac{2\pi h}{\ln\frac{3r_0}{2r_0}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \frac{2\pi h}{\ln 1{,}5}$$

Die Spannungen sind gleich, wenn die Kapazitäten in Reihenschaltung gleich sind:

$$\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{2\pi h}{\ln 2} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \frac{2\pi h}{\ln 1{,}5} \quad \text{d. h.} \quad \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} = \frac{\ln 2}{\ln 1{,}5} = 1{,}71 \qquad (6P)$$

Zu 1.4 $C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_1}} = \frac{C_1}{2} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{\pi \cdot h}{\ln 2}$

$$\frac{C}{h} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{\pi}{\ln 2} = 8{,}8542 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot 3 \cdot \frac{3{,}14}{0{,}693}$$

$$\frac{C}{h} = 120{,}4 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} = 120{,}4 \frac{pF}{m} \qquad (5P)$$

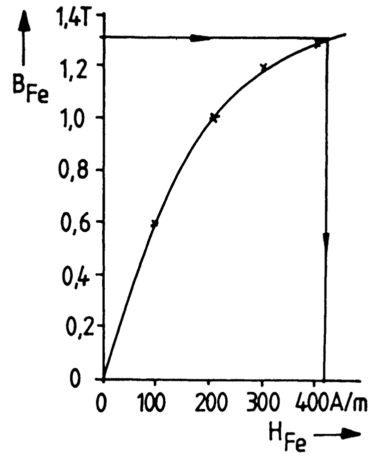
Lösungen zum Aufgabenblatt 2

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1, S.255-256, Beispiel 2 oder FS S.55-56 Beispiel 2

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{1\dfrac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\dfrac{Vs}{Am}} = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$$



$$B_{Fe} = B_L \cdot \frac{\dfrac{A_L}{A_K}}{\dfrac{A_{Fe}}{A_K}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe}} \cdot \frac{1}{1-\sigma}$$

$$B_{Fe} = 1T \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{0{,}9} = 1{,}31T$$

abgelesen: $H_{Fe} = 420\frac{A}{m}$

Bd.1, S.256, Gl 3.218 oder FS S.56

$$l_{Fe} = 2a - 2c + b - c - \frac{f}{2} - l_L$$

$$l_{Fe} = (84 - 12 + 42 - 6 - 6 - 1)mm = 101mm$$

$$\Theta = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 1 \cdot 10^{-3} m + 420\frac{A}{m} \cdot 101 \cdot 10^{-3} m$$

$$\Theta = 796{,}2A + 42{,}4A = 838{,}6A$$

$$\Theta = I \cdot w = 839A$$

$$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{839A}{1000} = 839mA$$ (17P)

Zu 2.2 In der Gleichung für die Durchflutung wird nur die Eisenweglänge verändert:

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

$$l_{Fe} = 2a - 2c + b - c - \frac{f}{2} - l_L$$

$$l_{Fe} = (110 - 17 + 55 - 8{,}5 - 8{,}5 - 1)mm = 130mm$$

$$\Theta = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 1 \cdot 10^{-3} m + 420\frac{A}{m} \cdot 130 \cdot 10^{-3} m$$

$$\Theta = 796{,}2A + 54{,}6A = 850{,}8A$$

$$\Theta = 851A$$

$$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{851A}{1000} = 851mA$$ (8P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 2

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S.234 Bild 3.82 und S.278 Bild 3.136 oder FS S.51 und 60

Die Feldstärkeanteile auf der Verbindungslinie zwischen den Leitermittelpunkten verlaufen nur senkrecht zur Verbindungslinie, so dass nur die Beträge addiert bzw. subtrahiert werden. (4P)

Da die Anordnung symmetrisch ist, brauchen die Feldstärken nur für positive x ausgerechnet zu werden. Für negative x sind die entsprechenden H-Werte negativ. (4P)

$x > 1{,}5d + R:$ (rechts außerhalb aller Leiter)

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = \frac{I}{2\pi(x-1{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x-0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+1{,}5d)}$$

$$H = \frac{I}{2\pi}\left[\frac{(x+1{,}5d)+(x-1{,}5d)}{(x-1{,}5d)(x+1{,}5d)} + \frac{(x+0{,}5d)+(x-0{,}5d)}{(x-0{,}5d)(x+0{,}5d)}\right] = \frac{I\cdot x}{\pi}\left[\frac{1}{x^2-(1{,}5d)^2} + \frac{1}{x^2-(0{,}5d)^2}\right]$$

$0{,}5d + R < x < 1{,}5d - R$ (zwischen Leiter 1 und 2)

$$H = -H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = -\frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} + \frac{I}{2\pi(x-0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+1{,}5d)}$$

mit $-\frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} = \frac{I}{2\pi(x-1{,}5d)}$ ist die H-Formel gleich.

$0 \le x \le 0{,}5d - R:$ (zwischen x=0 und Leiter 2)

$$H = -H_1 - H_2 + H_3 + H_4 = -\frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} - \frac{I}{2\pi(0{,}5d-x)} + \frac{I}{2\pi(0{,}5d+x)} + \frac{I}{2\pi(1{,}5d+x)}$$

mit $-\frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} = \frac{I}{2\pi(x-1{,}5d)}$ und $-\frac{I}{2\pi(0{,}5d-x)} = \frac{I}{2\pi(x-0{,}5d)}$

ist die H-Formel gleich.

Für alle Bereiche lässt sich die magnetische Feldstärke H durch eine Formel angeben. (10P)

Zu 3.2 $x > 1{,}5d + R:$ (rechts außerhalb aller Leiter)

$$H = -H_1 - H_2 + H_3 + H_4 = -\frac{I}{2\pi(x-1{,}5d)} - \frac{I}{2\pi(x-0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+1{,}5d)}$$

$$H = \frac{I}{2\pi}\left[\frac{(1{,}5d+x)+(1{,}5d-x)}{(1{,}5d-x)(1{,}5d+x)} + \frac{(0{,}5d+x)+(0{,}5d-x)}{(0{,}5d-x)(0{,}5d+x)}\right] = \frac{I\cdot d}{2\pi}\left[\frac{3}{(1{,}5d)^2-x^2} + \frac{1}{(0{,}5d)^2-x^2}\right]$$

$0{,}5d + R < x < 1{,}5d - R:$ (zwischen Leiter 1 und 2)

$$H = H_1 - H_2 + H_3 + H_4 = \frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} - \frac{I}{2\pi(x-0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+1{,}5d)}$$

Die H-Formel ist gleich.

$0 \le x \le 0{,}5d - R:$ (zwischen x=0 und Leiter 2)

$$H = H_1 + H_2 + H_3 + H_4 = \frac{I}{2\pi(1{,}5d-x)} + \frac{I}{2\pi(0{,}5d-x)} + \frac{I}{2\pi(x+0{,}5d)} + \frac{I}{2\pi(x+1{,}5d)}$$

Die H-Formel ist gleich.

Für alle Bereiche lässt sich die magnetische Feldstärke H durch eine Formel angeben. (7P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 2

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S.319-322 oder FS S.73-74

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{12}}{I_1}$$

$$\Phi_{12} = k_1 \cdot \Phi_1 = \frac{1}{4} \cdot \Phi_1 \quad \text{weil} \quad k_1 = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{1}{4} = 0{,}25 \quad \text{("Flussteilerregel")}$$

$$M_{12} = \frac{w_2 \cdot k_1 \cdot \Phi_1}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot \Phi_1}{I_1}$$

$$\Phi_1 = \frac{\Theta_1}{R_{m1}} = \frac{I_1 \cdot w_1}{\frac{1}{\mu \cdot A}\left(3 + \frac{1 \cdot 3}{1+3}\right)} = \frac{I_1 \cdot w_1}{\frac{1}{\mu \cdot A} \cdot \frac{15}{4}}$$

$$M_{12} = \frac{w_2 \cdot \frac{1}{4} \cdot I_1 \cdot w_1}{I_1 \cdot \frac{1}{\mu \cdot A} \cdot \frac{15}{4}}$$

$$M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{15 \cdot 1} = M_{21} \quad \text{mit} \quad \mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

M_{21} braucht nicht hergeleitet zu werden, weil die Permeabilität konstant ist (siehe Bd, 1, S. 320, Gl 3.340 oder FS S.73).
Außerdem ist der magnetische Kreis symmetrisch aufgebaut.

$$M_{12} = M_{21} = \frac{400 \cdot 1000 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 2000 \cdot 9 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2}{15 \cdot 10 \cdot 10^{-2}\,\text{m}} = 603\text{mH} \qquad \text{(10P)}$$

Zu 4.2

$$L_1 = \frac{\Psi_1}{I_1} = \frac{w_1 \cdot \Phi_1}{I_1} = \frac{w_1}{I_1} \cdot \frac{I_1 \cdot w_1}{\frac{1}{\mu \cdot A} \cdot \frac{15}{4}}$$ (Bd.1, S. 305, Gl. 3.308 oder FS S.70)

$$L_1 = 4 \cdot \frac{w_1^2 \cdot \mu \cdot A}{15 \cdot 1} = 4 \cdot \frac{400^2 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 2000 \cdot 9 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2}{15 \cdot 10 \cdot 10^{-2}\,\text{m}} = 965\text{mH}$$

Wegen der Symmetrie ist

$$L_2 = 4 \cdot \frac{w_2^2 \cdot \mu \cdot A}{15 \cdot 1} \quad \text{d.h.} \quad L_2 = L_1 \cdot \frac{w_2^2}{w_1^2} = 965\text{mH} \cdot \frac{1000^2}{400^2} = 6{,}03\text{H}$$

$$k = \frac{M}{\sqrt{L_1 \cdot L_2}} = \frac{603\text{mH}}{\sqrt{965\text{mH} \cdot 6{,}03\text{H}}} = 0{,}25$$

Kontrolle: $k = \sqrt{k_1 \cdot k_2} = \sqrt{0{,}25 \cdot 0{,}25} = 0{,}25$ (10P)

$$\sigma_1 = \frac{\Phi_{1s}}{\Phi_1} = \frac{3}{4} = 0{,}75 \qquad \sigma_2 = \frac{\Phi_{2s}}{\Phi_1} = \frac{3}{4} = 0{,}75$$

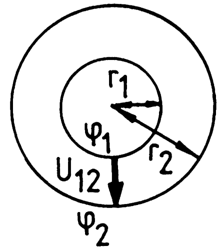
$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 - \sigma_1 \cdot \sigma_2 = 0{,}75 + 0{,}75 - 0{,}75^2 = 0{,}9375 \qquad \text{(5P)}$$

Lösungen zum Aufgabenblatt 3

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.190, Gl 3.79 oder FS S.39

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_2}{r_1}$$



ist $U = \varphi_i - \varphi_a = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}$

$$\frac{U}{2} = \varphi_i - \varphi_x = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_x}{r_i}$$

$$\frac{U}{2} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_x}{r_i} = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}$$

$$\ln\frac{r_x}{r_i} = \frac{1}{2} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}$$

$$\ln\frac{r_x}{r_i} = \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)^{1/2}$$

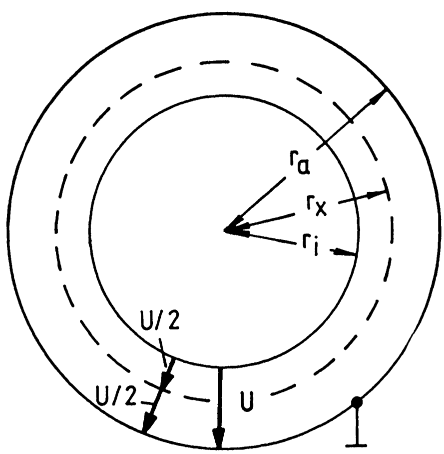
$$\frac{r_x}{r_i} = \left(\frac{r_a}{r_i}\right)^{1/2} = \sqrt{\frac{r_a}{r_i}}$$

$$r_x = r_i \cdot \sqrt{\frac{r_a}{r_i}} = \sqrt{r_i^2 \cdot \frac{r_a}{r_i}}$$

$$r_x = \sqrt{r_i \cdot r_a}$$ (18P)

Zu 1.2 Mit r_a=8cm und r_i=5cm ist

$$r_x = \sqrt{5 \cdot 8}\text{cm} = \sqrt{40}\text{cm} = 6{,}32\text{cm}$$ (5P)



