



## 1. Kurzfragen zu Elektrotechnik 1 (18 Punkte)

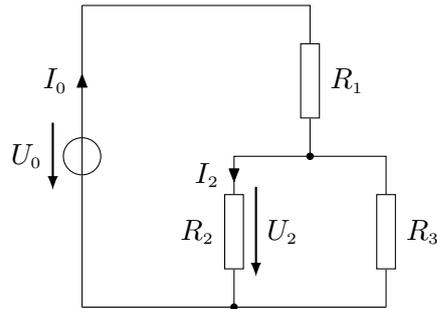
KF1) Ein Heimkino besteht aus einem Fernseher (120 W) und einer Soundanlage (480 W). 4 P.

a) Berechnen Sie die Kosten für den Betrieb des Heimkinos von 3 h bei einem Preis von 30 ct/kWh.

b) Der Energieversorger erhöht den Strompreis auf 32 ct/kWh. Bestimmen Sie die maximal mögliche Leistung des gesamten Heimkinos, wenn die Kosten für den Betrieb von 3 h nur um 10% steigen dürfen.

KF2) Gegeben ist folgende Schaltung:

3 P.



$$U_0 = 10 \text{ V}$$

$$R_1 = 6 \Omega$$

$$R_2 = 20 \Omega$$

$$R_3 = 5 \Omega$$

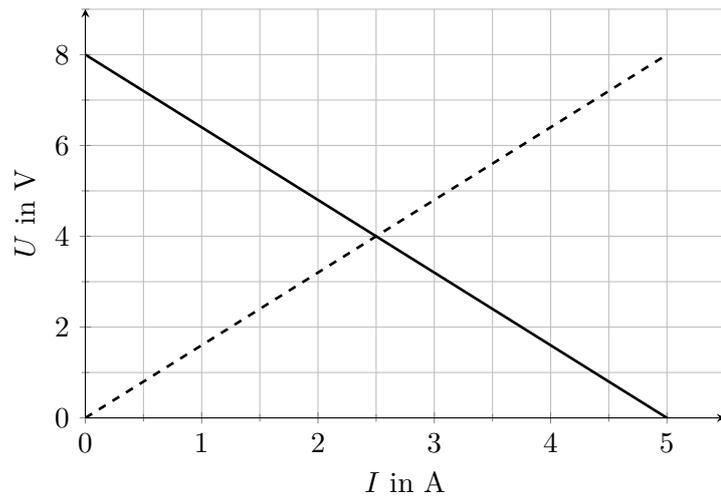
a) Berechnen Sie Strom  $I_2$  und Spannung  $U_2$  am Widerstand  $R_2$ .

b) Nun wird der Widerstand  $R_3$  aus der Schaltung entfernt. Vergleichen Sie den Strom  $I_2$  am Widerstand  $R_2$  sowie den Gesamtstrom  $I_0$  vor und nach dem Entfernen von  $R_3$  mit =, < und >.

$$I_2 \quad \square \quad I_{2,\text{neu}}$$

$$I_0 \quad \square \quad I_{0,\text{neu}}$$

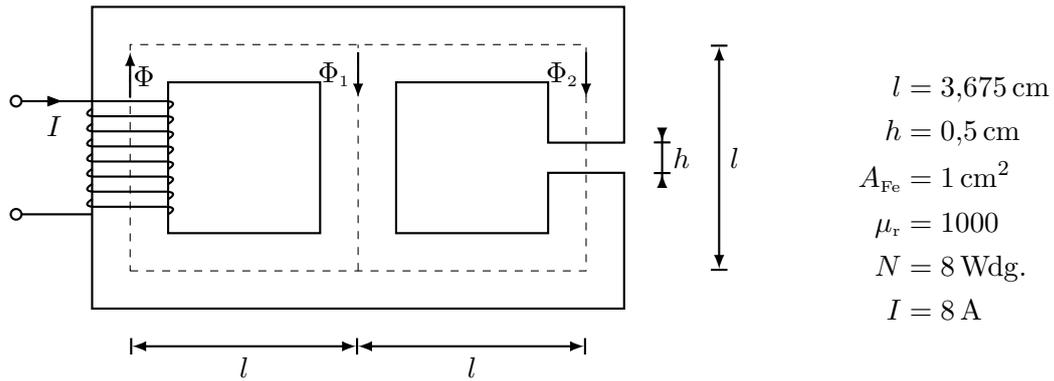
KF3) Gegeben ist die Kennlinie einer verlustbehafteten Spannungsquelle und eines ohmschen Lastwiderstands: 3 P.



- a) Bestimmen Sie mit Hilfe der gegebenen Kennlinie die drei charakteristischen Größen der Spannungsquelle.
- b) Wie groß ist der Lastwiderstand? Bestimmen Sie den sich einstellenden Arbeitspunkt, wenn dieser an die Spannungsquelle angeschlossen wird.

KF4) Gegeben ist der dargestellte magnetische Kreis.

6 P.



a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des oben dargestellten magnetischen Kreises. Achten Sie auf eine vollständige Beschriftung.

b) Vergleichen Sie die magnetischen Flüsse  $\Phi_1$  und  $\Phi_2$  mit =, < und >.

$\Phi_1$    $\Phi_2$

Begründen Sie Ihre Antwort.

c) Berechnen Sie die magnetische Feldstärke im Luftspalt, wenn für den magnetischen Fluss  $\Phi_2 = 10 \cdot 10^{-9} \text{ Vs}$  gilt.

