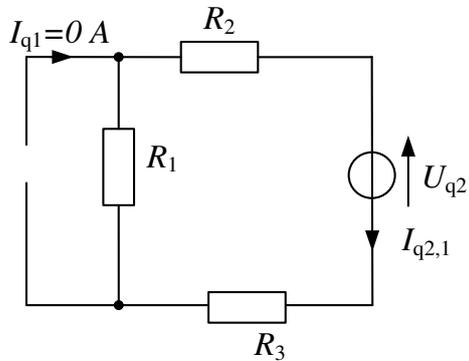


**Lösung 1:**

a) Wirkung der Spannungsquelle

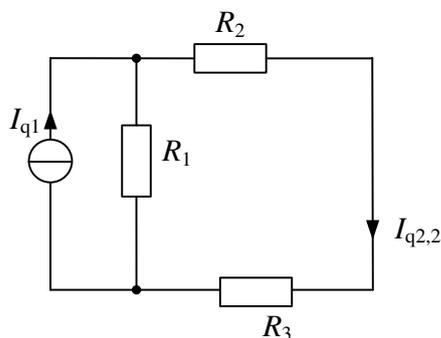


(2P)

$$R_{g,1} = R_1 + R_2 + R_3 = 3 \Omega + 5 \Omega + 4 \Omega = 12 \Omega \quad (2P)$$

$$I_{q2,1} = \frac{U_{q2}}{R_{g,1}} = \frac{6 V}{12 \Omega} = 0,5 A \quad (2P)$$

b) Wirkung der Stromquelle



(2P)

$$R_{g,2} = \frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3 \Omega (5 \Omega + 4 \Omega)}{3 \Omega + 5 \Omega + 4 \Omega} = 2,25 \Omega \quad (2P)$$

$$U_{q1,2} = R_{g,2} \cdot I_{q1} = 2,25 \Omega \cdot 4 A = 9 V$$

$$I_{q2,2} = \frac{U_{q1,2}}{R_2 + R_3} = \frac{9 V}{5 \Omega + 4 \Omega} = 1 A$$

oder

$$I_{q2,2} = \frac{R_{g,2}}{R_2 + R_3} \cdot I_{q1} = \frac{2,25}{5 + 4} \Omega \cdot 4 A = 1 A$$

(3P)

oder

$$I_{q2,2} = \frac{R_{g,2}}{R_2 + R_3} \cdot I_{q1} = \frac{2,25}{5 + 4} \Omega \cdot 4 A = 1 A$$

oder

$$\begin{aligned} I_{q2,2} &= \frac{R_{g,2}}{R_2 + R_3} \cdot I_{q1} = \frac{\frac{R_1(R_2 + R_3)}{R_1 + R_2 + R_3}}{R_2 + R_3} \cdot I_{q1} = \frac{R_1}{R_1 + R_2 + R_3} \cdot I_{q1} \\ &= \frac{3}{3 + 4 + 5} \Omega \cdot 4 A = 1 A \end{aligned}$$

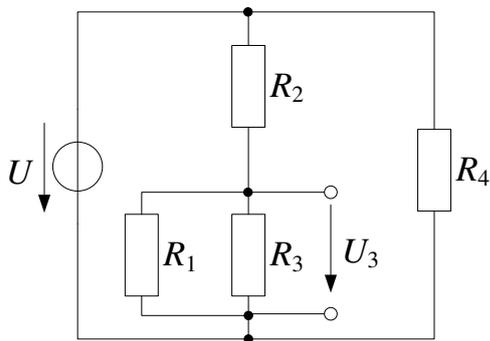
c) Superposition

$$I_{q2} = 0,5 A + 1 A = 1,5 A$$

(Folgefehler be-  
rücksichtigen) (2P)

**Lösung 2:**

Leerlaufspannung  $U_q$  bestimmen:



(3P)

Hinweis: Parallelschaltung von  $R_1$  und  $R_3$  richtig erkannt.

Berechnung von Leerlaufspannung  $U_3$

$$U_3 = \frac{(R_1 \parallel R_3)}{R_2 + (R_1 \parallel R_3)} U \quad (1P)$$

Parallelschaltung von  $R_1$  und  $R_3$ :

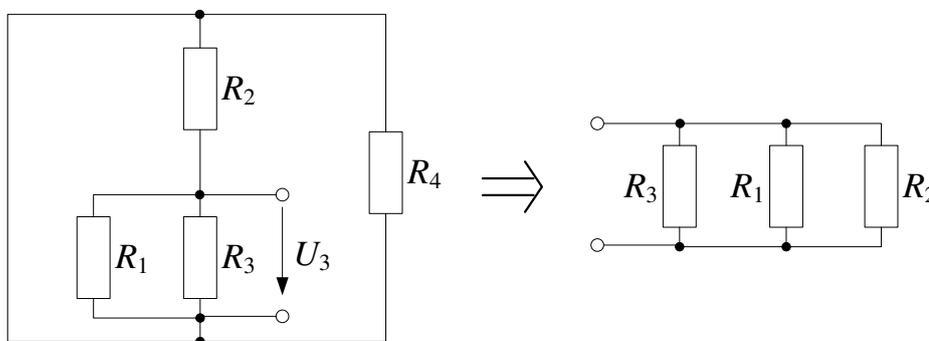
$$R_1 \parallel R_3 = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3} = \frac{18\Omega}{9\Omega} = 2\Omega \quad (1P)$$