(2P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 3

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1 oder FS S.55

$$I = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{1{,}2\frac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}} = 955 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$$

$$B_{Fe} = B_L \cdot \frac{1}{1-\sigma} = \frac{1{,}2\frac{V}{m^2}}{0{,}9} = 1{,}33T \quad \text{abgelesen: } H_{Fe} = 800\frac{A}{m}$$

$$I = 955 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 2 \cdot 10^{-3} m + 800\frac{A}{m} \cdot 0{,}4m$$

$$I = 2230A \qquad (15P)$$

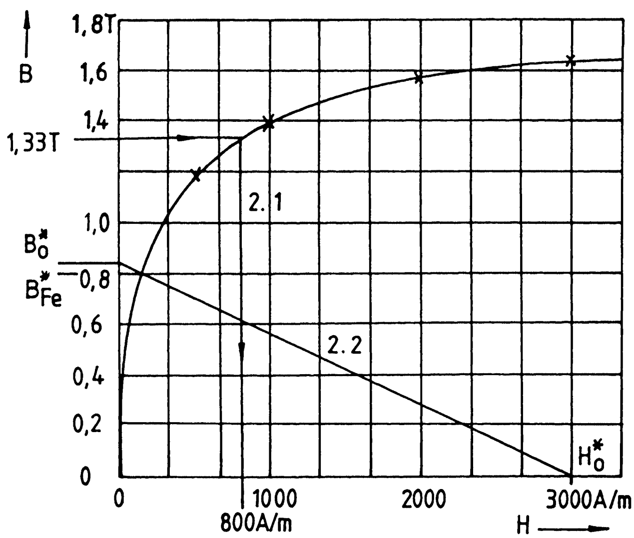
Zu 2.2 Bd.1, S.263, 271, 275 Aufgabenstellung 2 oder FS S.57-59

$$B_0^* = \frac{\mu_0}{1-\sigma} \cdot \frac{\Theta}{l_L} = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am} \cdot 1200A}{0{,}9 \cdot 2 \cdot 10^{-3} m} = 0{,}837T$$

$$H_0^* = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{1200A}{0{,}4m} = 3000\frac{A}{m}$$

im Schnittpunkt ergibt sich $B_{Fe}^* = 0{,}8T$

und damit $B_L^* = (1-\sigma) \cdot B_{Fe}^* = 0{,}9 \cdot 0{,}8T = 0{,}72T$ (10P)



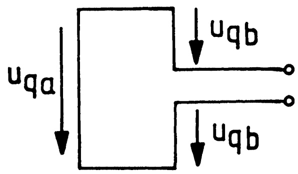
Lösungen zum Aufgabenblatt 3

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd. 1, S.293 oder FS S. 64

Nur die Seite a und die beiden gleich langen Seiten b sind an der Spannungsinduktion beteiligt wegen

$$u_q = -\int_1^2 (\vec{v} \times \vec{B}) \cdot d\vec{l} = -v \cdot B \cdot l \quad \text{(siehe Bild 3.149)}$$



(10P)

Zu 3.2 $u_{qa} = v \cdot B \cdot a = 0{,}2\frac{m}{s} \cdot 1\frac{Vs}{m^2} \cdot 50 \cdot 10^{-3}\,m = 10mV$ (2P)

$u_{qb} = v \cdot B \cdot b = 0{,}2\frac{m}{s} \cdot 1\frac{Vs}{m^2} \cdot 20 \cdot 10^{-3}\,m = 4mV$ (2P)

Die Gesamtspannung u beträgt

- beim Bewegen der Leiterschleife im Magnetfeld:
  $u = u_{qa} - 2 \cdot u_{qb} = 10mV - 8mV = 2mV$ (2P)

  von $t=0$ bis $t=t_1$:

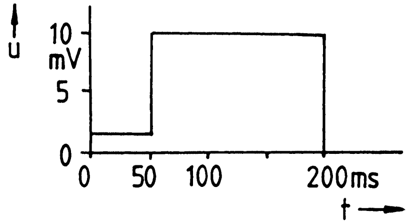
  $t_1 = \frac{d}{v} = \frac{10mm}{0{,}2\,m/s} = 50ms$ (2P)

- beim Bewegen nur der Seite a im Magnetfeld
  (die Seite b ist außerhalb des Feldes):
  $u = u_{qa} = 10mV$ (2P)

  von $t=t_1$ bis $t=t_2$:

  $t_2 = \frac{c+d}{v} = \frac{40mm}{0{,}2\,m/s} = 200ms$ (2P)

- beim Bewegen der Leiterschleife außerhalb des Magnetfeldes:
  $u=0$



(3P)

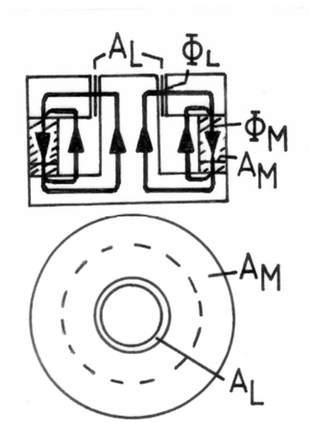
Lösungen zum Aufgabenblatt 3

Aufgabe 4:

Zu 4.1

A_M ist eine Kreisringfläche

A_L ist eine Zylindermantelfläche



(5P)

Zu 4.2

$$A_M = r_4^2 \cdot \pi - r_3^2 \cdot \pi$$

$$A_M = \left(r_4^2 - r_3^2\right) \cdot \pi \qquad (2P)$$

$$A_L = 2 \cdot r_m \cdot \pi \cdot l$$

$$A_L = 2 \cdot \frac{r_l + r_2}{2} \cdot \pi \cdot l$$

$$A_L = (r_l + r_2) \cdot \pi \cdot l \qquad (2P)$$

$$A_L = (9mm + 8mm) \cdot 3{,}14 \cdot 8mm$$

$$A_L = 427mm^2 \qquad (2P)$$

Zu 4.3

Bd.1, S.287, Gl.3.270 oder FS S.62

$$\Phi_L = (1-\sigma) \cdot \Phi_M$$

$$B_L \cdot A_L = (1-\sigma) \cdot B_M \cdot A_M$$

$$A_M = \frac{B_L \cdot A_L}{(1-\sigma) \cdot B_{Mopt}} \quad \text{mit } B_M = B_{Mopt} \qquad (4P)$$

$$A_M = \frac{1{,}2 \frac{Vs}{m^2} \cdot 427mm^2}{0{,}6 \cdot 1{,}06 \frac{Vs}{m^2}}$$

$$A_M = 806mm^2 \qquad (2P)$$

$$r_4 = \sqrt{\frac{A_M}{\pi} + r_3^2}$$

$$r_4 = \sqrt{\frac{806mm^2}{3{,}14} + \left(16mm\right)^2}$$

$$r_4 = 22{,}6mm \qquad (2P)$$

Zu 4.4

Bd.1, S.280, Gl.3.251 oder FS S.62

$$H_L \cdot l_L + H_M \cdot l_M = 0$$

$$\frac{B_L}{\mu_0} \cdot l_L + H_M \cdot l_M = 0$$

mit $\quad l_L = r_l - r_2$

$$l_M = -\frac{B_L (r_l - r_2)}{\mu_o \cdot H_{Mopt}} \qquad (4P)$$

mit $\quad H_M = H_{Mopt}$

$$l_M = -\frac{1{,}2 \frac{Vs}{m^2} \cdot 1mm}{1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot \left(-53 \cdot 10^3 \frac{A}{m}\right)}$$

$$l_M = 18mm \qquad (2P)$$

Lösungen zum Aufgabenblatt 4

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.180, Gl 3.56 oder FS S.35

$$E_1(r) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1 \cdot r^2} \qquad \text{(4P)}$$

$$E_2(r) = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2 \cdot r^2} \qquad \text{(4P)}$$

Zu 1.2 Bd.1, S.187 oder FS S.39

$$U_1 = \int_{r_i}^{r_g} E_1 \cdot dr \qquad U_2 = \int_{r_g}^{r_a} E_2 \cdot dr$$

$$U_1 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1} \cdot \int_{r_i}^{r_g} \frac{dr}{r^2} \qquad U_2 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2} \cdot \int_{r_g}^{r_a} \frac{dr}{r^2}$$

$$U_1 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1} \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_i}^{r_g} \qquad U_2 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2} \cdot \left[-\frac{1}{r} \right]_{r_g}^{r_a}$$

$$U_1 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_1} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g} \right) \quad \text{(4P)} \qquad U_2 = \frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_2} \cdot \left(\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a} \right) \quad \text{(4P)}$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$U = \frac{Q}{4 \cdot \pi} \cdot \left[\frac{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g}}{\varepsilon_1} + \frac{\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a}}{\varepsilon_2} \right] \qquad \text{(4P)}$$

$Q = C \cdot U$ bzw. $C = \frac{Q}{U}$ Bd.1, S.193, Gl.3.87 oder FS S.40

$$Q = \frac{4 \cdot \pi \cdot U}{\frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g} \right) + \frac{1}{\varepsilon_2} \cdot \left(\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a} \right)}$$

$$C = \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{\varepsilon_1} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g} \right) + \frac{1}{\varepsilon_2} \cdot \left(\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a} \right)} \qquad \text{(5P)}$$

Lösungen zum Aufgabenblatt 4

Aufgabe 2:

Zu 2.1 $0 < r < r_i$

$H_1 = 0 \qquad B_1 = 0$ Bd.1 S.235, Gl. 3.182 oder FS S.51

damit ist $\Phi_1 = 0$ (5P)

Zu 2.2 $r_i < r < r_a$

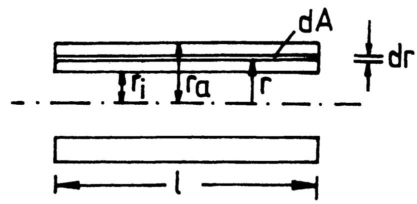
$$\Phi_2 = \int B_2 \cdot dA$$

$$B_2 = \mu_0 \cdot H_2$$

$$H_2 = \frac{I}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \cdot \left(r - \frac{r_i^2}{r}\right)$$ Bd.1, S.235, Gl. 3.183 oder FS S.51

$$B_2 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \cdot \left(r - \frac{r_i^2}{r}\right) \quad \text{und} \quad dA = l \cdot dr$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \int_{r_i}^{r_a} \left(r - \frac{r_i^2}{r}\right) \cdot dr$$



$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \cdot \left[\int_{r_i}^{r_a} r \cdot dr - r_i^2 \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{dr}{r}\right]$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \cdot \left[\frac{r^2}{2} - r_i^2 \cdot \ln|r|\right]_{r_i}^{r_a}$$

$$\Phi_2 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2\pi \cdot \left(r_a^2 - r_i^2\right)} \cdot \left(\frac{r_a^2 - r_i^2}{2} - r_i^2 \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}\right)$$ (10P)

Zu 2.3 $r_a < r < 2r_a$.

$$\Phi_3 = \int B_3 \cdot dA$$

$$B_3 = \mu_0 \cdot H_3$$

$$H_3 = \frac{I}{2 \cdot \pi \cdot r}$$ Bd.1, S.235, Gl. 3.185 oder FS S.51

$$B_3 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot r} \quad \text{und} \quad dA = l \cdot dr$$

$$\Phi_3 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \int_{r_a}^{2r_a} \frac{dr}{r}$$

$$\Phi_3 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\frac{2 \cdot r_a}{r_a}$$

$$\Phi_3 = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot l}{2 \cdot \pi} \cdot \ln 2$$ (10P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 4

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S.250, 258, 263, 269-271 Aufgabenstellung 2 oder FS S.57-59

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot \Theta}{l_L} = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot 1000 \cdot I}{1{,}6 \cdot 10^{-3} m} = 0{,}785 \frac{Vs}{Am^2} \cdot I \qquad (5P)$$

$$H_0 = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{1000 \cdot I}{0{,}31 m} \qquad (5P)$$

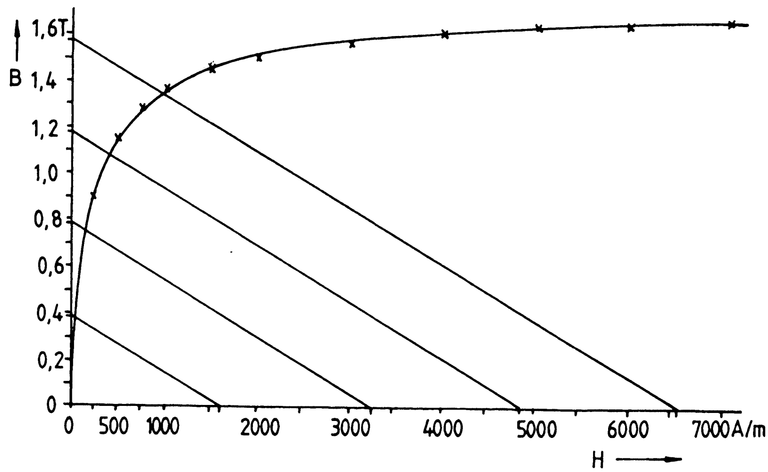
mit $l_{Fe} = l_I + l_E = (75+235)mm = 310mm$ (3P)