KF5) Gegeben ist eine Wechselspannungsquelle mit einer angeschlossenen RL-Reihenschaltung mit folgenden Werten: 2 P.

$$\underline{U} = 20 \text{ V}$$

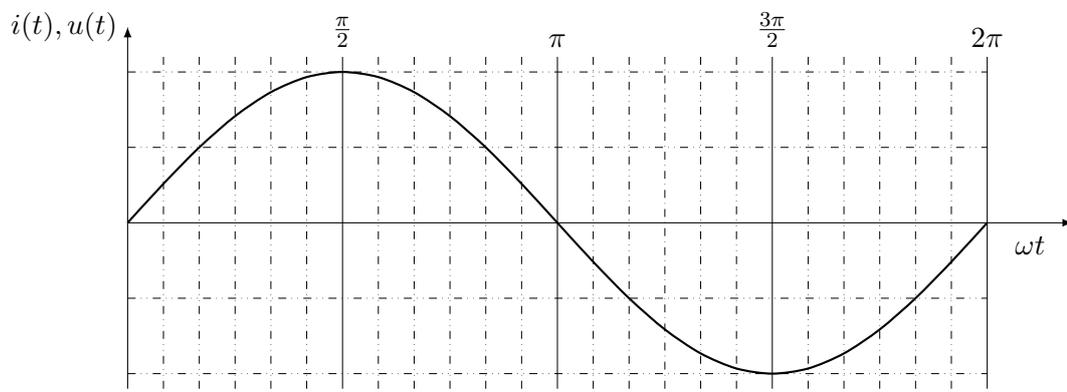
$$R = 4,8 \Omega$$

$$L = 8,85 \text{ mH}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

a) Berechnen Sie den Phasenwinkel  $\varphi$  der Schaltung.

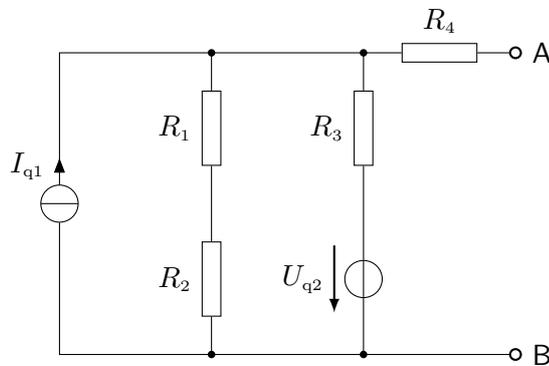
b) Zeichnen Sie den Strom der RL-Reihenschaltung in das gegebene Diagramm.



## 2. Gleichstrom (22 Punkte)

GS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

GS2) Gegeben ist das folgende Netzwerk: 7 P.



$$R_1 = 2 \Omega$$

$$R_2 = 3 \Omega$$

$$R_3 = 5 \Omega$$

$$R_4 = 1,5 \Omega$$

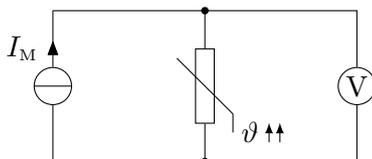
$$I_{q1} = 3 \text{ A}$$

$$U_{q2} = 20 \text{ V}$$

Wandeln Sie das gegebene Netzwerk in eine Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A und B um. Geben Sie das Ersatzschaltbild und die charakteristischen Größen ( $U_0$ ,  $R_i$  und  $I_K$ ) an.

GS3) Temperaturen werden in industriellen Anwendungen meist mit Widerstandsthermometern gemessen. Dazu wird ein Platin-Widerstand (Draht mit kreisförmiger Querschnittsfläche der Länge  $l$  und dem Durchmesser  $d$ ) an einer Konstantstromquelle ( $I_M = 5 \text{ mA}$ ) betrieben und der Spannungsabfall bestimmt. 5 P.

Folgendes Netzwerk zeigt einen prinzipiellen Aufbau und es sind folgende Werte gegeben:



$$l = 30 \text{ cm}$$

$$d = 4 \text{ mm}$$

$$\rho_{\text{PT},20} = 0,13 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$$

$$\alpha_{\text{PT},20} = 0,0025 \frac{1}{\text{K}}$$

Bestimmen Sie die Temperatur  $\vartheta$ , die das Widerstandsthermometer misst, wenn die Spannung  $U_M = 32,2 \mu\text{V}$  beträgt.

GS4) An eine Ersatzspannungsquelle ( $U_0 = 12 \text{ V}$ ,  $R_i = 3 \Omega$ ) wird eine Glühlampe angeschlossen. Diese hat einen Widerstand in Höhe von  $R_L = 2,5 \Omega$  und eine maximal zulässigen Leistungsaufnahme von  $10 \text{ W}$ . 6 P.

Um einen unzulässig hohen Strom zu verhindern muss ein Parallelwiderstand zu der Lampe geschaltet werden. Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild und legen Sie den Parallelwiderstand aus! Muss dieser Widerstand größer oder kleiner dimensioniert werden, wenn die Leerlaufspannung der Ersatzspannungsquelle steigt? Begründen Sie Ihre Antwort.

### 3. Elektrisches Feld (22 Punkte)

EF1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

EF2) Gegeben ist ein Zylinderkondensator mit folgenden Daten: 5 P.

$$r_1 = 2 \text{ cm} \qquad r_2 = 5 \text{ cm} \qquad h = 30 \text{ cm} \qquad \varepsilon_r = 5$$

Leiten Sie die Gleichung für die Kapazität eines Zylinderkondensators in Abhängigkeit der gegebenen Größen her **und** berechnen Sie diese.

EF3) Zeichnen Sie qualitativ den Verlauf der elektrischen Feldstärke  $E(r)$  im Bereich  $0 \leq r \leq 2r_2$  und kennzeichnen Sie die Punkte  $r = r_1$  und  $r = r_2$ . Achten Sie auf eine vollständige Achsenbeschriftung. 2 P.

Gegeben ist ein Plattenkondensator mit einer Kapazität von  $C = 100 \text{ pF}$  bei  $\varepsilon_r = 1$ . Dieser wird mit einer Spannungsquelle  $U_0 = 20 \text{ V}$  über einen ohmschen Widerstand  $R = 2 \Omega$  aufgeladen. Nach abtrennen der Spannungsquelle wird der Plattenabstand halbiert.