Leerlaufspannung  $U_q = U_3$ :

$$U_q = \frac{2\Omega}{4\Omega + 2\Omega} 12V = 4V \quad (2P)$$

Innenwiderstand  $R_i$  bestimmen:

Weg 1:



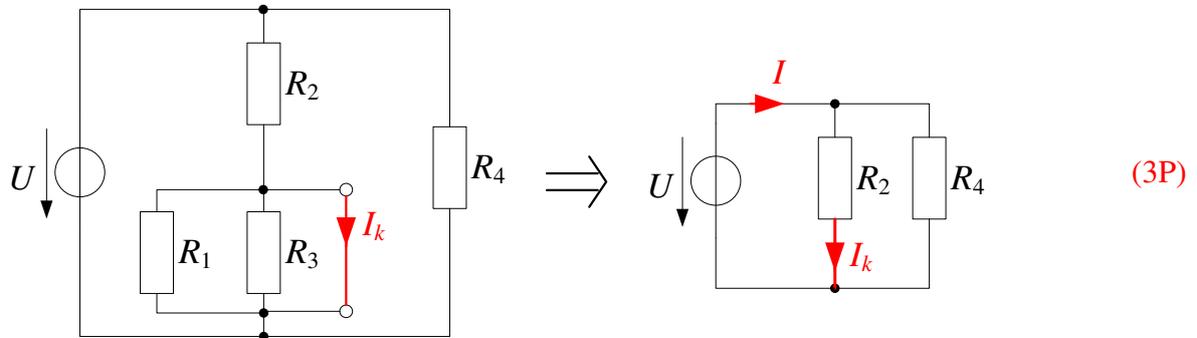
(4P)

Die Formel des Innenwiderstandes:

$$R_i = R_1 \parallel R_2 \parallel R_3 \quad (1P)$$

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{3}{4\Omega} \Leftrightarrow R_i = \frac{4}{3}\Omega = 1,33\Omega \quad (3P)$$

Weg 2:



Gesamtstrom  $I$  berechnen:

$$I = \frac{U}{R_2 \parallel R_4} = \frac{R_2 + R_4}{R_2 R_4} U \quad (1P)$$

Kurzschlussstrom  $I_k$  mit Stromteilerregel berechnen:

$$I_k = \frac{R_2 \parallel R_4}{R_2} I = \frac{R_4}{R_2 + R_4} \cdot \frac{R_2 + R_4}{R_2 R_4} U = \frac{1}{R_2} U = \frac{12V}{4\Omega} = 3A \quad (3P)$$

Innenwiderstand  $R_i$  bestimmen:

$$R_i = \frac{U_q}{I_k} = \frac{4V}{3A} = 1,33\Omega \quad (1P)$$

**Lösung 3:**

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des gegebenen Plattenkondensators aus (a) und kennzeichnen Sie die Platten mit den Ladungen entsprechend Bild (a).



- b) Wie groß ist die Kapazität des gesamten Plattenkondensators aus Bild (a)?

$$C_1 = C_2 = C_3 = C$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8.85 \cdot \frac{10^{-12} \text{ F}}{\text{m}} \cdot 5 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 155 \text{ pF} \quad (2\text{P})$$

$$C_g = C_1 + C_2 + C_3 = 3 \cdot C = 465 \text{ pF} \quad (1\text{P})$$

/6P

- c) Der Plattenkondensator aus Bild (a) ist auf  $U = 200\text{V}$  vorgeladen. Wie ändert sich die Spannung zwischen den Klemmen A und B, wenn das zweite Dielektrikum zwischen den Platten wie in Bild (b) ohne Änderung der Verschaltung entfernt wird?

$$C_2' = \epsilon_0 \cdot \epsilon_{r,\sigma} \cdot \frac{A}{d} = 8.85 \cdot \frac{10^{-12} \text{ F}}{\text{m}} \cdot 1 \cdot \frac{350 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2}{0,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 31 \text{ pF} \quad (1\text{P})$$

$$C_g = C_1 + C_2' + C_3 = 341 \text{ pF} \quad (1\text{P})$$

$$Q_g = \text{konst.} = 93 \text{ nC}$$

$$C_g' \cdot U' = C_g \cdot U$$

$$U' = \frac{C_g}{C_g'} \cdot U = 272,73 \text{ V} \quad (3\text{P})$$

(3P nur wenn Lösung vollständig richtig!)