Bd.1, S.260 Gl. 3.221 und 3.222

$l_I = g + 2c = (35 + 2 \cdot 20)mm = 75mm$

$l_E = 2e + g + 2c = (2 \cdot 80 + 35 + 2 \cdot 20)mm = 235mm$

B_L wird im Schnittpunkt abgelesen

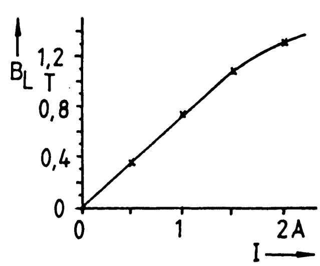


(5P)

I	B_0	H_0	B_L
A	T	A/m	T
0,5	0,39	1613	0,36
1,0	0,79	3226	0,74
1,5	1,18	4839	1,08
2,0	1,57	6452	1,34

(3P)

Zu 3.2



(4P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 4

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S.319-323 oder FS S.73

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{12}}{I_1}$$

$$\Phi_{12} = B_1 \cdot \cos\alpha \cdot A_2$$

$$B_1 = \mu_0 \cdot H_1$$

$$H_1 = \frac{\Theta_1}{l_1} = \frac{I_1 \cdot w_1}{l_1}$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot w_1}{l_1}$$

$$A_2 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

$$\Phi_{12} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot w_1}{l_1} \cdot \cos\alpha \cdot \frac{\pi \cdot d_2^2}{4}$$

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \pi \cdot d_2^2}{4 \cdot l_1} \cdot \cos\alpha \qquad \text{(22P)}$$

oder

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{12}}{I_1}$$

$$\Phi_{12} = k_1 \cdot \Phi_1$$

$$k_1 = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{B_1 \cdot \cos\alpha \cdot A_2}{B_1 \cdot A_1} = \frac{\frac{d_2^2 \cdot \pi}{4}}{\frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}} \cdot \cos\alpha = \frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \cos\alpha$$

$$\Phi_{12} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \cos\alpha \cdot \Phi_1$$

$$\Phi_1 = \frac{\Theta_1}{R_{m1}} = \frac{I_1 \cdot w_1}{\frac{l_1}{\mu_0 \cdot A_1}} = \frac{I_1 \cdot w_1 \cdot \mu_0 \cdot A_1}{l_1} = \frac{I_1 \cdot w_1 \cdot \mu_0}{l_1} \cdot \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}$$

$$\Phi_{12} = \frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \cos\alpha \cdot \frac{I_1 \cdot w_1 \cdot \mu_0}{l_1} \cdot \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4}$$

$$M_{12} = \frac{\mu_0 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \pi \cdot d_2^2}{4 \cdot l_1} \cdot \cos\alpha \qquad \text{(s.o.)}$$

Zu 4.2 Wenn die Spule 2 stromdurchflossen ist, entsteht ein magnetisches Feld, das außerhalb der Spule inhomogen ist. Der Anteil, der von der äußeren Spule umfasst wird, ist nicht zu erfassen. (3P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 5

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.187, Gl. 3.73 oder FS S.39

$$U_{12} = \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

ist
$$U_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1}} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g} \right)$$

$$U_1 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1}} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{2r_i} \right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} r_i} \cdot \left(1 - \frac{1}{2} \right)$$

$$U_1 = \frac{Q}{8\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} r_i} \qquad \text{(5P)}$$

und
$$U_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2}} \cdot \left(\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a} \right)$$

$$U_2 = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2}} \cdot \left(\frac{1}{2r_i} - \frac{1}{3r_i} \right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} r_i} \cdot \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \right) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} r_i} \cdot \left(\frac{3}{6} - \frac{2}{6} \right)$$

$$U_2 = \frac{Q}{24\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} r_i} \qquad \text{(5P)}$$

Zu 1.2
$$U_1 = U_2$$

$$\frac{Q}{8\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r1} r_i} = \frac{Q}{24\pi\varepsilon_0\varepsilon_{r2} r_i}$$

$$\frac{1}{8 \cdot \varepsilon_{r1}} = \frac{1}{24 \cdot \varepsilon_{r2}}$$

$$\varepsilon_{r1} = 3 \cdot \varepsilon_{r2} \quad \text{oder} \quad \frac{\varepsilon_{r1}}{\varepsilon_{r2}} = 3 \qquad \text{(7P)}$$

Zu 1.3 Nach Bd.1, S.176, Gl. 3.43

$$C = \varepsilon \cdot \frac{4\pi}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a}}$$

ergeben sich

$$C_1 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_g}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{r_i} - \frac{1}{2r_i}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r_i}{1 - \frac{1}{2}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot 8 \cdot \pi \cdot r_i \qquad \text{(3P)}$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{r_g} - \frac{1}{r_a}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \frac{4 \cdot \pi}{\frac{1}{2r_i} - \frac{1}{3r_i}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r_i}{\frac{1}{2} - \frac{1}{3}} = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot 24 \cdot \pi \cdot r_i \qquad \text{(3P)}$$

Die Spannungen sind gleich, wenn die Kapazitäten in Reihenschaltung gleich sind:

$C_1 = C_2$ d. h. $\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r1} \cdot 8 \cdot \pi \cdot r_i = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{r2} \cdot 24 \cdot \pi \cdot r_i$ und $\varepsilon_{r1} = 3 \cdot \varepsilon_{r2}$ (2P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 5

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 oder FS S.55 Aufgabenstellung 1

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_U \cdot l_U + H_I \cdot l_I$$

$$B_L = \frac{\Phi_L}{A_L} \quad \text{mit} \quad A_L = 16\text{mm} \cdot 20\text{mm} = 320\text{mm}^2 = 320 \cdot 10^{-6}\text{m}^2$$

$$B_L = \frac{256 \cdot 10^{-6}\text{Vs}}{320 \cdot 10^{-6}\text{m}^2} = 0{,}8\text{T}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{0{,}8\frac{\text{V}}{\text{m}^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}} = 637 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}}$$

$$B_U = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe} \cdot (1-\sigma)} = 0{,}8\text{T} \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{0{,}9} = 1{,}05\text{T}$$

abgelesen: $H_U = 190\frac{\text{A}}{\text{m}}$

$$B_I = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe}} = 0{,}8\text{T} \cdot \frac{1}{0{,}85} = 0{,}94\text{T}$$

abgelesen: $H_I = 170\frac{\text{A}}{\text{m}}$

$$l_U = (2 \cdot 64 - 16 + 48 - 16)\text{mm} = 144\text{mm} \qquad l_I = 48\text{mm}$$

$$\Theta = 637 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot l_L + 190\frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot 144 \cdot 10^{-3}\text{m} + 170\frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot 48 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

$$\Theta = 637 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} \cdot l_L + 27\text{A} + 8\text{A}$$

$$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{\Theta}{1000}$$

l_L	V_L	Θ	I
mm	A	A	A
1	637	672	0,672
2	1274	1309	1,309
3	1911	1946	1,946
4	2548	2583	2,583

(18P)

Zu 2.2 Fensterquerschnitt:

16mm · 48mm=768mm²

Querschnitt eines Drahtes:

$$\frac{768\text{mm}^2}{1000 \cdot 1{,}27} = 0{,}6\text{mm}^2 \text{ mit } \frac{d^2}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{4}{\pi} = 1{,}27$$

l_L	S	S_{zul}	
mm	A/mm²	A/mm²	
1	1,12	< 2	zulässig
2	2,18	> 2	nicht zul.
3	3,24	> 2	nicht zul.
4	4,31	> 2	nicht zul.

Stromdichte: $S = \dfrac{I}{0{,}6\text{mm}^2}$ (7P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 5

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Nach Bd.1, S. 284-285 oder FS S.62 ist

$$(B_M \cdot H_M)_{max} = B_{Mopt} \cdot H_{Mopt} \qquad \text{(Ergebnisse s. Tabelle)} \qquad (6P)$$

Zu 3.2 Bd.1, S. 284, Gl. 3.262 oder FS S. 62

$$V_M = -\frac{B_L{}^2 \cdot V_L}{\mu_0} \cdot \frac{1}{(B_M \cdot H_M)_{max}}$$

$$V_M = -\frac{\left(0{,}5\dfrac{Vs}{m^2}\right)^2 \cdot 5cm^2 \cdot 0{,}2cm}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\dfrac{Vs}{Am}} \cdot \frac{1}{(B_M \cdot H_M)_{max}}$$

$$V_M = -\frac{199 \cdot 10^3 \dfrac{VAs}{m^3}}{(B_M \cdot H_M)_{max}} \cdot cm^3 \qquad (5P)$$

Bd.1, S. 285, Gl 3.265 und 3.266 oder FS S. 62

$$A_M = \frac{A_L}{B_{Mopt}} \cdot B_{Lopt}$$

$$A_M = \frac{5cm^2}{B_{Mopt}} \cdot 0{,}5T$$

$$A_M = \frac{2{,}5T}{B_{Mopt}} \cdot cm^2 \qquad (5P)$$

$$l_M = \frac{V_M}{A_M} \quad (4P) \qquad \frac{Euro}{cm^3} \cdot V_M = Euro \quad (2P)$$

Werkstoff	Preis	B_{Mopt}	H_{Mopt}	$(B_M \cdot H_M)_{max}$	V_M	A_M	l_M	Preis
	Euro/cm³	Vs/m²	10³A/m	10³VAs/m³	cm³	cm²	cm	Euro
AlNiCo	0,36	1,03	-40	-41,2	4,83	2,43	1,99	1,74
Hartferrit	0,13	0,20	-120	-24	8,29	12,50	0,66	1,08
Seco	2,56	0,50	-350	-175	1,14	5,00	0,23	2,92

Zu 3.3 Der Dauermagnet aus Hartferrit ist wohl am billigsten, benötigt aber das größte Dauermagnetvolumen.
Dagegen ist das Volumen von Seco nur ca. 1/8 von Hartferrit, aber mehr als das Doppelte teurer.
AlNiCo benötigt nur fast die Hälfte des Volumens von Hartferrit und ist nur 50% teurer. (3P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 5

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Nach Bd. 1, S.320, 323 oder FS S.73

$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{i_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{12}}{i_1}$$

$$\Phi_{12} = k_1 \cdot \Phi_1 = \Phi_1$$

mit $k_1 = 1$

$$\Phi_1 = \frac{\Theta_1}{R_{m1}} = \frac{i_1 \cdot w_1}{\dfrac{4 \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}}$$

mit $A = c \cdot d \cdot f_{Fe}$

$$\Phi_1 = \frac{i_1 \cdot w_1 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot c \cdot d \cdot f_{Fe}}{4 \cdot l}$$

$$M = M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot c \cdot d \cdot f_{Fe}}{4 \cdot l} \qquad \text{wegen } \mu \text{ konstant}$$

oder nach Bd.1, S. 320, Gl. 3.338 oder FS S.73

$$M_{12} = k_1 \cdot G_{m1} \cdot w_1 \cdot w_2$$

$$M_{12} = \frac{k_1 \cdot w_1 \cdot w_2}{R_{m1}}$$

mit $k_1 = 1$

$$R_{m1} = \frac{4 \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$$

mit $A = c \cdot d \cdot f_{Fe}$

$$R_{m1} = \frac{4 \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot c \cdot d \cdot f_{Fe}}$$

$$M = M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot c \cdot d \cdot f_{Fe}}{4 \cdot l} \qquad \text{wegen } \mu \text{ konstant}$$

$$M = \frac{500 \cdot 1200 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6} \dfrac{Vs}{Am} \cdot 5000 \cdot 2 \cdot 10^{-2} m \cdot 3 \cdot 10^{-2} m \cdot 0{,}9}{4 \cdot 8 \cdot 10^{-2} m}$$

$$M = 6{,}358 H$$ (15P)

Zu 4.2 Bd.1, S. 333, Gl. 3.354 (Transformator bei sekundärem Leerlauf) oder FS S.80

$$u_2 = M_{12} \cdot \frac{di_1}{dt} \qquad \text{mit} \quad i_2 = 0 \qquad \text{und} \quad \frac{di_2}{dt} = 0$$

$$u_2 = M \cdot \frac{d(\hat{i} \cdot \sin \omega t)}{dt}$$

$$u_2 = \omega \cdot M \cdot \hat{i} \cdot \cos \omega t$$

$$u_2 = 314 s^{-1} \cdot 6{,}358 \frac{Vs}{A} \cdot 25 \cdot 10^{-3} A \cdot \cos \omega t$$

$$u_2 = 50V \cdot \cos \omega t$$ (10P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 6