EF4) Berechnen Sie die Energieinhalte im Kondensator vor und nach der Halbierung des Plattenabstandes. 3 P.

Anschließend wird die Spannungsquelle ( $U_0 = 20 \text{ V}$ ) wieder angeschlossen.

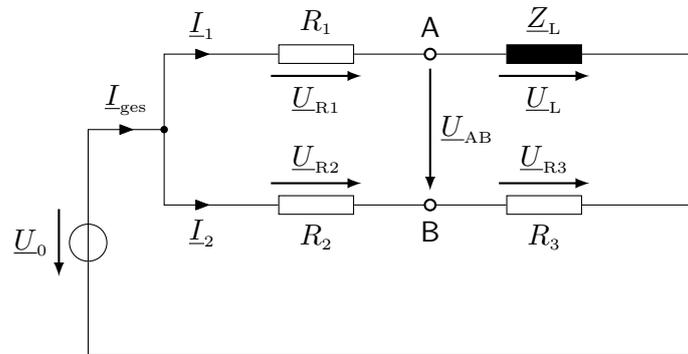
EF5) Bestimmen Sie die Ladungsdifferenz  $\Delta Q$  nach erneutem Schließen des Schalters. 3 P.

In den Kondensator wird ein Dielektrikum mit  $\varepsilon_{r,1} = 5$  eingeschoben. Anschließend wird die Kapazität über die Spannungsquelle ( $U_0 = 20 \text{ V}$ ) über einen Widerstand  $R_1 = 2 \Omega$  aufgeladen. Nachdem alle Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind, wird ein Dielektrikum mit  $\varepsilon_{r,2} = 10$  eingeschoben. Danach wird die Kapazität über einen anderen Widerstand  $R_2 = 5 \Omega$  entladen.

EF6) Berechnen Sie die Zeitkonstanten  $\tau$  für den Ein- und Ausschaltvorgang. Zeichnen Sie den Verlauf der Kondensatorspannung für die beiden Schaltvorgänge in **ein** Diagramm. Verwenden Sie folgende Maßstäbe:  $4 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$  &  $2,5 \text{ ns} \hat{=} 1 \text{ cm}$ . Das Diagramm soll auch den Zeitpunkt zeigen, bei dem alle Ausgleichsvorgänge abgeschlossen sind. Kennzeichnen Sie jeweils für den Ein- und für den Ausschaltvorgang die Zeitkonstante. Achten Sie auf eine vollständige Achsenbeschriftung. 5 P.

## 4. Wechselstrom (22 Punkte)

Gegeben ist folgendes Netzwerk:



Folgende Werte sind gegeben:

$$U_0 = 100 \text{ V} \quad R_1 = 100 \, \Omega \quad R_2 = 200 \, \Omega \quad R_3 = 300 \, \Omega \quad X_L = 100\sqrt{3} \, \Omega$$

WS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

WS2) Bestimmen Sie die Beträge der Ströme  $I_1$  und  $I_2$  und zeichnen Sie anschließend in das **vor-gegebene Zeigerdiagramm** auf der **nächsten Seite** die Ströme  $\underline{I}_1$  und  $\underline{I}_2$  ein. Verwenden Sie folgenden Maßstab:  $0,1 \text{ A} \hat{=} 1 \text{ cm}$  und  $10 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$  4 P.

Für die **folgenden Teilaufgaben** wird der Widerstand  $R_2$  durch eine Kapazität  $C$  ersetzt ( $f = 50 \text{ Hz}$ ).

WS3) Legen Sie diesen Kondensator so aus, dass die Spannung  $\underline{U}_{AB} = 0 \text{ V}$  ist. 3 P.

Für die **folgenden Betrachtungen** wird der **Widerstand  $R_3$  kurzgeschlossen** ( $R_3 = 0 \, \Omega$ ). Alle weiteren Größen bleiben unverändert.

WS4) Bestimmen Sie die Bauteilgröße der Kapazität  $C$  so, sodass die Parallelschaltung in Betragsresonanz ( $I_1 = I_2$ ) betrieben wird. 3 P.

Die anderen Bauteile der Schaltung werden nun durch neue ersetzt. Für diese gilt:  $R_1 = 100 \, \Omega$ ,  $L = 300 \text{ mH}$  und  $C = 650 \text{ nF}$ .

WS5) Bestimmen Sie mit den gegebenen Bauteilwerten die Phasenresonanzfrequenz, sodass sich für die Schaltung ein Phasenwinkel  $\varphi = 0^\circ$  ergibt. 4 P.