/5P

- d) Welche Arbeit muss mindestens aufgebracht werden um das Dielektrikum zu entfernen?

$$E = \frac{1}{2} \cdot C_g \cdot U^2 = \frac{1}{2} \cdot 465 \text{ pF} \cdot (200 \text{ V})^2 = 9,3 \text{ } \mu\text{J} \quad (1\text{P})$$

$$E' = \frac{1}{2} \cdot C_g' \cdot U'^2 = \frac{1}{2} \cdot 341 \text{ pF} \cdot (272,73 \text{ V})^2 = 12,68 \text{ } \mu\text{J} \quad (1\text{P})$$

$$W = \Delta E = E' - E = 12,68 \text{ } \mu\text{J} - 9,3 \text{ } \mu\text{J} = 3,38 \text{ } \mu\text{J} \quad (2\text{P})$$

(2P nur wenn Lösung vollständig richtig!)

oder

$$E = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot U$$

$$W = \Delta E = E' - E = \frac{1}{2} \cdot Q \cdot \Delta U$$

oder

$$E = \frac{1}{2} \cdot Q^2 / C_g$$

$$E' = \frac{1}{2} \cdot Q^2 / C'_g$$

$$W = \Delta E = E' - E$$

/4P

/15P

**Aufgabe 4 – fremderregte Gleichstrommaschine:** ( /15P)

- Zeichnen Sie die magnetischen Feldlinien im Luftspalt in Abbildung 1 ein. Vergessen Sie nicht, die Richtung der Feldlinien mit einzuzuichnen. (1P)
- Zeichnen Sie die auf die Leiterschleife im Rotor wirkende Kraft in Abbildung 1 ein. (1P)
- Wie nennt man die auf die Leiterschleife wirkende Kraft? (1P)

**Lorentzkraft**

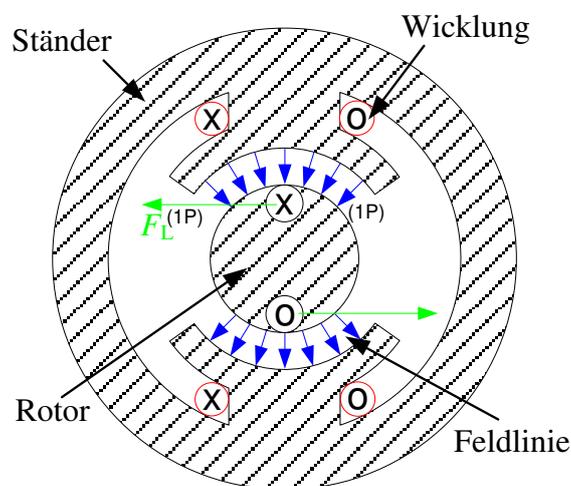
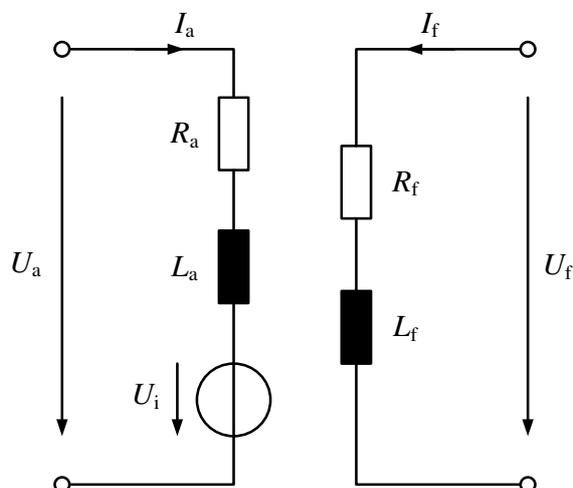


Abbildung 1: fremderregte Gleichstrommaschine

Gegeben sind in Abbildung 2 das Ersatzschaltbild und die technischen Daten einer fremderregten Gleichstrommaschine:



Elektrische Daten des Ankerkreises

$U_{a,N} = 220 \text{ V}$

$I_{a,N} = 21 \text{ A}$

Elektrische Daten des Erregerkreises

$U_{f,N} = 220 \text{ V}$

$I_{f,N} = 1,14 \text{ A}$

Mechanische Daten

$n_N = 1500 \text{ min}^{-1} (= 25 \text{ s}^{-1})$

$M_N = 25 \text{ Nm}$

Abbildung 2: Ersatzschaltbild und technische Daten

- d) Berechnen Sie die mechanische Leistung im angegebenen Nennpunkt.

$$P_{mech,N} = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N = 2\pi \cdot 25 \text{ s}^{-1} \cdot 25 \text{ Nm} = 3926,99 \text{ W} \quad (1P)$$