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.190, Gl 3.79 oder FS S.39

$$U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} \qquad | \cdot k$$

$$k \cdot U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_x}$$

$$k \cdot U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_x} = k \cdot \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}$$

$$\ln\frac{r_a}{r_x} = k \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} = \ln\left(\frac{r_a}{r_i}\right)^k$$

$$\frac{r_a}{r_x} = \left(\frac{r_a}{r_i}\right)^k$$

$$r_x = \left(\frac{r_i}{r_a}\right)^k \cdot r_a \qquad \text{(15P)}$$

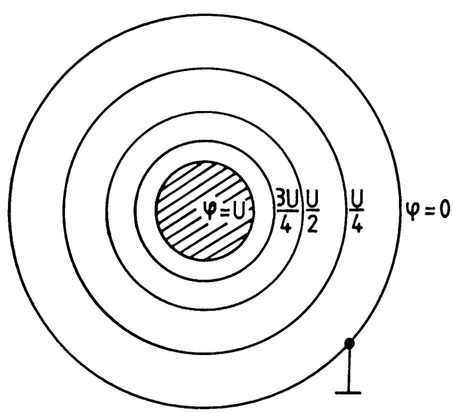
Zu 1.2 Mit r_a=8cm und r_i=2cm ist $\frac{r_i}{r_a} = \frac{2cm}{8cm} = \frac{1}{4} = 0{,}25$

$$k = \frac{3}{4}: \qquad r_x = \left(\frac{r_i}{r_a}\right)^{3/4} \cdot 8cm = \sqrt[4]{0{,}25^3} \cdot 8cm = 2{,}83cm \qquad \text{(2P)}$$

$$k = \frac{1}{2}: \qquad r_x = \left(\frac{r_i}{r_a}\right)^{1/2} \cdot 8cm = \sqrt[2]{0{,}25} \cdot 8cm = 4cm \qquad \text{(2P)}$$

$$k = \frac{1}{4}: \qquad r_x = \left(\frac{r_i}{r_a}\right)^{1/4} \cdot 8cm = \sqrt[4]{0{,}25} \cdot 8cm = 5{,}66cm \qquad \text{(2P)}$$

Zu 1.3



(4P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 6

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250, 258, 263, 269-275 Aufgabenstellung 2 oder FS S.57-59

$$B_0^* = \frac{\mu_0 \cdot \Theta}{(1-\sigma)\cdot l_L} = \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}\cdot 2000\cdot 0{,}5A}{(1-\sigma)\cdot l_L} = \frac{1{,}256}{(1-\sigma)\cdot l_L}\cdot\frac{Vs}{m}$$

$$H_0 = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{2000\cdot 0{,}5A}{168mm} = 5952\frac{A}{m}$$

mit Bd.1, S.260 Gl. 3.221 und 3.222

$l_{Fe} = l_I + l_E = (42+126)mm = 168mm$

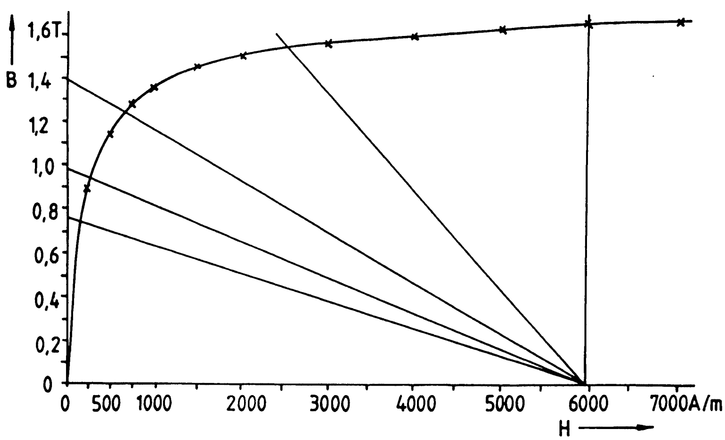
$l_I = g+2c = (14+2\cdot 14)mm = 42mm$

$l_E = 2e+g+2c = (2\cdot 42+14+2\cdot 14)mm = 126mm$

B_{Fe}^* wird im Schnittpunkt abgelesen,

$B_L^* = (1-\sigma)\cdot B_{Fe}^*$

l_L	σ	$1-\sigma$	B_0^*	B_{Fe}^*	B_L^*	F
mm	1	1	T	T	T	N
0	0	1	∞	1,65	1,65	1700
0,5	0,05	0,95	2,644	1,54	1,46	1336
1,0	0,10	0,90	1,396	1,26	1,13	797
1,5	0,15	0,85	0,985	0,94	0,80	400
2,0	0,20	0,80	0,785	0,75	0,6	225

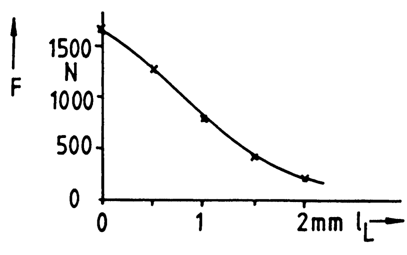


(18P)

Zu 2.2 $$F = \frac{B_L^{*2}\cdot A_L}{2\cdot\mu_0}$$

$$F = \frac{B_L^{*2}\cdot 28mm\cdot 56mm}{2\cdot 1{,}256\cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}}$$

$$F = 624{,}2\cdot B_L^{*2}$$



(7P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 6

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S. 321, Beispiel 1 oder FS S.74

$$R_{m1} = \frac{2\cdot 1}{\mu\cdot A} + \left(\frac{1}{\mu\cdot A} \| \frac{2\cdot 1}{\mu\cdot A}\right) = \frac{2\cdot 1}{\mu\cdot A} + \frac{1}{\mu\cdot A}\cdot\frac{1\cdot 2}{1+2} = \frac{1}{\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}\cdot\left(2+\frac{2}{3}\right)$$

$$R_{m1} = \frac{8}{3}\cdot\frac{0{,}04\text{m}}{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\cdot 2000\cdot 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$R_{m1} = 424{,}6\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$ (3P)

$$R_{m2} = \frac{1}{\mu\cdot A} + \frac{1}{2}\cdot\frac{2\cdot 1}{\mu\cdot A} = \frac{2\cdot 1}{\mu_0\cdot\mu_r\cdot A}$$

$$R_{m2} = \frac{2\cdot 0{,}04\text{m}}{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}\cdot 2000\cdot 10^{-4}\text{m}^2}$$

$$R_{m2} = 318{,}5\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$ (3P)

Zu 3.2 Bd.1, S. 308, Beispiel 3 und S. 321, Beispiel 1 oder FS S. 71, 74

$$L_1 = \frac{w_1^2}{R_{m1}} = \frac{1200^2}{424{,}6\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 3{,}39\text{H}$$ (3P)

$$L_2 = \frac{w_2^2}{R_{m2}} = \frac{500^2}{318{,}5\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 0{,}785\text{H}$$ (3P)

$$M_{12} = k_1\cdot\frac{w_1\cdot w_2}{R_{m1}} = \frac{2}{3}\cdot\frac{1200\cdot 500}{424{,}6\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 0{,}942\text{H} \qquad \text{mit} \qquad k_1 = \frac{\Phi_{12}}{\Phi_1} = \frac{2}{3}$$ (2P)

$$M_{21} = k_2\cdot\frac{w_1\cdot w_2}{R_{m2}} = \frac{1}{2}\cdot\frac{1200\cdot 500}{318{,}5\cdot 10^3\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 0{,}942\text{H} \qquad \text{mit} \qquad k_2 = \frac{\Phi_{21}}{\Phi_2} = \frac{1}{2}$$ (2P)

Zu 3.3 Bd.1, S. 338, Gl. 3.368 oder FS S.81

$$k = \sqrt{\frac{M_{12}\cdot M_{21}}{L_1\cdot L_2}} = \frac{M}{\sqrt{L_1\cdot L_2}} = \frac{0{,}942\text{H}}{\sqrt{3{,}39\text{H}\cdot 0{,}785\text{H}}} = 0{,}577$$ (3P)

$$k = \sqrt{k_1\cdot k_2} = \sqrt{\frac{2}{3}\cdot\frac{1}{2}} = 0{,}577$$

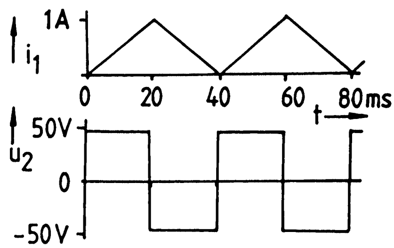
Zu 3.4 Bd.1, S. 325, Gl. 3.343 oder FS S.75

$$u_2 = M\cdot\frac{di_1}{dt} = 0{,}942\frac{\text{Vs}}{\text{A}}\cdot\frac{di_1}{dt}$$

von 0 bis 20ms: $\frac{di_1}{dt} = \frac{1\text{A}}{20\text{ms}}$

von 20 bis 40ms: $\frac{di_1}{dt} = -\frac{1\text{A}}{20\text{ms}}$

$$|u_2| = 0{,}942\frac{\text{Vs}}{\text{A}}\cdot\frac{1\text{A}}{20\cdot 10^{-3}\text{s}} = 47{,}1\text{V}$$ (6P)



Lösungen zum Aufgabenblatt 6

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S. 359 oder FS S.83

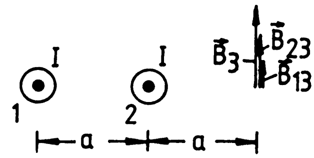
Berechnung von B_3, wenn die Leiter 1 und 2 stromdurchflossen sind: $\vec{B}_3 = \vec{B}_{13} + \vec{B}_{23}$

mit $B_3 = B_{13} + B_{23}$

$$B_3 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot a} + \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}\left(\frac{1}{2} + 1\right)$$

$$B_3 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1{,}256 \cdot 10^{-3} \frac{Vs}{Am} \cdot 1A}{2 \cdot \pi \cdot 1m}$$

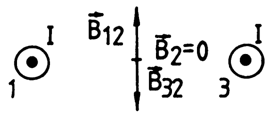
$$B_3 = 300 \cdot 10^{-9} T$$



(5P)

Berechnung von B_2, wenn die Leiter 1 und 3 stromdurchflossen sind: $\vec{B}_2 = \vec{B}_{12} + \vec{B}_{32} = 0$

weil $B_{12} = B_{32}$



(5P)

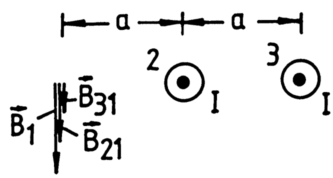
Berechnung von B_1, wenn die Leiter 2 und 3 stromdurchflossen sind: $\vec{B}_1 = \vec{B}_{21} + \vec{B}_{31}$

mit $B_1 = B_{21} + B_{31}$

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} + \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot a} = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}\left(1 + \frac{1}{2}\right)$$

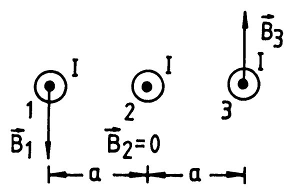
$$B_1 = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{3}{2} \cdot \frac{1{,}256 \cdot 10^{-3} \frac{Vs}{Am} \cdot 1A}{2 \cdot \pi \cdot 1m}$$

$$B_1 = 300 \cdot 10^{-9} T$$



(5P)

Zusammenfassend bestehen in den drei Leitern die magnetischen Induktionen $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$:



Zu 4.2 Bd.1, S.359 oder FS S.83

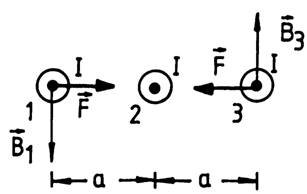
$$\frac{F_3}{l} = I_3 \cdot B_3 = I \cdot B_3$$

$$\frac{F_3}{l} = \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot I^2}{2 \cdot \pi \cdot a} = 300 \cdot 10^{-9} \frac{Vs}{m^2} \cdot 1A$$

$$\frac{F_3}{l} = 300 \cdot 10^{-9} \frac{VAs}{m^2} = 300 \cdot 10^{-9} \frac{N}{m}$$

$$\frac{F_2}{l} = I_2 \cdot B_2 = I \cdot B_2 = 0, \quad \text{weil } B_2 = 0$$

$$\frac{F_1}{l} = I_1 \cdot B_1 = I \cdot B_1 = 300 \cdot 10^{-9} \frac{N}{m}$$



(10P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 7

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.187, Gl 3.73 oder FS S.39

$$U = \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a} \right) \qquad | \cdot k$$

$$k \cdot U = \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_x} - \frac{1}{r_a} \right)$$

$$k \cdot U = \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_x} - \frac{1}{r_a} \right) = k \cdot \frac{Q}{4\pi\varepsilon} \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a} \right)$$

$$\frac{1}{r_x} - \frac{1}{r_a} = k \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a} \right) \quad \text{bzw.} \quad \frac{1}{r_x} = k \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a} \right) + \frac{1}{r_a}$$

$$r_x = \frac{1}{k \cdot \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{r_a} \right) + \frac{1}{r_a}} = \frac{1}{\frac{k}{r_i} + \frac{1}{r_a} \cdot (1-k)} = \frac{r_a}{k \cdot \frac{r_a}{r_i} + (1-k)} \qquad \text{(12P)}$$