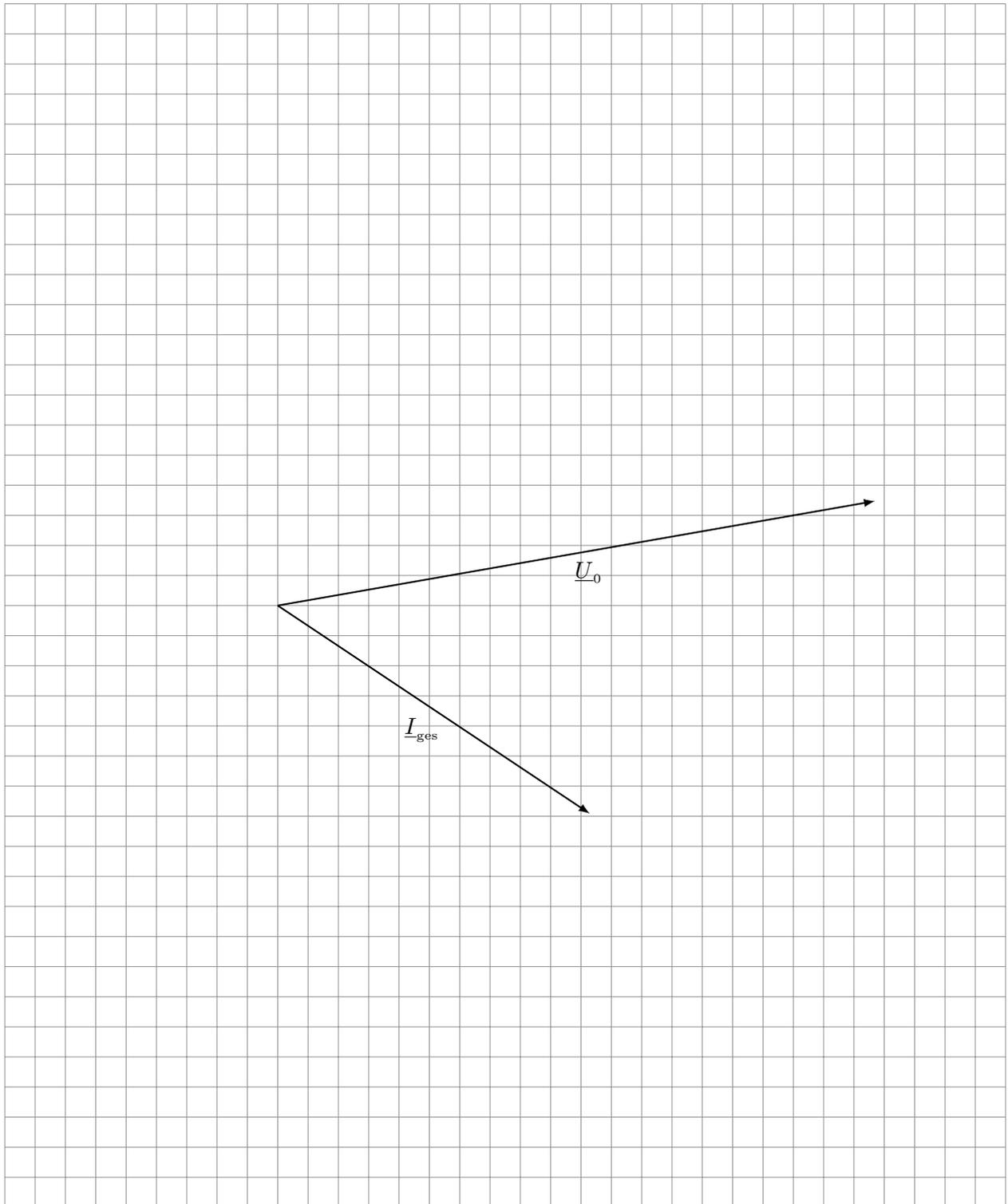
**Hinweis:**  $\text{Im}\{\underline{Y}\} = 0$

WS6) Um welche Art von Schwingkreis handelt es sich? Begründen Sie Ihre Antwort. 1 P.

WS7) Skizzieren Sie qualitativ die Ströme  $I$  und  $I_1$  in Abhängigkeit der Frequenz in ein  $I$ - $f$ -Diagramm. Markieren Sie auch die Resonanzfrequenz. Achten Sie auf vollständige Achsenbeschriftung. 3 P.

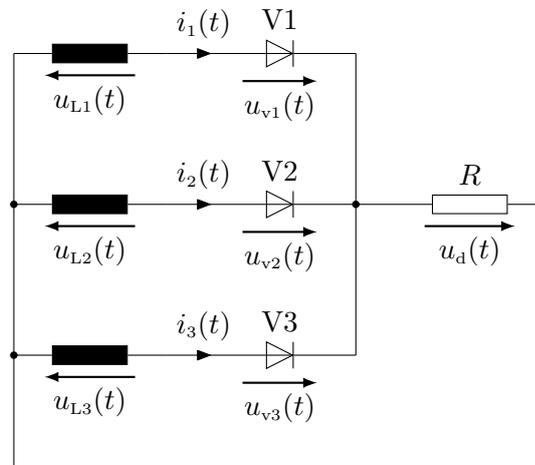
**Zeigerbild zu Aufgabenteil WS2:**

Verwenden Sie folgenden Maßstab:  $0,1 \text{ A} \hat{=} 1 \text{ cm}$  und  $10 \text{ V} \hat{=} 1 \text{ cm}$



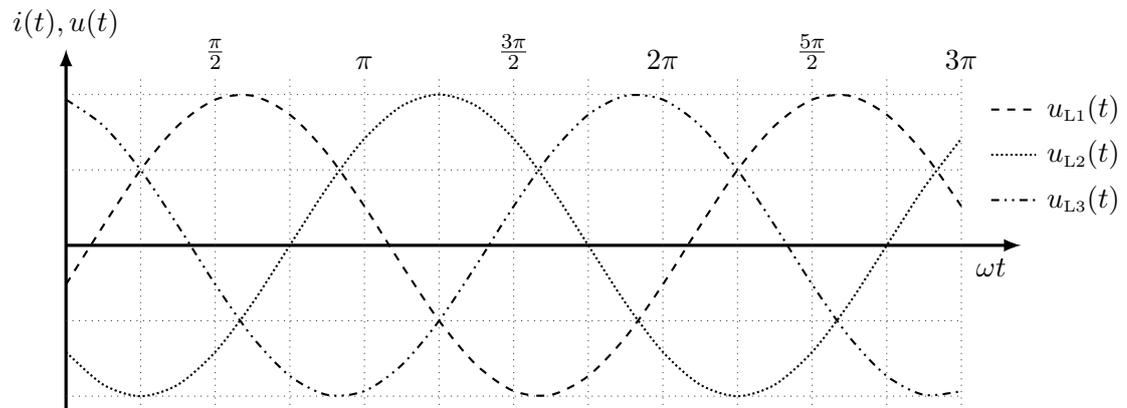
## 5. Kurzfragen zur Elektrotechnik 2 (18 Punkte)