- e) Berechnen Sie die gesamte elektrische Leistung im angegebenen Nennpunkt.

$$P_{elek,N} = U_{a,N} \cdot I_{a,N} + U_{f,N} \cdot I_{f,N} = 220 \text{ V} \cdot 21 \text{ A} + 220 \text{ V} \cdot 1,14 \text{ A} = 4870,8 \text{ W} \quad (1P)$$

- f) Berechnen Sie den Wirkungsgrad der fremderregten Gleichstrommaschine im Nennpunkt.

$$\mu_N = \frac{P_{Nutz}}{P_{Aufwand}} = \frac{P_{mech,N}}{P_{elek,N}} = \frac{3926,99 \text{ W}}{4870,8 \text{ W}} = 0,8062 \quad (1P)$$

- g) Wie lautet die Drehzahl-Drehmoment-Gleichung für die fremderregte Gleichstrommaschine?

$$n(M) = \frac{U_a}{k \cdot \phi} - \frac{R_a \cdot 2\pi}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M \quad (1P)$$

$$\text{alternativ: } I_a = \frac{2\pi}{k \cdot \phi} \cdot M; U_i = k \cdot \phi \cdot n \text{ mit } U_a = I_a \cdot R_a + U_i \rightarrow n(M)$$

$$= \frac{U_a}{k \cdot \phi} - \frac{2\pi \cdot R_a}{(k \cdot \phi)^2} \cdot M$$

- h) Berechnen Sie die Maschinenkonstante  $k\phi$ .

$$k\phi = \frac{2\pi \cdot M_N}{I_{a,N}} \text{ berechnet über } M = \frac{k \cdot \phi}{2\pi} \cdot I_a \rightarrow \frac{2\pi \cdot 25 \text{ Nm}}{21 \text{ A}} = 7,48 \frac{\text{Nm}}{\text{A}} \quad (2P)$$

1P für die Berechnung der Formel

1P richtiges Ergebnis

- i) Berechnen Sie den Ankerwiderstand  $R_a$ .

$$R_a = \frac{U_{a,N} - U_{i,N}}{I_{a,N}} \text{ mit } U_{i,N} = \frac{P_{mech,N}}{I_{a,N}} \rightarrow \frac{220 \text{ V} - 187 \text{ V}}{21 \text{ A}} = 1,57 \Omega \quad (2P)$$

$$\text{alternativ } U_{i,N} = k\phi \cdot n_N = 7,48 \frac{\text{Nm}}{\text{A}} \cdot 25 \frac{1}{\text{s}} = 187 \text{ V}$$

alternativ über  $Mn - \text{Kennlinie im Nennpunkt aus Aufgabenteil j) und } R_a$

$$\begin{aligned} &= \frac{(k\phi)^2}{2\pi \cdot M_N} \cdot \left( \frac{U_{a,N}}{k\phi} - n_N \right) = \frac{(k\phi)^2}{2\pi \cdot M_N} \cdot (n_{0,N} - n_N) \\ &= \frac{\left( 7,48 \frac{\text{Nm}}{\text{A}} \right)^2}{2\pi \cdot 25 \text{ Nm}} \cdot \left( 29,41 \frac{1}{\text{s}} - 25 \frac{1}{\text{s}} \right) = 1,57 \frac{\text{Nm}}{\text{A}^2 \text{s}} = 1,57 \Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{alternativ } R_a &= \frac{P_{\text{elek},a,N} - P_{\text{mech},N}}{I_{a,N}^2} = \frac{U_{a,N} \cdot I_{a,N} - 3926,99 \text{ W}}{(21 \text{ A})^2} \\ &= \frac{4620 \text{ W} - 3926,99 \text{ W}}{(21 \text{ A})^2} = 1,57 \Omega \end{aligned}$$