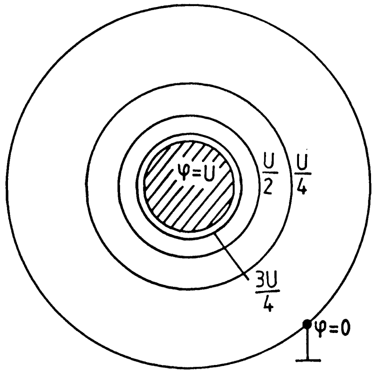
Zu 1.2 Mit r_a=8cm und r_i=2cm ist $\frac{r_a}{r_i} = \frac{8\text{cm}}{2\text{cm}} = 4$

$$k = \frac{3}{4}: \qquad r_x = \frac{8\text{cm}}{\frac{3}{4} \cdot 4 + \left(1 - \frac{3}{4}\right)} = 2{,}46\text{cm} \qquad \text{(2P)}$$

$$k = \frac{1}{2}: \qquad r_x = \frac{8\text{cm}}{\frac{1}{2} \cdot 4 + \left(1 - \frac{1}{2}\right)} = 3{,}20\text{cm} \qquad \text{(2P)}$$

$$k = \frac{1}{4}: \qquad r_x = \frac{8\text{cm}}{\frac{1}{4} \cdot 4 + \left(1 - \frac{1}{4}\right)} = 4{,}57\text{cm} \qquad \text{(2P)}$$

Zu 1.3



(3P)

Zu 1.4

Zwischen den Äquipotentialflächen müssen die Kapazitäten gleich sein, weil zwischen ihnen jeweils die gleiche Spannung U/4 liegt. Die Kapazitäten hängen sowohl vom Abstand als auch von der Fläche ab, wie die Formel für homogene Felder besagt: $C=\varepsilon \cdot A/l$. Bei einem Zylinderkondensator nimmt die Fläche $A=2r\pi h$ mit dem Radius ab, bei einem Kugelkondensator aber mit $A=4\pi r^2$ mit dem Quadrat des Radius, und das wird ausgeglichen mit dem Abstand: an der Innenelektrode sind deshalb die Äquipotentiallinien dichter als beim Zylinderkondensator. (4P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 7

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1, S.255-256, Beispiel 2 oder FS S.55-56 Beispiel 2

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{0{,}8\frac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}} = 636{,}9 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \qquad B_{Fe} = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe}} \cdot \frac{1}{1-\sigma}$$

$$l_{Fe} = 2a - 2c + b - c - \frac{f}{2} - l_L \qquad B_{Fe} = 0{,}8T \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{0{,}95} = 0{,}99T$$

$$l_{Fe} = (110 - 17 + 55 - 8{,}5 - 8{,}5 - 0{,}8)mm$$

$$l_{Fe} = 130{,}2mm \qquad \text{abgelesen: } H_{Fe} = 320\frac{A}{m}$$

$$\Theta = 636{,}9 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 0{,}8 \cdot 10^{-3}m + 320\frac{A}{m} \cdot 130 \cdot 10^{-3}m$$

$$\Theta = 509{,}5A + 41{,}6A$$

$$\Theta = I \cdot w = 551{,}1A$$

$$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{551{,}1A}{500}$$

$$I = 1{,}10A$$ (13P)

Zu 2.2 Bd.1, S.271-274 oder FS S. 59, Herleitung nach S. 274:

$$\Phi_L^{**} = (1-\sigma) \cdot \Phi_{Fe}^{**}$$

$$B_L^{**} \cdot A_L = (1-\sigma) \cdot B_{Fe}^{**} \cdot A_{Fe}$$

$$B_L^{**} = (1-\sigma) \cdot B_{Fe}^{**} \cdot \frac{A_{Fe}}{A_L}$$

$$B_L^{**} = (1-\sigma) \cdot \frac{\frac{A_{Fe}}{A_K}}{\frac{A_L}{A_K}} \cdot B_{Fe}^{**}$$

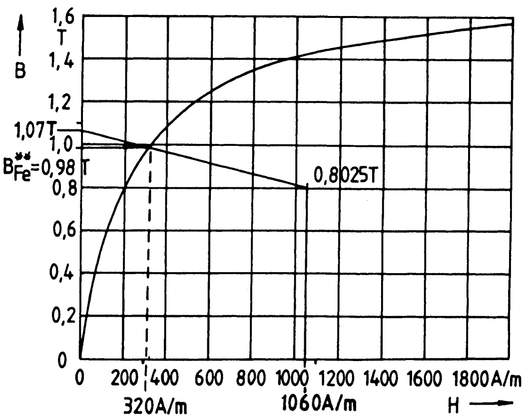
$$B_0^{**} = B_{Fe}^{**} = \frac{B_L^{**}}{(1-\sigma) \cdot f_{Fe}}$$

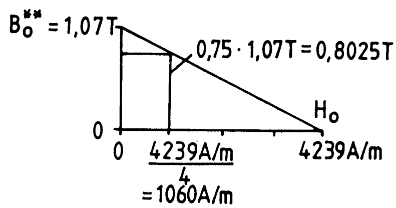
$$B_0^{**} = \frac{\mu_0 \cdot \Theta}{l_L \cdot (1-\sigma) \cdot f_{Fe}}$$

$$B_0^{**} = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am} \cdot 551{,}1A}{0{,}8 \cdot 10^{-3}m \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}85} = 1{,}07T$$

$$H_0 = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{551{,}1A}{130{,}2 \cdot 10^{-3}m} = 4239\frac{A}{m}$$

abgelesen: $B_{Fe}^{**} = 0{,}98T$





$$B_L^{**} = (1-\sigma) \cdot f_{Fe} \cdot B_{Fe}^{**} = 0{,}95 \cdot 0{,}85 \cdot 0{,}98T = 0{,}79T \text{, d.h. } 0{,}8T$$ (12P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 7

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S. 280-282, Gl. 3.254-3.256 oder FS S. 61

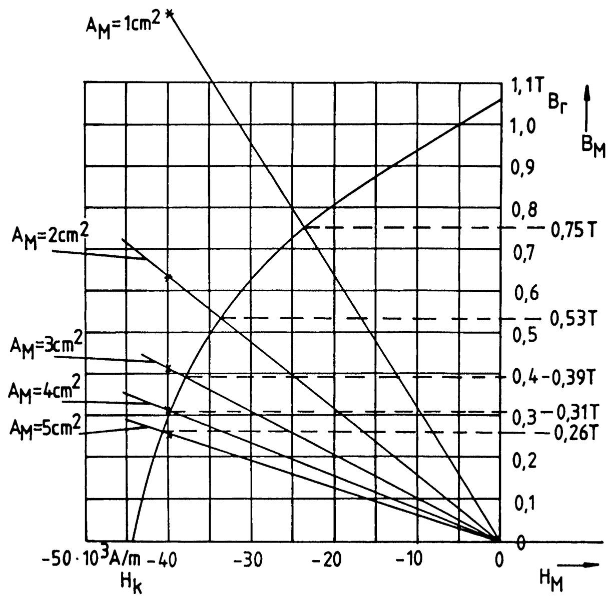
$$B_M = -\frac{\mu_0}{N} \cdot H_M = -\frac{\mu_0 \cdot l_M \cdot A_L}{l_L \cdot A_M} \cdot H_M$$

mit $N = \frac{l_L}{l_M} \cdot \frac{A_M}{A_L}$

$$B_M = -\frac{1{,}256 \cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am} \cdot 5 \cdot 10^{-2}\,m \cdot 1\,cm^2}{2 \cdot 10^{-3}\,m \cdot A_M} \cdot H_M = m \cdot H_M$$

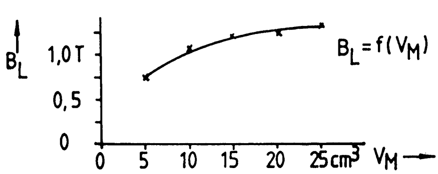
$$B_L = \frac{A_M}{A_L} \cdot B_M$$

A_M	cm^2	1	2	3	4	5
m	10^{-6}Vs/Am	– 31,4	– 15,7	– 10,5	– 7,85	– 6,28
B_{M40}	T	1,256	0,628	0,419	0,314	0,251
abgelesen: B_M	T	0,75	0,53	0,39	0,31	0,26
B_L	T	0,75	1,06	1,17	1,24	1,30
V_M	cm^3	5	10	15	20	25



(20P)

Zu 3.2



(5P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 7

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S. 231-232, Gl.3.176 oder FS S. 50

$$\Phi_1 = B_1 \cdot A_1$$

$$B_1 = \mu_0 \cdot H_1$$

$$\text{mit} \qquad H_1 = \frac{\Theta_1}{l_1} = \frac{i_1 \cdot w_1}{l_1} \qquad \text{aus} \qquad \Theta_1 = H_1 \cdot l_1$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot w_1}{l_1}$$

$$A_1 = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4}$$

$$\Phi_1(t) = \frac{\mu_0 \cdot w_1}{l_1} \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot i_1(t)$$ (6P)

Zu 4.2 Bd. 1, S. 324-325 oder FS S. 75

$$u_2(t) = \frac{d\Psi_{12}}{dt} = w_2 \cdot \frac{d\Phi_{12}}{dt}$$

$$\Phi_{12} = k_1 \cdot \Phi_1$$

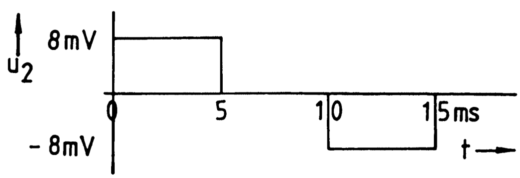
$$\Phi_{12} = \frac{A_2}{A_1} \cdot \Phi_1 = \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \frac{4}{\pi \cdot d_1^2} \cdot \Phi_1 = \frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \Phi_1$$

$$u_2(t) = \frac{d_2^2}{d_1^2} \cdot \frac{\mu_0 \cdot w_1}{l_1} \cdot \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot w_2 \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$u_2(t) = \frac{\mu_0 \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot \pi \cdot d_2^2}{4 \cdot l_1} \cdot \frac{di_1}{dt}$$

$$|u_2| = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot 800 \cdot 100 \cdot 3{,}14 \cdot \left(10^{-2}m\right)^2}{4 \cdot 20 \cdot 10^{-2}m} \cdot \frac{1A}{5 \cdot 10^{-3}s}$$

$$|u_2| = 7{,}9mV$$



(16P)

Zu 4.3 Mit Hilfe der Formel für u_2 können die Fragen beantwortet werden:

- Wird die Windungszahl w_2 verdoppelt, dann ergibt sich die doppelte Spannung.
- Wird der Durchmesser d_2 verdoppelt, dann ergibt sich die vierfache Spannung.
- Wird die Länge l_2 verdoppelt, dann bleibt die Spannung gleich. (3P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 8

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.181, Gl 3.57

$$E_1(r) = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r1}\cdot h\cdot r} \quad \text{für} \quad r_0 \le r \le r_1$$

$$E_2(r) = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r2}\cdot h\cdot r} \quad \text{für} \quad r_1 \le r \le r_2$$

$$E_3(r) = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r3}\cdot h\cdot r} \quad \text{für} \quad r_2 \le r \le r_3 \qquad (6P)$$

Zu 1.2 Bd.1, S.190 oder FS S.39

$$U_1 = \int_{r_0}^{r_1} E_1\cdot dr = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r1}\cdot h}\cdot\int_{r_0}^{r_1}\frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r1}\cdot h}\cdot\ln\frac{r_1}{r_0}$$

$$U_2 = \int_{r_1}^{r_2} E_2\cdot dr = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r2}\cdot h}\cdot\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r2}\cdot h}\cdot\ln\frac{r_2}{r_1}$$

$$U_3 = \int_{r_2}^{r_3} E_2\cdot dr = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r3}\cdot h}\cdot\int_{r_2}^{r_3}\frac{dr}{r} = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot\varepsilon_{r3}\cdot h}\cdot\ln\frac{r_3}{r_2}$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3 = \frac{Q}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot h}\cdot\left(\frac{\ln\frac{r_1}{r_0}}{\varepsilon_{r1}} + \frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_{r2}} + \frac{\ln\frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_{r3}}\right) \qquad (8P)$$