KF1) Gegeben ist folgende Gleichrichterschaltung mit idealen Ventilen, die an einem gewöhnlichen 3P. Drehspannungssystem (230 V/400 V, 50 Hz) angeschlossen ist:

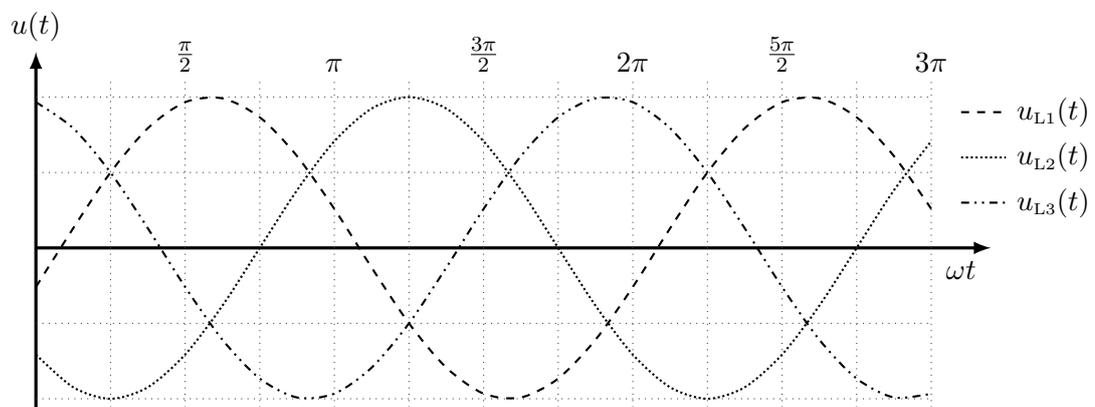


- a) Welche Ventile führen Strom, wenn gilt:  $u_{L1}(t) < u_{L2}(t)$  und  $u_{L3}(t) < u_{L2}(t)$
- |                                    |                                    |                             |
|------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|
| <input type="checkbox"/> V1 und V2 | <input type="checkbox"/> V2 und V3 | <input type="checkbox"/> V2 |
| <input type="checkbox"/> V1 und V3 | <input type="checkbox"/> V1        | <input type="checkbox"/> V3 |

- b) Tragen Sie den Verlauf des Ventilstroms  $i_{v3}(t)$  in das gegebene Diagramm ein! Es gilt:  $R = 1 \Omega$ .

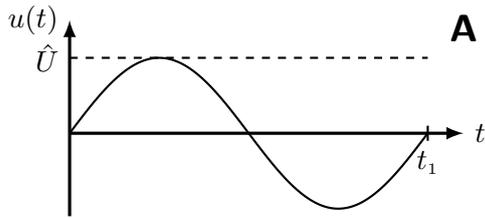


- c) Tragen Sie den Verlauf der Spannung  $u_d(t)$  in das gegebene Diagramm ein!



KF2) Gegeben sind folgende Spannungsverläufe mit gleichem  $\hat{U}$ .

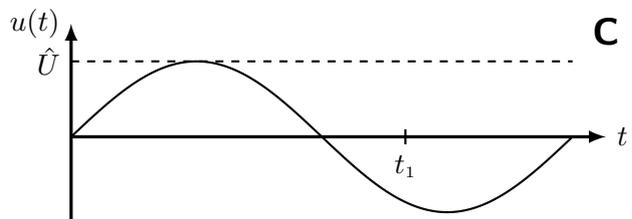
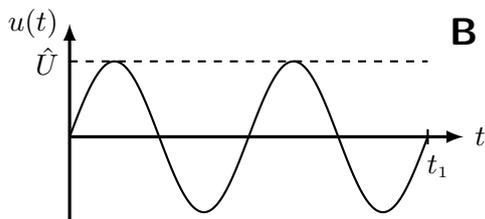
3 P.



a) Vergleichen Sie den Effektivwert des gegebenen Spannungsverlaufs A mit dem Gleichrichtwert und Mittelwert mit =, < und >.

Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Gleichrichtwert  $|\bar{u}_A|$

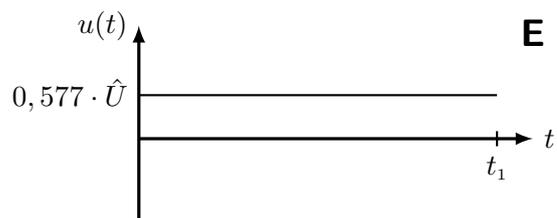
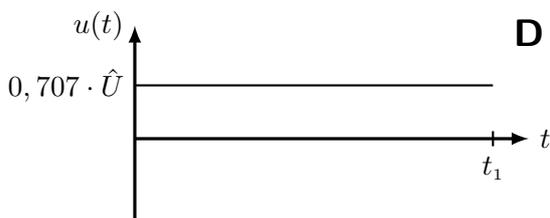
Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Mittelwert  $\bar{u}_A$



b) Vergleichen Sie den Effektivwert des Spannungsverlaufs A mit dem Effektivwert der Spannungsverläufe B und C mit =, < und >.

Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Effektivwert  $u_{B,\text{eff}}$

Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Effektivwert  $u_{C,\text{eff}}$



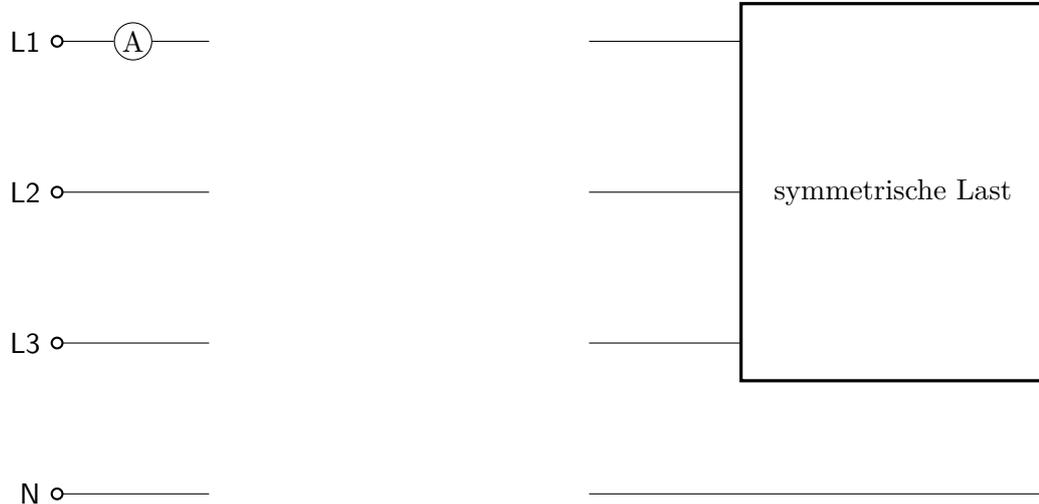
c) Vergleichen Sie den Effektivwert des Spannungsverlaufs A mit dem Effektivwert der Spannungsverläufe D und E mit =, < und >.

Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Effektivwert  $u_{D,\text{eff}}$

Effektivwert  $u_{A,\text{eff}}$   Effektivwert  $u_{E,\text{eff}}$

KF3) An einer symmetrischen Drehstromlast soll mittels einer einphasigen Blindleistungsmessung die Blindleistung bestimmt werden. Die Last wird an einem gewöhnlichen Drehstromnetz (230 V/400 V, 50 Hz) betrieben. 3 P.

- a) Zeichnen Sie das für die Messung erforderliche Messgerät in das Schaltbild ein. Achten Sie dabei auf eine vollständige Beschriftung.

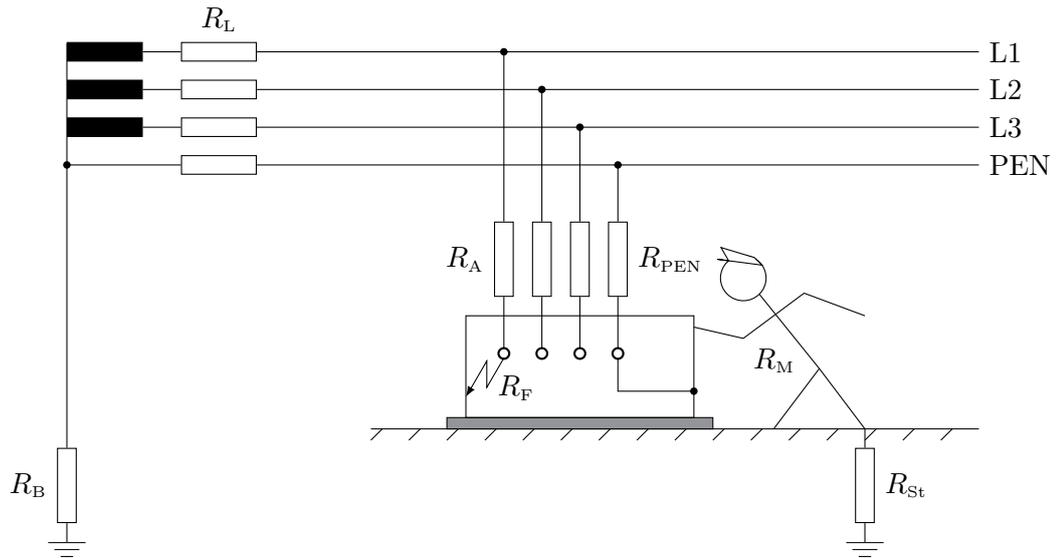


Das Messgerät zeigt eine Blindleistung von 37,93 var an.

- b) Bestimmen Sie den Phasenwinkel der Impedanz, wenn das Amperemeter einen Strom von 305 mA anzeigt.
- c) Wie viele Skalenteile werden bei dieser Messung angezeigt, wenn das Messgerät eine Messbereichskonstante von 75 var/150 Skt hat.

KF4) Gegeben ist folgende Abbildung.

3 P.

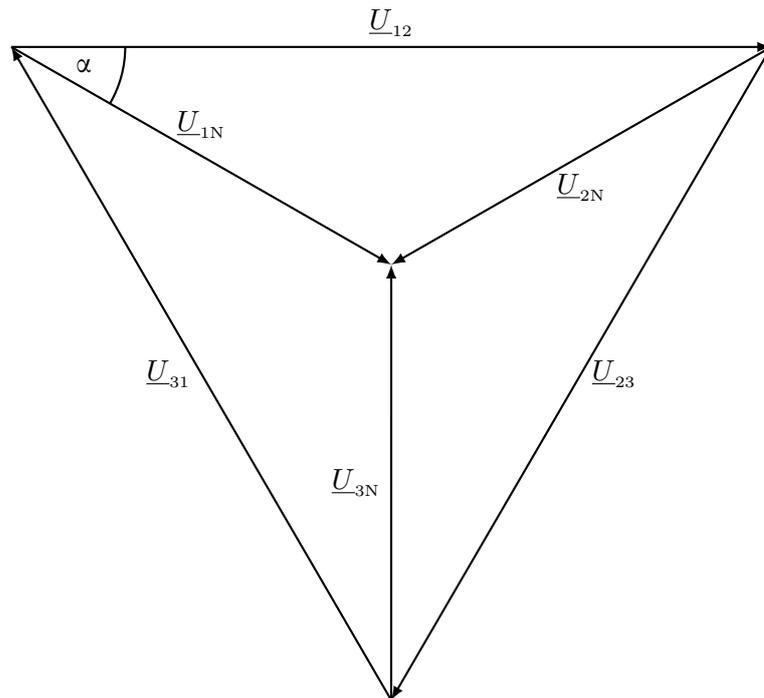


a) Zeichnen Sie das vollständige einphasige Ersatzschaltbild für den vorliegenden Fehlerfall. Tragen Sie auch den Fehlerstrom  $I_F$  und die Berührungsspannung  $U_B$  ein.

b) Nennen Sie die vorliegende Netzform.

c) Kann in der Zuleitung zur Maschine eine Fehlerstrom-Schutzeinrichtung (RCD) verbaut werden? Begründen Sie Ihre Antwort!