1P für die Berechnung der Formel

1P richtiges Ergebnis

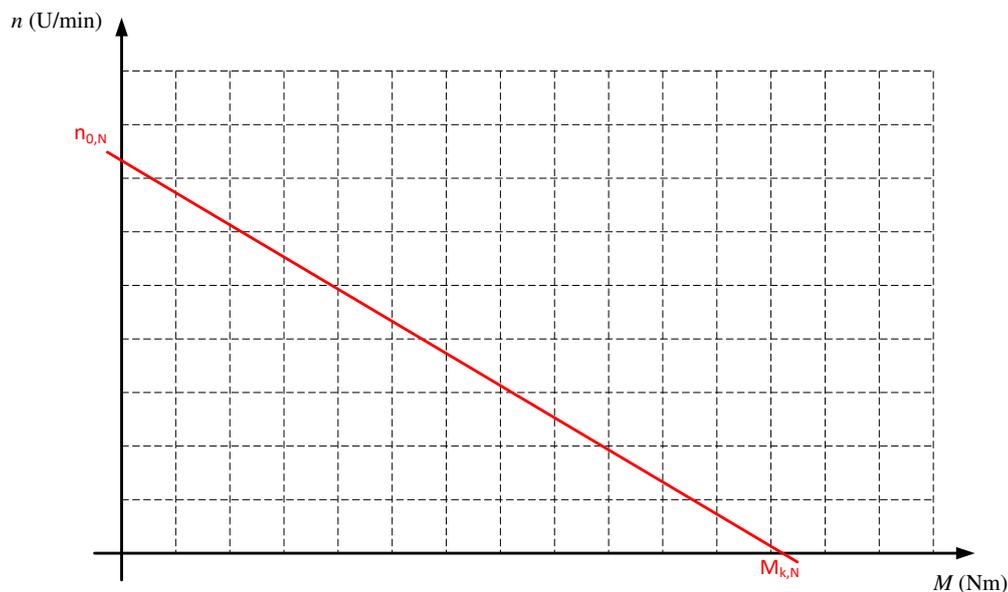
- j) Berechnen Sie die Leerlaufdrehzahl  $n_{0,N}$  in  $\text{min}^{-1}$  mit den Daten aus Abbildung 2.

$$n_{0,N} = \frac{U_{a,N}}{k \cdot \phi} = \frac{220 \text{ V}}{7,48 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}} = 29,41 \frac{\frac{\text{Nm}}{\text{A}}}{\frac{\text{Nm}}{\text{A}}} = 29,41 \frac{1}{\text{s}} = 1764,6 \frac{1}{\text{min}} \quad (1\text{P})$$

- k) Berechnen Sie das Kurzschlussmoment  $M_{K,N}$  mit den Daten aus Abbildung 2.

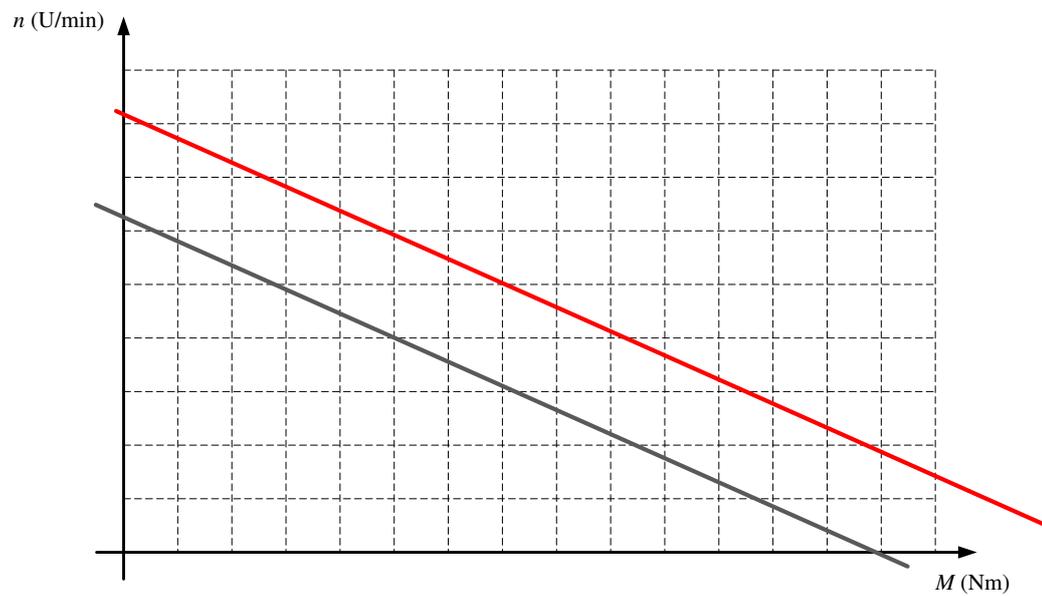
$$M_{K,N} = \frac{U_{a,N} \cdot (k \cdot \phi)^2}{k \cdot \phi \cdot R_a \cdot 2\pi} = \frac{220 \text{ V} \cdot 7,48 \frac{\text{Nm}}{\text{A}}}{1,57 \Omega \cdot 2\pi} = 166,82 \frac{\text{V} \cdot \frac{\text{Nm}}{\text{A}}}{\frac{\text{V}}{\text{A}}} = 166,82 \text{ Nm} \quad (1\text{P})$$

- l) Zeichnen Sie quantitativ die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie in das nachfolgende Koordinatensystem ein. Kennzeichnen Sie charakteristische Punkte. (1P)



- m) In dem nachfolgendem Koordinatensystem ist beispielhaft eine Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie eingezeichnet. Was passiert mit der Kennlinie, wenn Sie die Ankerspannung erhöhen? Zeichnen Sie qualitativ die neue Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie

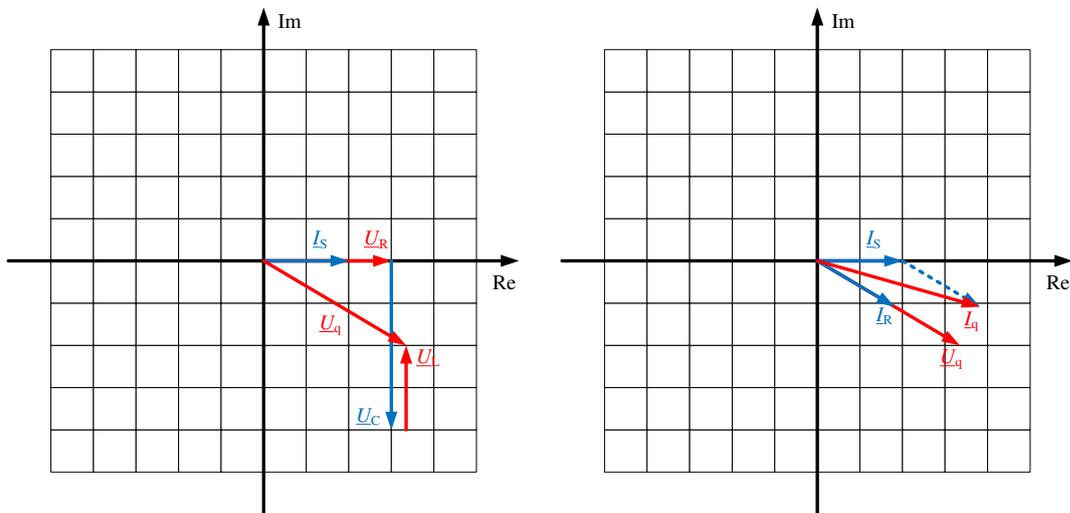
mit erhöhter Ankerspannung in das gegebene Koordinatensystem ein. (1P)



Eine Erhöhung der Ankerspannung führt zu einer Parallelverschiebung der Kennlinie nach oben. 1P für Zeichnung.

**Lösung 5:**

**a) Zeigerdiagramm**



**Punkteverteilung:**

- $I_s$  und  $U_R$  in Phase (1P)
- $I_s$   $90^\circ$  nacheilend zu  $U_L$  (1P)
- $I_s$   $90^\circ$  voreilend zu  $U_C$  (1P)
- $U_q$  Vektorsumme aus  $U_C$ ,  $U_R$  und  $U_L$  (1P)
- $I_R$  und  $U_q$  in Phase (1P)
- $I_q$  Vektorsumme aus  $I_s$  und  $I_R$  (1P)
- Vollständigkeit und korrekter Zusammenhang aller Zeiger (1P)

**b) Berechnung des Stromes  $I_q$**

Berechnung des Gesamtwiderstandes von RLC Glied

$$\underline{Z}_{RLC} = R + j \left( \omega L - \frac{1}{\omega C} \right) = 5\Omega + j(3,14\Omega - 6,37\Omega) = 5\Omega - j3,22\Omega \quad (2P)$$

Umwandeln in exponentielle Form:

$$\underline{Z}_{RLC} = 5\Omega - j3,22\Omega = 5,95\Omega \cdot e^{-j32,78^\circ} \quad (1P)$$

Parallelschaltung mit  $R_L$ :

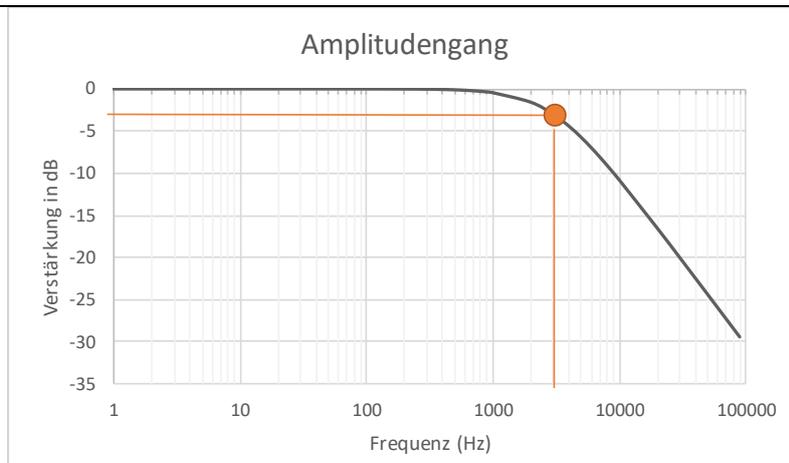
$$\underline{Z} = \frac{\underline{Z}_{RLC} \cdot R_L}{\underline{Z}_{RLC} + R_L} = \frac{5,95\Omega \cdot e^{-j32,78^\circ} \cdot 15\Omega}{20\Omega - j3,22\Omega} = 4,41\Omega \cdot e^{-j23,63^\circ} \quad (3P)$$