Zu 1.3 Bd.1, S.193, Gl.3.87 oder FS S.40

$$C = \frac{Q}{U} = \frac{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0\cdot h}{\frac{\ln\frac{r_1}{r_0}}{\varepsilon_{r1}} + \frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_{r2}} + \frac{\ln\frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_{r3}}}$$

$$\frac{C}{h} = \frac{2\cdot\pi\cdot\varepsilon_0}{\frac{\ln\frac{r_1}{r_0}}{\varepsilon_{r1}} + \frac{\ln\frac{r_2}{r_1}}{\varepsilon_{r2}} + \frac{\ln\frac{r_3}{r_2}}{\varepsilon_{r3}}} \qquad (7P)$$

Zu 1.4

$$\frac{C}{h} = \frac{2\cdot\pi\cdot 8{,}8542\cdot 10^{-12}\,\frac{As}{Vm}}{\frac{\ln\frac{18}{12}}{2} + \frac{\ln\frac{24}{18}}{4} + \frac{\ln\frac{36}{24}}{8}} = \frac{2\cdot\pi\cdot 8{,}8542\cdot 10^{-12}\,\frac{As}{Vm}}{\frac{\ln 1{,}5}{2} + \frac{\ln 1{,}33}{4} + \frac{\ln 1{,}5}{8}}$$

$$\frac{C}{h} = 171\cdot 10^{-12}\,\frac{F}{m} = 171\,\frac{pF}{m} \qquad (4P)$$

Lösungen zum Aufgabenblatt 8

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250, 255, 263, 269-271 Aufgabenstellung 2 oder FS S.57-59

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot \Theta}{l_L} = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot \Theta}{0{,}5 \cdot 10^{-3} m} \qquad H_0 = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{\Theta}{101{,}5 \cdot 10^{-3} m}$$

mit $l_{Fe} = 2a - 2c + b - c - \frac{f}{2} - l_L$ Bd.1, S.256, Gl 3.218 oder FS S.56

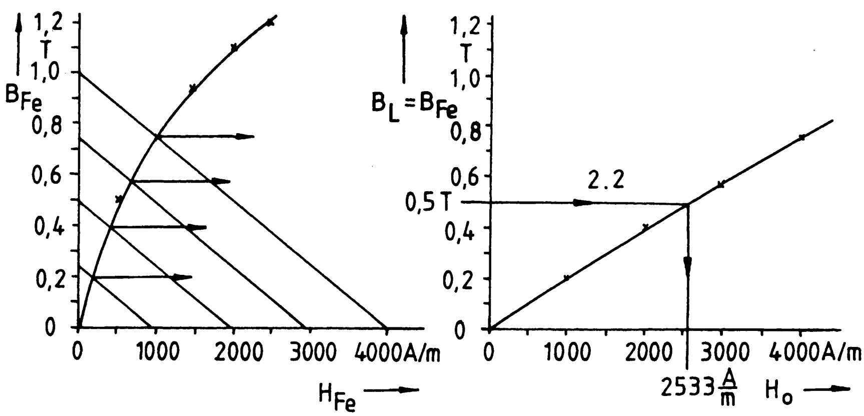
$$l_{Fe} = (84 - 12 + 42 - 6 - 6 - 0{,}5)mm = 101{,}5mm$$

Θ	A	100	200	300	400
B_0	T	0,251	0,502	0,754	1,005
H_0	A/m	985	1970	2956	3941

Bd.1, S.269 oder FS S.58

Nachdem die Magnetisierungskennlinie gezeichnet ist, werden die parallel verschobenen Achenabschnittsgeraden eingetragen.

In den Schnittpunkten werden die magnetischen Induktionen B_L=B_{Fe} abgelesen und in das Diagramm B_L=f(H_0) übertragen:



(18P)

Zu 2.2 Bei B_L=0,5T wird abgelesen (s. Diagramm): H_0=2533A/m.

Mit

$$\Theta = H_0 \cdot l_{Fe} = I \cdot w$$

ergibt sich der Strom durch die Spule

$$I = \frac{H_0 \cdot l_{Fe}}{w} = \frac{2533 \frac{A}{m} \cdot 101{,}5 \cdot 10^{-3} m}{250}$$

$$I = 1{,}03A$$ (7P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 8

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S. 322, Beispiel 2 oder FS S.71 und 74

Mit $R_m = \frac{1}{2} \cdot \frac{4 \cdot 1}{\mu \cdot A} = \frac{2 \cdot 1}{\mu \cdot A}$ ergibt sich

$$L_1 = \frac{w_1^2}{R_m} = \frac{w_1^2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{2 \cdot 1} = \frac{250^2 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{Vs}{Am} \cdot 2000 \cdot 1 \cdot 10^{-2} m}{2 \cdot 4 \cdot 10^{-2} m} = 196 mH$$

mit $R_m = \frac{w_1^2}{L_1}$ ergeben sich

$$L_2 = \frac{w_2^2}{R_m} = \left(\frac{w_2}{w_1}\right)^2 \cdot L_1 = \left(\frac{150}{250}\right)^2 \cdot 196 mH = 70{,}6 mH$$

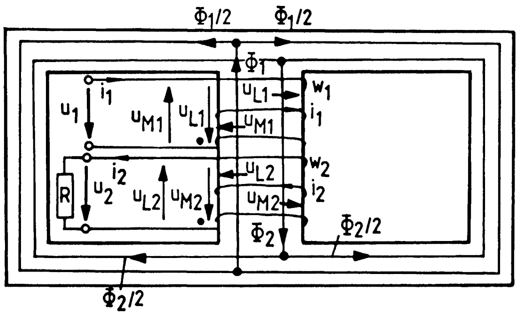
$$M = M_{12} = k_1 \cdot \frac{w_1 \cdot w_2}{R_m} = \frac{w_1 \cdot w_2}{R_m} = \frac{w_2}{w_1} \cdot L_1 = \frac{150}{250} \cdot 196 mH = 118 mH = M_{21}$$

mit $k_1 = k_2 = 1$

Kontrolle: $M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} = \sqrt{L_1 \cdot L_2} = \sqrt{196 mH \cdot 70{,}6 mH} = 118 mH$

mit $k=1$ (7P)

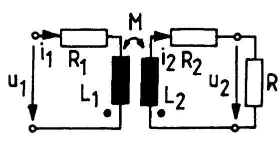
Zu 3.2 Bd.1, S. 333, Bilder 3.205 und 3.206, Gl. 3.354 oder FS S.80



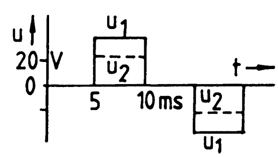
$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt} = u_{R1} + u_{L1} - u_{M1}$$

$$u_2 = -R_2 \cdot i_2 - L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt} = -u_{R2} - u_{L2} + u_{M2}$$

$$u_2 = R \cdot i_2$$ (12P)



Zu 3.3 Mit $R_1=0$, $R_2=0$, $i_2=0$ und $\frac{di_2}{dt} = 0$ vereinfachen sich die Transformator-Gleichungen:



$$u_1 = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt}, \quad |u_1| = L_1 \cdot \left|\frac{di_1}{dt}\right| = 196 \cdot 10^{-3} \frac{Vs}{A} \cdot \frac{1A}{5 \cdot 10^{-3} s} = 39{,}2 V$$

$$u_2 = M \cdot \frac{di_1}{dt}, \quad |u_2| = M \cdot \left|\frac{di_1}{dt}\right| = 118 \cdot 10^{-3} \frac{Vs}{A} \cdot \frac{1A}{5 \cdot 10^{-3} s} = 23{,}6 V$$ (6P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 8

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S. 359 oder FS S.83

Berechnung von B_3, wenn die Leiter 1 und 2 stromdurchflossen sind:

$$\vec{B}_3 = \vec{B}_{13} + \vec{B}_{23} \quad \text{mit} \quad B_3 = B_{13} + B_{23} = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot a} + \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot a}$$

$$B_3 = \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 2A}{2\cdot\pi\cdot 2m} + \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 1A}{2\cdot\pi\cdot 1m}$$

$$B_3 = 0{,}2\mu T + 0{,}2\mu T = 0{,}4\mu T \qquad (5P)$$

Berechnung von B_2, wenn die Leiter 1 und 3 stromdurchflossen sind:

$$\vec{B}_2 = \vec{B}_{12} + \vec{B}_{32} \quad \text{mit} \quad B_2 = B_{12} + B_{32} = \frac{\mu_0 \cdot I_1}{2\cdot\pi\cdot a} + \frac{\mu_0 \cdot I_3}{2\cdot\pi\cdot a}$$

$$B_2 = \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 2A}{2\cdot\pi\cdot 1m} + \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 4A}{2\cdot\pi\cdot 1m}$$

$$B_2 = 0{,}4\mu T + 0{,}8\mu T = 1{,}2\mu T \qquad (5P)$$

Berechnung von B_1, wenn die Leiter 2 und 3 stromdurchflossen sind:

$$\vec{B}_1 = \vec{B}_{31} + \vec{B}_{21} \quad \text{mit} \quad B_1 = B_{31} - B_{21} = \frac{\mu_0 \cdot I_3}{2\cdot\pi\cdot 2\cdot a} - \frac{\mu_0 \cdot I_2}{2\cdot\pi\cdot a}$$

$$B_1 = \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 4A}{2\cdot\pi\cdot 2m} - \frac{1{,}256\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}\cdot 1A}{2\cdot\pi\cdot 1m}$$

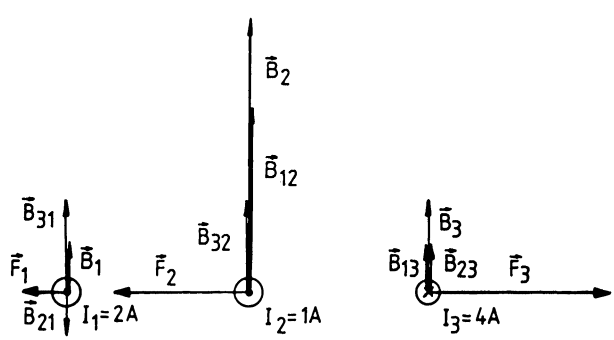
$$B_1 = 0{,}4\mu T - 0{,}2\mu T = 0{,}2\mu T \qquad (5P)$$

Zu 4.2 Bd.1, S.359 oder FS S.83

$$\frac{F_3}{l} = B_3 \cdot I_3 = 0{,}4\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{m^2}\cdot 4A = 1{,}6\frac{\mu N}{m}$$

$$\frac{F_2}{l} = B_2 \cdot I_2 = 1{,}2\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{m^2}\cdot 1A = 1{,}2\frac{\mu N}{m}$$

$$\frac{F_1}{l} = B_1 \cdot I_1 = 0{,}2\cdot 10^{-6}\frac{Vs}{m^2}\cdot 2A = 0{,}4\frac{\mu N}{m} \qquad (10P)$$



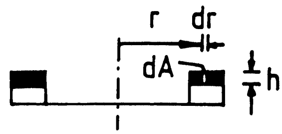
Lösungen zum Aufgabenblatt 9

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.323, Beispiel 3 in Analogie zum magnetischen Feld:
Parallelschaltung von 3/4-Ringen mit dem elektrischen Leitwert dG

$$G = \int_i^a dG$$

$$dG = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{dA}{l} = \frac{1}{\rho} \cdot \frac{h \cdot dr}{\frac{3}{2} \cdot r \cdot \pi} = \frac{2 \cdot h \cdot dr}{3 \cdot \rho \cdot \pi \cdot r}$$



mit $dA = h \cdot dr$ und $l = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot r \cdot \pi = \frac{3}{2} \cdot r \cdot \pi$

$$G = \frac{2 \cdot h}{3 \cdot \rho \cdot \pi} \cdot \int_{r_i}^{r_a} \frac{dr}{r} = \frac{2 \cdot h}{3 \cdot \rho \cdot \pi} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} \quad \text{bzw.} \quad R = \frac{1}{G} = \frac{3 \cdot \rho \cdot \pi}{2 \cdot h} \cdot \frac{1}{\ln\frac{r_a}{r_i}} \qquad (10P)$$

$$R = \frac{3 \cdot 65 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \pi}{2 \cdot 0{,}755 \cdot 10^{-3} mm} \cdot \frac{1}{\ln\frac{6mm}{4mm}} = \frac{3 \cdot 65 \cdot 10^{-3} m}{2 \cdot 0{,}755 \cdot 10^{-3} m} \cdot \frac{1}{\ln 1{,}5} \Omega$$