KF5) Leiten Sie mit Hilfe des folgenden Zeigerdiagramms den Verkettungsfaktor  $\sqrt{3}$  her. Die Beträge sämtlicher Spannungen des symmetrischen Drehstromsystems sind unbekannt. 2 P.



KF6) Gegeben ist ein realer Einphasen-Transformator, an dem ein Belastungswiderstand  $R_L$  angeschlossen wird. 4 P.

- a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild und skizzieren Sie das zugehörige Zeigerbild, wenn gilt:  
 $R_L \ll R_{Fe}, X_h$  und  $R_L > R_k, X_k$ .

- b) Der Transformator wird nun an ein Netz mit folgenden Daten angeschlossen:

$$U_1 = 200 \text{ V}$$

$$f_1 = 50 \text{ Hz}$$

An die Sekundärseite wird ein Lastwiderstand mit  $R_L = 50 \Omega$  angeschlossen. Wie groß ist die am Lastwiderstand umgesetzte Wirkleistung  $P_L$  im eingeschwungenen Zustand? Begründen Sie Ihre Antwort!

## 6. Drehstrom (22 Punkte)

DS1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

DS2) Zeichnen Sie an das unten gegebene symmetrische Drehstromnetz eine symmetrische ohmsche Last in Sternschaltung ohne angeschlossenen N-Leiter. Zeichnen Sie auch alle an der Last auftretenden Ströme und Spannungen ein und benennen Sie diese. 4 P.

L1 ○ —————

L2 ○ —————

L3 ○ —————

N ○ —————

DS3) Der symmetrische Verbraucher in Sternschaltung nimmt eine Leistung  $P = 42 \text{ kW}$  mit einem  $\cos \varphi = 0,93$  (ind.) auf. Berechnen Sie den Leiterstrom  $\underline{I}_{1N}$  und die Strangimpedanz  $\underline{Z}_{1N}$  nach Betrag und Phase. 2 P.

DS4) Bei einer symmetrischen Last in Sternschaltung, die an einem symmetrischen Drehstromnetz angeschlossen ist, werden folgende Werte gemessen: 6 P.

$$\underline{U}_{12} = 400 \text{ V} \cdot e^{j30^\circ}$$

$$\underline{I}_{1N} = 0,8 \text{ A} \cdot e^{j25,84^\circ}$$

Berechnen Sie die Lastimpedanz  $\underline{Z}_{1N}$ , die Leistungen  $P_{\text{ges}}$ ,  $Q_{\text{ges}}$  und  $S_{\text{ges}}$  sowie den Wirkfaktor  $\cos \varphi$ . Handelt es sich bei der Last um eine ohmsche, ohmsch-induktive oder ohmsch-kapazitiv Last? Begründen Sie Ihre Antwort.

Gegeben ist ein symmetrisches Drehstromnetz mit  $\underline{U}_{1N} = 230 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$  und  $f = 50 \text{ Hz}$ . In einer angeschlossenen symmetrischen Last in Dreiecksschaltung werden  $P_{\text{ges}} = 800 \text{ W}$  und  $Q_{\text{ges}} = 180 \text{ var}$  umgesetzt.

DS5) Die induktive Blindleistung soll einer parallel geschalteten Blindleistungskompensationsanlage in Dreiecksschaltung kompensiert werden. Bestimmen Sie die notwendige Kapazität je Kondensator. 3 P.

DS6) Die symmetrische Last wird gegen eine unsymmetrische Last in Dreiecksschaltung ausgetauscht. Die Last setzt sich aus folgenden Impedanzen zusammen: 3 P.

$$\underline{Z}_{12} = 20 \Omega \cdot e^{j25^\circ}$$

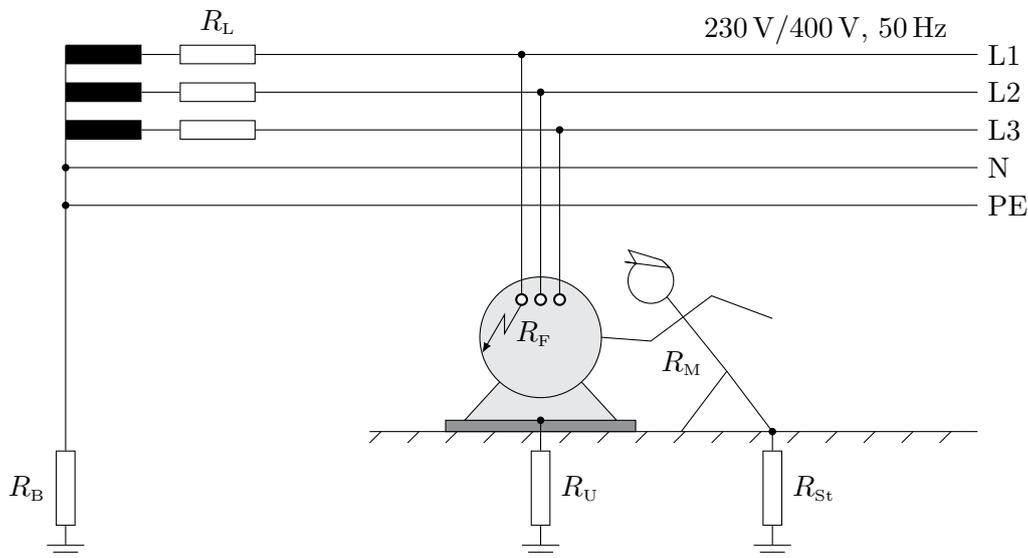
$$\underline{Z}_{23} = 40 \Omega \cdot e^{j10^\circ}$$

$$\underline{Z}_{31} = 12 \Omega + j10,6 \Omega$$

Berechnen Sie alle in der Last auftretenden Ströme  $\underline{I}_{12}$ ,  $\underline{I}_{23}$  und  $\underline{I}_{31}$  nach Betrag und Phase.