Strom  $I_q$  bestimmen:

$$\underline{I}_q = \frac{\underline{U}_q}{Z} = \frac{20V}{4,41\Omega \cdot e^{-j23,63^\circ}} = 6,8A \cdot e^{j23,63^\circ} = 6,23A + j2,73A \quad (2P)$$

**Lösung 6:**

**a) Grenzfrequenz bestimmen**

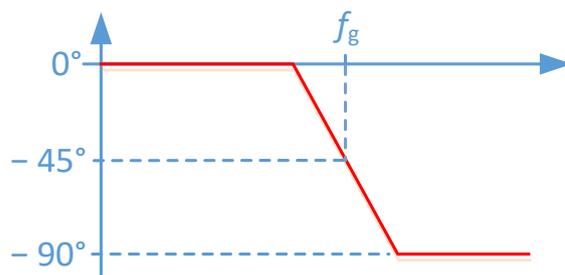


(1P)

Grenzfrequenz  $f_g = 3000$  Hz (-3dB erkannt)

(1P)

**b) Skizze des Phasenganges**



(3P)

Für jeden Bereich 1P

**c) Bestimmung der Kapazität C**

Formel der Grenzfrequenz

$$f_g = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2P)$$

Einsetzen des Widerstandwertes

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot 240\Omega \cdot 3000\text{Hz}} = 221\text{nF} \quad (2P)$$

**Hinweis:**

Falsche Einheit / Potenzen

(-1P)

Faktor  $2\pi$  vergessen

(-1P)

---

**d) Betrag des Stromes  $I$  berechnen**

---

Frequenz für den Dämpfungsfaktor 10 (-20dB) bestimmen:

Ablezen aus dem Amplitudengang:  $f = 30000 \text{ Hz} = 30 \text{ kHz}$  (1P)

Impedanz der Schaltung berechnen

$$\underline{Z} = R - j \frac{1}{\omega C} = 240\Omega - j \frac{1}{2\pi \cdot 30\text{kHz} \cdot 221\text{nF}} = 240\Omega - j24\Omega \quad (2P)$$

Betrag der Impedanz ausrechnen:

$$|\underline{Z}| = \sqrt{240\Omega^2 + 24\Omega^2} = 241,2\Omega \quad (2P)$$

Betrag des Stromes ausrechnen:

$$|I| = \frac{|U|}{|Z|} = \frac{10\text{V}}{241,2\Omega} = 41,46\text{mA} \quad (1P)$$

**Hinweis:**

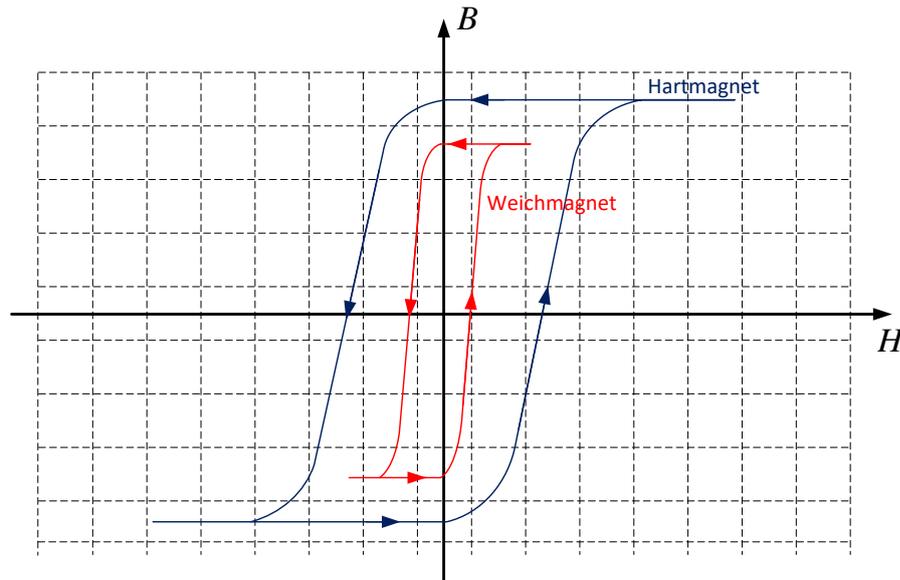
Folgefehler wegen falscher Frequenzbestimmung berücksichtigen