$R_{exakt} = 1000{,}5851\Omega$, d.s. $1k\Omega$ (2P)

Zu 1.2 Bd.1, S.16, Gl.1.22 oder FS S.2

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad \text{mit} \quad l = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot r_m \cdot \pi = \frac{3}{4} \cdot 2 \cdot \frac{r_a + r_i}{2} \cdot \pi = \frac{3 \cdot (r_a + r_i) \cdot \pi}{4} \quad \text{und} \quad A = (r_a - r_i) \cdot h$$

$$R = \frac{3 \cdot \rho \cdot \pi}{2 \cdot h} \cdot \frac{r_a + r_i}{2 \cdot (r_a - r_i)} \qquad (8P)$$

$$R = \frac{3 \cdot 65 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \cdot \pi}{2 \cdot 0{,}755 \cdot 10^{-3} mm} \cdot \frac{(6+4)mm}{2 \cdot (6-4)mm} = \frac{3 \cdot 65 \cdot 10^{-3} m \cdot 10}{2 \cdot 0{,}755 \cdot 10^{-3} m \cdot 4} \Omega$$

$R_{angenähert} = 1014{,}2559\Omega$,d.s.$1{,}014\Omega$ (2P)

Zu 1.3 $R_{exakt} \mathrel{\hat{=}} 100\%$

$$R_{angenähert} \mathrel{\hat{=}} 100\% \cdot \frac{R_{angenähert}}{R_{exakt}} = 100\% \cdot \frac{\frac{3 \cdot \rho \cdot \pi}{2 \cdot h} \cdot \frac{r_a + r_i}{2 \cdot (r_a - r_i)}}{\frac{3 \cdot \rho \cdot \pi}{2 \cdot h} \cdot \frac{1}{\ln\frac{r_a}{r_i}}} = 100\% \cdot \frac{r_a + r_i}{2 \cdot (r_a - r_i)} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i}$$

Die Formel für die Abweichung lautet: $100\% \cdot \frac{r_a + r_i}{2 \cdot (r_a - r_i)} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} - 100\%$ (2P)

und die Abweichung beträgt: $100\% \cdot \frac{10mm}{4mm} \cdot \ln 1{,}5 - 100\% = 1{,}36628\%$.

Der angenähert berechnete Widerstand ist um 1,4% größer als der exakt berechnete. (1P)

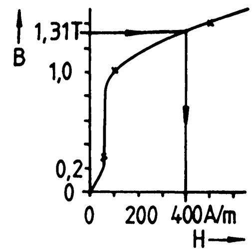
Lösungen zum Aufgabenblatt 9

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1, S.255-256, Beispiel 2 oder FS S.55-56 Beispiel 2

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{1\frac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}} = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$$



$$B_{Fe} = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe}} \cdot \frac{1}{1-\sigma} = 1\mathrm{T} \cdot \frac{1}{0{,}85} \cdot \frac{1}{0{,}9} = 1{,}31\mathrm{T}$$

abgelesen: $H_{Fe} = 400\frac{A}{m}$ Bd.1, S.256, Gl 3.218 oder FS S.56

$$l_{Fe} = 2a - 2c + b - c - \frac{f}{2} - l_L = (110 - 17 + 55 - 8{,}5 - 8{,}5 - 1)\mathrm{mm} = 130\mathrm{mm}$$

$$\Theta = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 1 \cdot 10^{-3}\mathrm{m} + 400\frac{A}{m} \cdot 130 \cdot 10^{-3}\mathrm{m} = 796{,}2\mathrm{A} + 52{,}0\mathrm{A} = 848{,}2\mathrm{A}$$

$\Theta = I \cdot w = 848\mathrm{A}$ $\quad I = \frac{\Theta}{w} = \frac{848\mathrm{A}}{1000} = 848\mathrm{mA}$ (9P)

Stromdichteberechnung:

Fensterfläche: $A_F = (e - l_L) \cdot g = (38 - 1)\mathrm{mm} \cdot 10{,}5\mathrm{mm} = 388{,}5\mathrm{mm}^2$

Quadratfläche: $\frac{A_F}{w} = \frac{388{,}5\mathrm{mm}^2}{1000} = 0{,}3885\mathrm{mm}^2$

Kreisfläche: $\frac{\text{Quadratfläche}}{\text{Kreisfläche}} = \frac{d^2}{\frac{d^2 \cdot \pi}{4}} = \frac{4}{\pi} = 1{,}27$

Drahtfläche: $A = \frac{0{,}3885\mathrm{mm}^2}{1{,}27} = 0{,}306\mathrm{mm}^2$, abgerundet wegen der Isolation auf $0{,}3\mathrm{mm}^2$

Stromdichte: $S = \frac{I}{A} = \frac{0{,}848\mathrm{A}}{0{,}3\mathrm{mm}^2} = 2{,}83\frac{A}{\mathrm{mm}^2} > 2\frac{A}{\mathrm{mm}^2}$ nicht zulässig (6P)

Zu 2.2 $H_L = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$ $\quad H_{Fe} = 400\frac{A}{m}$ $\quad l_{Fe} = (130 - 20 + 65 - 10 - 10 - 1)\mathrm{mm} = 154\mathrm{mm}$

$$\Theta = 796{,}2 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 1 \cdot 10^{-3}\mathrm{m} + 400\frac{A}{m} \cdot 154 \cdot 10^{-3}\mathrm{m} = 796{,}2\mathrm{A} + 61{,}6\mathrm{A} = 857{,}8\mathrm{A}$$

$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{858\mathrm{A}}{1000} = 858\mathrm{mA}$ (6P)

$A_F = (e - l_L) \cdot g = 44\mathrm{mm} \cdot 12{,}5\mathrm{mm} = 550\mathrm{mm}^2$ $\quad \frac{A_F}{w} = \frac{550\mathrm{mm}^2}{1000} = 0{,}550\mathrm{mm}^2$

$A = \frac{0{,}550\mathrm{mm}^2}{1{,}27} = 0{,}433\mathrm{mm}^2$ $\quad S = \frac{I}{A} = \frac{0{,}858\mathrm{A}}{0{,}43\mathrm{mm}^2} = 1{,}995\frac{A}{\mathrm{mm}^2} \approx 2\frac{A}{\mathrm{mm}^2}$ (4P)

abgerundet auf $0{,}43\mathrm{mm}^2$ $\quad$ zulässig, d.h. an der Grenze der thermischen Belastung

Lösungen zum Aufgabenblatt 9

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S.322, Beispiel 2 und S.338, Gl.3.369 oder FS S.71, 74 und 80

Mit $$R_m = \frac{6 \cdot 1}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} = \frac{6 \cdot 5 \cdot 10^{-2}\,\text{m}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\,\frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot 1500 \cdot 1{,}2 \cdot 10^{-4}\,\text{m}^2} = 1{,}327 \cdot 10^6\,\frac{\text{A}}{\text{Vs}}$$

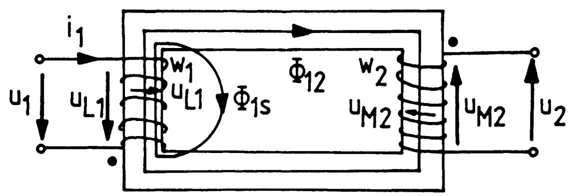
ergeben sich

$$L_1 = \frac{w_1^2}{R_m} = \frac{400^2}{1{,}327 \cdot 10^6\,\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 120{,}6\,\text{mH} \qquad \text{(2P)}$$

$$L_2 = \frac{w_2^2}{R_m} = \frac{200^2}{1{,}327 \cdot 10^6\,\frac{\text{A}}{\text{Vs}}} = 30{,}1\,\text{mH} \qquad \text{(2P)}$$

$$M = k \cdot \sqrt{L_1 \cdot L_2} = 0{,}8 \cdot \sqrt{120{,}6\,\text{mH} \cdot 30{,}1\,\text{mH}} = 48{,}2\,\text{mH} \qquad \text{(2P)}$$

Zu 3.2 Bd.1, S. 333, Bilder 3.205 und 3.207, Gl.3.354 und 3.356 oder FS S.80



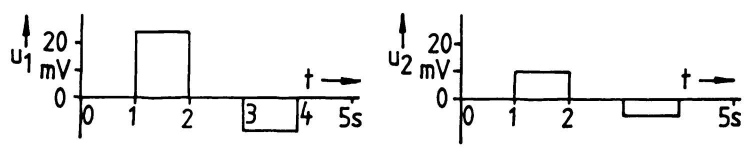
(5P)

$$u_1 = R_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} - M \cdot \frac{di_2}{dt} = u_{R1} + u_{L1} - u_{M1} \qquad u_1 = u_{L1} = L_1 \cdot \frac{di_1}{dt} \qquad \text{(3P)}$$

$$u_2 = -R_2 \cdot i_2 - L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} + M \cdot \frac{di_1}{dt} = -u_{R2} - u_{L2} + u_{M2} \qquad u_2 = u_{M2} = M \cdot \frac{di_1}{dt} \qquad \text{(3P)}$$

Zu 3.3

t	u_1	u_2
0...1s	$u_1 = 0$	$u_2 = 0$
1...2s	$u_1 = \frac{120{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{0{,}2\text{A}}{1\text{s}} = 24\,\text{mV}$	$u_2 = \frac{48{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{0{,}2\text{A}}{1\text{s}} = 9{,}64\,\text{mV}$
2...3s	$u_1 = 0$	$u_2 = 0$
3...4s	$u_1 = -\frac{120{,}6 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{0{,}1\text{A}}{1\text{s}} = -12\,\text{mV}$	$u_2 = -\frac{48{,}2 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{0{,}1\text{A}}{1\text{s}} = -4{,}82\,\text{mV}$
4...5s	$u_1 = 0$	$u_2 = 0$



(8P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 9

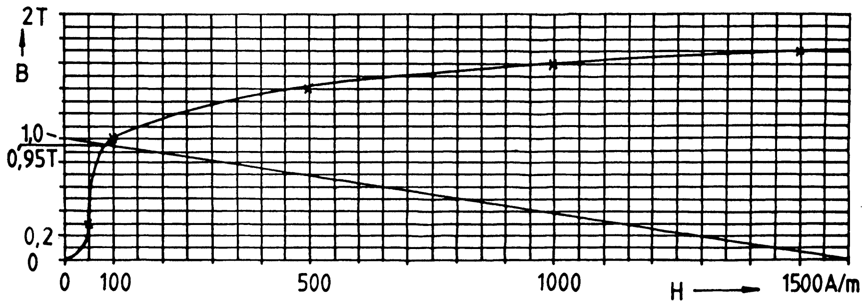
Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd.1, S.307, Bild 3.164, S. 271 Aufgabenstellung 2 oder FS S.70, Beispiel 2, S.57-59

$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot \Theta}{l_L} = \frac{1{,}256 \cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am} \cdot 2A \cdot 200}{0{,}5 \cdot 10^{-3}\,m} = 1{,}0T \qquad H_0 = \frac{\Theta}{l_{Fe}} = \frac{2A \cdot 200}{8 \cdot 10^{-2}\,m \cdot \pi} = 1592\,\frac{A}{m}$$

mit $\quad l_{Fe} = 2 \cdot \frac{r_a + r_i}{2} \cdot \pi = (r_a + r_i) \cdot \pi = 8cm \cdot \pi = 25{,}1cm$

Im Schnittpunkt wird abgelesen: $B_L = B_{Fe} = 0{,}95T$ (8P)



Zu 4.2 Energie im Luftspalt mit $\mu=\mu_0$ (Bd.1, S.347, Gl.3.387 oder FS S.82: linearer Verlauf)

$$W_{mL} = w'_{mL} \cdot V_L \quad \text{mit} \quad w'_{mL} = \frac{B_L^2}{2 \cdot \mu_0} \quad \text{und} \quad V_L = A_L \cdot l_L = (r_a - r_i) \cdot h \cdot l_L$$

$$W_{mL} = \frac{B_L^2 \cdot (r_a - r_i) \cdot h \cdot l_L}{2 \cdot \mu_0}$$

$$W_{mL} = \frac{\left(0{,}95\,\frac{Vs}{m^2}\right)^2 \cdot (5-3) \cdot 10^{-2}\,m \cdot 2 \cdot 10^{-2}\,m \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}\,m}{2 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6}\,\frac{Vs}{Am}} = 71{,}85mWs$$ (8P)

Zu 4.3 Energie im Eisen (Bd.1, S. 347 oder FS S.82: nichtlinearer eindeutiger Verlauf)