## 7. Schutzmaßnahmen (22 Punkte)

In einem handwerklichen Betrieb hat eine Drehfeldmaschine einen Gehäuseschluss des Leiters L1. Die Maschine ist nicht eingeschaltet ( $R_v \rightarrow \infty$ ) und steht auf isoliertem Untergrund ( $R_U \rightarrow \infty$ ).



$$R_L = 3 \Omega$$

$$R_{St} = 2000 \Omega$$

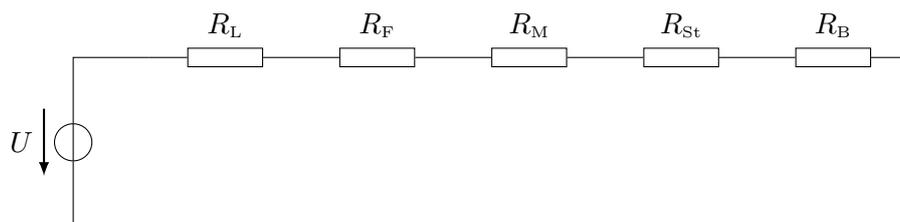
$$R_F = 7 \Omega$$

$$R_B = 1 \Omega$$

$$R_M = 3000 \Omega$$

$$R_U \rightarrow \infty$$

- SM1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.
- SM2) Kann in der dargestellten Netzform ein RCD verbaut werden? Begründen Sie Ihre Antwort! 1 P.
- SM3) Tragen Sie in das Ersatzschaltbild für den dargestellten Fehlerfall den Fehlerstrom und die Berührungsspannung ein. 1 P.



- SM4) Berechnen Sie den Gesamtwiderstand  $R_{ges}$ , den Fehlerstrom  $I_F$  und die Berührungsspannung  $U_B$ . Ist der Mensch gefährdet? Begründen Sie Ihre Antwort. 4 P.

Als Schutzmaßnahme wird das Gehäuse der Maschine nun an den Schutzleiter mit dem Widerstand  $R_{PE} = 2,5 \Omega$  angeschlossen.

- SM5) Wird der Mensch durch diese Maßnahme im Fehlerfall geschützt? Begründen Sie Ihre Aussage rechnerisch mit der Berührungsspannung. 6 P.

Durch einen Defekt der Isoliermatte hat die Maschine nun einen Übergangswiderstand  $R_U = 1000 \Omega$  zur Erde.

- SM6) Legen Sie den Schutzleiterwiderstand  $R_{PE}$  so aus, dass im Fehlerfall der Strom durch den Menschen 15 mA nicht überschreitet. 6 P.

## 8. Transformator (22 Punkte)

Gegeben ist ein einphasiger Transformator mit folgenden Werten:

$$U_{1N} = 10 \text{ kV}$$

$$N_1 = 5000 \text{ Wdg.}$$

$$f = 50 \text{ Hz}$$

$$I_{2N} = 625 \text{ A}$$

$$N_2 = 200 \text{ Wdg.}$$

TR1) Geben Sie bei allen Teilaufgaben einen Ansatz mit entsprechenden Indizes an, setzen Sie auch in Zwischenschritten Zahlenwerte ein und verwenden Sie die richtigen Einheiten und gegebenenfalls Unterstriche. *Diese Teilaufgabe erfordert keine Bearbeitung.* 4 P.

TR2) An die Sekundärseite des Transformators wird ein ohmscher Verbraucher mit  $R_{\text{Last}} = 8 \Omega$  angeschlossen. Berechnen Sie unter der Annahme eines idealen Transformators die an der Last umgesetzte Wirk-, Blind- und Scheinleistung. 4 P.

Beim Leerlaufversuch werden folgende Daten gemessen:

$$P_0 = 1,6 \text{ kW}$$

$$i_0 = 2\%$$

TR3) Zeichnen Sie das vereinfachte Ersatzschaltbild und das zugehörige Zeigerbild für den Leerlaufversuch. 2 P.

TR4) Berechnen Sie  $\cos \varphi_0$ , die Beträge aller auftretenden Ströme sowie die Eisenverluste  $R_{\text{Fe}}$  und die Hauptinduktivität  $X_h$ . 6 P.

TR5) Bestimmen Sie den notwendigen Eisenquerschnitt  $A_{\text{Fe}}$ , damit die zulässige magnetische Induktion von  $\hat{B} = 1,2 \text{ T}$  nicht überschritten wird. 2 P.

TR6) Bestimmen Sie den auf der Sekundärseite notwendigen Leiterquerschnitt  $A_{\text{Cu2}}$ , den sekundären Wicklungswiderstand  $R_2$  (bei  $20^\circ\text{C}$ ,  $\rho_{\text{Cu},20} = 0,0172 \Omega\text{mm}^2\text{m}^{-1}$ ) sowie den gesamten Wicklungswiderstand  $R = R_1 + R'_2$ , wenn die maximal zulässige Stromdichte der Wicklungen  $S_{\text{max}} = 5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$  und der mittlere Windungsdurchmesser  $d_w = 0,78 \text{ m}$  beträgt. 4 P.