**Aufgabe 7 – Verständnisfragen**

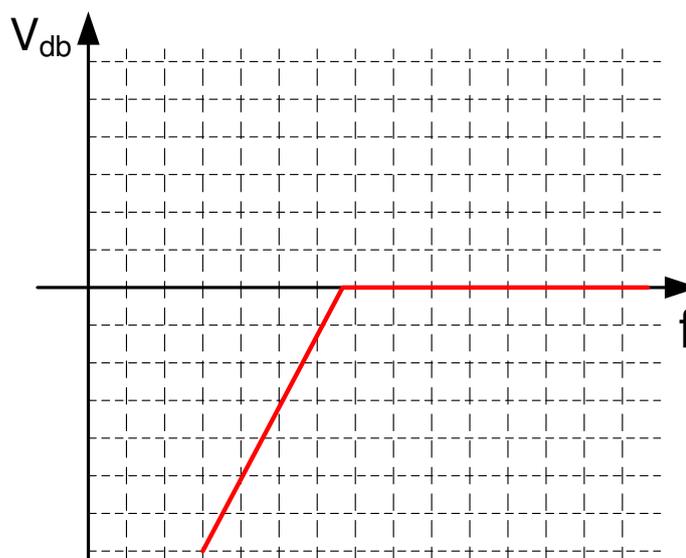
( /10P)

**Fragen:**

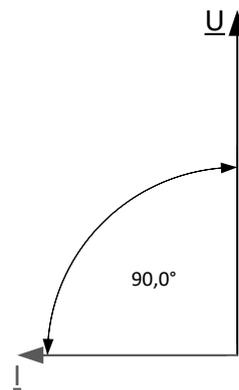
- a) Zeichnen Sie je eine Hysteresekurve exemplarisch für ein weichmagnetisches und eine für ein hartmagnetisches Material in das nachfolgende Diagramm ein. Beschriften Sie jeweils die Kurven. (1P)



- b) Zeichnen Sie qualitativ den Amplitudengang eines Hochpasses in das nachfolgen Diagramm ein. (1P)



- c) Der nachfolgende Zusammenhang zwischen Strom und Spannung ist gegeben. Welches Bauteil wird damit beschrieben? (1P)



Antwort: **Kapazität**

- d) Welcher Zusammenhang gilt bei einem ferromagnetischen Stoff für die relative magnetische Permeabilität? (Kreuzen Sie das Zutreffende an!) (1P)

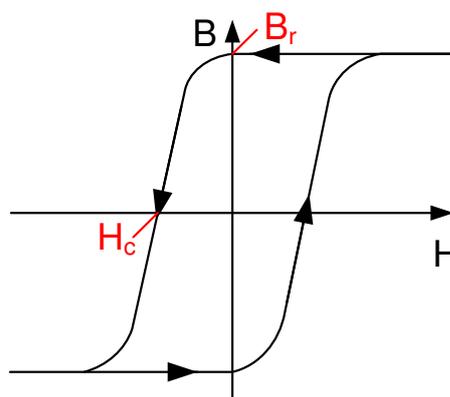
$\mu_r \gg 1$

$\mu_r = 1$

$\mu_r < 1$

$\mu_r \ll 1$

- e) Zeichnen Sie die Remanenzinduktion ( $B_r$ ) und die Koerzitivfeldstärke ( $H_c$ ) in die nachfolgende Hysteresekurve ein. (1P)



- f) Gegeben sei der Effektivwert der Spannung  $U$  und des Stromes  $I$  und die Phasenverschiebung  $\varphi$  zwischen der Spannung und dem Strom. Wie lautet die Formel um die Blindleistung  $Q$  zu berechnen? (1P)

$$Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$$

g) Welche der Folgenden Aussagen ist richtig? (1P)

(Kreuzen Sie die richtige Lösung an)

- ~~Wenn der Mittelwert einer Spannung Null ist, ist auch der Effektivwert immer Null.~~
- Der Effektivwert eines Wechselstroms ist der Wert, der in einem ohmschen Widerstand über die Dauer einer Periode die gleiche Energie in Wärme umsetzt wie ein ebenso großer Gleichstrom.
- ~~Der Effektivwert und der Mittelwert einer Spannung sind immer gleich groß.~~

h) Misst man die Spannung an einer deutschen Haushaltssteckdose spricht man von einer Spannung von 230 V bei einer Frequenz von 50 Hz. Welche der folgenden Aussagen ist richtig? (1P)

(Kreuzen Sie die richtige Lösung an)

- ~~Der Spitzenwert der Spannung beträgt 230 V~~
- Die Spannung ändert sich sinusförmig mit einer Amplitude von ca. 325 V und einer Periodendauer von 20 ms
- ~~Der Mittelwert der Spannung beträgt 230 V~~

i) Um den Widerstand eines gegebenen Leiters zu verringern muss man den Querschnitt (1P)

(Kreuzen Sie die richtige Lösung an.)

- vergrößern
- ~~verkleinern~~

j) Welche der nachfolgenden Kennlinien beschreibt am ehesten den Zusammenhang zwischen Strom und Spannung an einer Halbleiter-Diode? (1P)

(Kreuzen Sie die richtige Lösung an.)