$W_{mFe} = w'_{mFe} \cdot V_{Fe}$

Energiedichte: Zwischen der Magnetisierungskurve und der B-Achse befinden sich ungefähr zehn Flächeneinheiten. $1\,\text{Flächeneinheit} \mathrel{\hat{=}} 0{,}1\,\frac{Vs}{m^2} \cdot 50\,\frac{A}{m} = 5\,\frac{Ws}{m^3}$,

die Energiedichte beträgt $\quad w'_{mFe} = 10 \cdot 5\,\frac{Ws}{m^3} = 50\,\frac{Ws}{m^3}$

$$V_{Fe} = A_{Fe} \cdot l_{Fe} = (r_a - r_i) \cdot h \cdot (r_a + r_i) \cdot \pi = (5-3)cm \cdot 2cm \cdot (5+3)cm \cdot \pi = 100{,}5 \cdot 10^{-6}\,m^3$$

$$W_{mFe} = 50\,\frac{Ws}{m^3} \cdot 100{,}5 \cdot 10^{-6}\,m^3 = 5{,}03mWs$$ (8P)

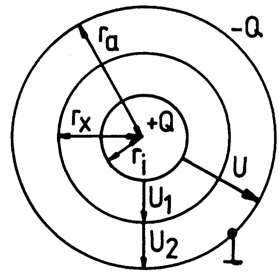
Die Gesamtenergie des magnetischen Kreises ist gleich der Summe der Energie im Luftspalt und der Energie im Eisen:

$W = W_{mL} + W_{mFe} = 71{,}85mWs + 5{,}03mWs = 76{,}88mWs$ d.s. 77mW (1P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 10

Aufgabe 1:

Zu 1.1 Nach Bd.1, S.190, Gl. 3.7 oder FS S.39



$$U_1 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_x}{r_i} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{\frac{r_a + r_i}{2}}{r_i} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a + r_i}{2 \cdot r_i}$$

mit $\quad r_x = r_i + \frac{r_a - r_i}{2} = \frac{2r_i + r_a - r_i}{2} = \frac{r_a + r_i}{2}$

Aus $\quad U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} \quad$ folgt $\quad \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \frac{U}{\ln\frac{r_a}{r_i}}$

eingesetzt, ergibt sich

$$U_1 = \frac{\ln\frac{r_a + r_i}{2 \cdot r_i}}{\ln\frac{r_a}{r_i}} \cdot U$$ (13P)

Zu 1.2 $\quad U_1 = \frac{\ln\frac{(6+2)\text{cm}}{2 \cdot 2\text{cm}}}{\ln\frac{6\text{cm}}{2\text{cm}}} \cdot U = \frac{\ln 2}{\ln 3} \cdot 10\text{kV}$

$U_1 = 6{,}3\text{kV}$ (5P)

Zu 1.3 $\quad U_2 = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_x} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{\frac{r_a + r_i}{2}} = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{2 \cdot r_a}{r_a + r_i}$

Aus $\quad U = \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} \cdot \ln\frac{r_a}{r_i} \quad$ folgt $\quad \frac{Q}{2\pi\varepsilon h} = \frac{U}{\ln\frac{r_a}{r_i}}$

$$U_2 = \frac{\ln\frac{2 \cdot r_a}{r_a + r_i}}{\ln\frac{r_a}{r_i}} \cdot U$$ (5P)

$$U_2 = \frac{\ln\frac{2 \cdot 6\text{cm}}{(6+2)\text{cm}}}{\ln\frac{6\text{cm}}{2\text{cm}}} \cdot U = \frac{\ln 1{,}5}{\ln 3} \cdot 10\text{kV}$$

$U_2 = 3{,}6\text{kV}$

Kontrolle: $U = U_1 + U_2 = 6{,}3\text{kV} + 3{,}6\text{kV} = 10\text{kV}$ (2P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 10

Aufgabe 2:

Zu 2.1 Bd.1, S.250 Aufgabenstellung 1, S.268, Beispiel oder FS S.55 und 58 Beispiel

$$\Theta = H_L \cdot l_L + H_{Fe} \cdot l_{Fe}$$

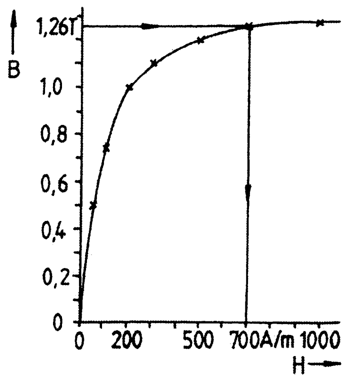
$$H_L = \frac{B_L}{\mu_o} = \frac{1{,}2\frac{V}{m^2}}{1{,}256 \cdot 10^{-6}\frac{Vs}{Am}} = 955{,}4 \cdot 10^3 \frac{A}{m}$$

$$B_{Fe} = B_L \cdot \frac{\frac{A_L}{A_K}}{\frac{A_{Fe}}{A_K}} = B_L \cdot \frac{1}{f_{Fe}}$$

$$B_{Fe} = 1{,}2T \cdot \frac{1}{0{,}95} = 1{,}26T$$

abgelesen: $H_{Fe} = 700\frac{A}{m}$

$$l_{Fe} = l_U + l_I = 4 \cdot a = 156mm$$

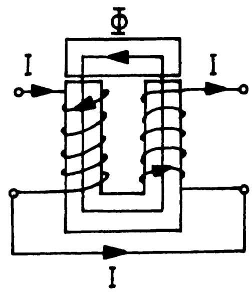


$$\Theta = 955{,}4 \cdot 10^3 \frac{A}{m} \cdot 2 \cdot 10^{-3} m + 700\frac{A}{m} \cdot 156 \cdot 10^{-3} m$$

$$\Theta = 1911A + 109A = 2020A$$ (10P)

Zu 2.2 Nach der Rechte-Hand-Regel (Daumen der rechten Hand in Richtung des Stroms halten, dann zeigen die gekrümmten Finger in Richtung des magnetischen Flusses) sind die beiden Halbspulen so in Reihe zu schalten, dass sich die Flüsse der stromdurchflossenen Halbspulen nicht aufheben, sondern überlagern. (4P)

$$I = \frac{\Theta}{w} = \frac{2020A}{1000} = 2{,}02A$$ (3P)



Zu 2.3 $\Phi = B_{Fe} \cdot A_{Fe}$

$$A_{Fe} = d \cdot c \cdot f_{Fe} = 20 \cdot 10^{-3} m \cdot 13 \cdot 10^{-3} m \cdot 0{,}95$$

$$A_{Fe} = 247 \cdot 10^{-6} m^2$$

$$\Phi = 1{,}26\frac{Vs}{m^2} \cdot 247 \cdot 10^{-6} m^2 = 311 \cdot 10^{-6} Vs$$

$$\Phi = 311\mu Vs$$ (4P)

$$L = \frac{w \cdot \Phi}{I} = \frac{1000 \cdot 311 \cdot 10^{-6} Vs}{2{,}02A}$$

$$L = 154mH$$ (4P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 10

Aufgabe 3:

Zu 3.1 Bd.1, S. 280-282, Gl. 3.254-3.256 oder FS S. 61

$$B_M = -\frac{\mu_0}{N} \cdot H_M \qquad \text{mit} \qquad N = \frac{l_L}{l_M} \cdot \frac{A_M}{A_L} = \frac{l_L}{l_M} \qquad \text{wegen} \qquad A_L = A_M$$

$$B_M = -\frac{\mu_0 \cdot l_M}{l_L} \cdot H_M$$

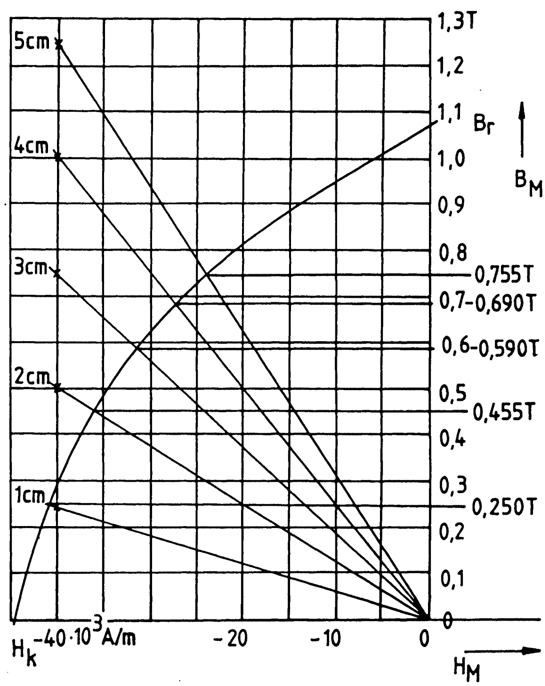
$$B_M = -\frac{1{,}256 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}} \cdot l_M}{2 \cdot 10^{-3}\,\text{m}} \cdot H_M$$

$$B_M = m \cdot H_M \qquad \text{für} \qquad H_M = -40 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} \qquad \text{ergibt sich}$$

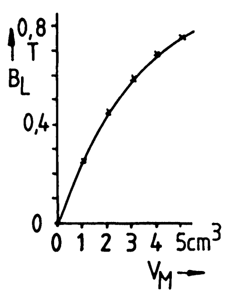
$$B_{M40} = m \cdot \left(-40 \cdot 10^3 \frac{\text{A}}{\text{m}} \right)$$

abgelesen in den Schnittpunkten: $B_M = B_L$

l_M	cm	0	1	2	3	4	5
m	$10^{-6} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$	0	-6,28	-12,56	-18,84	-25,12	-31,4
B_{M40}	T	0	0,251	0,502	0,754	1,005	1,256
$B_M = B_L$	T	0	0,250	0,455	0,590	0,690	0,755
V_M	cm^3	0	1	2	3	4	5



Zu 3.2



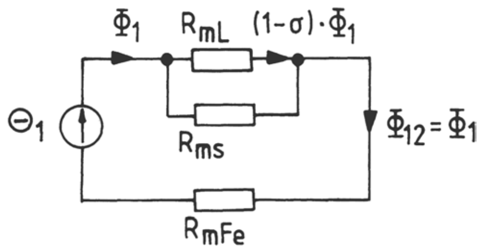
(5P) (20P)

Lösungen zum Aufgabenblatt 10

Aufgabe 4:

Zu 4.1 Bd. 1, S.319-322 oder FS S.73-74

Ersatzschaltbild:



$$M_{12} = \frac{\Psi_{12}}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_{12}}{I_1} = \frac{w_2 \cdot \Phi_1}{I_1}$$

aus $\Theta_1 = R_{mFe} \cdot \Phi_1 + R_{mL} \cdot (1-\sigma) \cdot \Phi_1 = \left[R_{mFe} + R_{mL} \cdot (1-\sigma)\right] \cdot \Phi_1$

$$\Phi_1 = \frac{\Theta_1}{R_{mFe} + R_{mL} \cdot (1-\sigma)} = \frac{I_1 \cdot w_1}{R_{mFe} + R_{mL} \cdot (1-\sigma)}$$

$$M_{12} = \frac{w_2}{I_1} \cdot \frac{I_1 \cdot w_1}{R_{mFe} + R_{mL} \cdot (1-\sigma)}$$

$$M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2}{R_{mFe} + R_{mL} \cdot (1-\sigma)}$$

mit $R_{mFe} = \dfrac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}$

und $R_{mL} = \dfrac{l_L}{\mu_0 \cdot A}$

$$M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2}{\dfrac{l_{Fe}}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A} + \dfrac{l_L}{\mu_0 \cdot A} \cdot (1-\sigma)}$$

$$M_{12} = \frac{w_1 \cdot w_2 \cdot \mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}{l_{Fe} + (1-\sigma) \cdot l_L \cdot \mu_r} = M_{21} = M \qquad \text{(18P)}$$

Zu 4.2 Die Gegeninduktivitäten sind gleich, weil die Permeabilität konstant ist (siehe Bd. 1, S. 320, Gl. 3.340 oder FS S.73).
Außerdem ist der magnetische Kreis symmetrisch aufgebaut. (2P)

Zu 4.3
$$M = \frac{400 \cdot 1000 \cdot 1{,}256 \cdot 10^{-6} \,\dfrac{Vs}{Am} \cdot 2000 \cdot 9 \cdot 10^{-4}\,m^2}{20 \cdot 10^{-2}\,m + (1-0{,}1) \cdot 1 \cdot 10^{-3}\,m \cdot 2000}$$

$$M = 452\,mH \qquad \text{(5P)}$$

http://www.springer.com/978-3-658-09087-6

Elektrotechnik für Ingenieure - Klausurenrechnen
Aufgaben mit ausführlichen Lösungen
Weißgerber, W.
2015, VII, 216 S. 331 Abb. Mit 160 Klausuraufgaben.,
Softcover
ISBN: 978-3-658-09087-6