

## Klausur

### Elektrische Energiesysteme / Grundlagen der Elektrotechnik 3

31.07.2015

- Die Klausur besteht aus 4 Aufgaben. Pro richtig beantworteter Teilaufgabe a), b), c) oder d) sind unabhängig vom Schwierigkeitsgrad jeweils 3 Punkte erreichbar.
- Die einzelnen Fragen können weitgehend unabhängig voneinander beantwortet werden.
- Bei 48 von 48 erreichbaren Punkten wird die Note 1,0 gegeben; entsprechend bei 24 Punkten eine 4,0. Halbe Punkte werden nicht gegeben.
- zulässige Hilfsmittel: Zirkel, Lineal, Winkelmesser, nicht kommunikationsfähiger Taschenrechner, 1 Blatt handgeschriebene A4 Formelsammlung
- Dauer der Klausur: 2 h

Name (in Blockbuchstaben):

Matrikelnummer:

Studienrichtung:

Unterschrift:

---

Bereich für die Korrektur

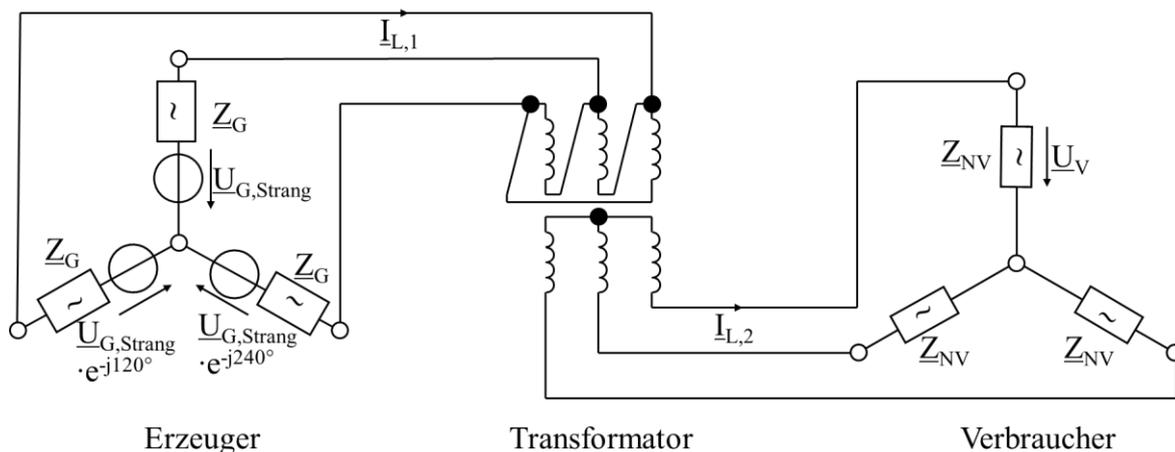
Aufgabe	Punkte	
1	12	
2	12	
3	12	
4	12	
Summe	48	
Note		

Aufgabe 1

Der symmetrische Niederspannungs-Drehspannungs-Erzeuger für das unten stehende Netz kann durch eine Y-Ersatzschaltung mit Spannungsquellen von  $U_{G,Strang} = 220/\sqrt{3}$  kV,  $f_N = 50$  Hz mit einer jeweiligen Innenimpedanz von  $Z_G = (12+j20)$  k $\Omega$  beschrieben werden.

An das Netz soll ein symmetrischer Drehstrom-Verbraucher mit den Typenschild-Daten  $U_{NV} = 690$  V,  $S_{NV} = 110$  kVA,  $\cos\varphi_V = 0,85$  kapazitiv geschaltet werden.

Zur Anpassung steht ein Transformator mit den Daten  $S_{NT} = 250$  kVA,  $U_{NT} = 220$  kV / 690 V, Dy5 zur Verfügung.



- a) Der Verbraucher soll durch ein Y-Ersatzschaltbild aus zwei in Reihe geschalteten Bauelementen pro Strang beschrieben werden.  
Geben Sie die Impedanz des Verbrauchers  $Z_{V,Y}$  im einphasigen Ersatzschaltbild nach Betrag und Phase an! (1 Punkt)  
Geben Sie die Größe der Wirk- und Blindwiderstände  $R_{V,Y}$  und  $X_{V,Y}$  bei Annahme einer Reihenschaltung der Bauelemente an! (2 Punkte)
- b) Der Transformator soll durch ein Y-Längs-Ersatzschaltbild beschrieben werden. Dazu sind die Reaktanzen  $X_{1\sigma} = 30$  k $\Omega$  und  $X_{2\sigma} = 0,25$   $\Omega$  bekannt. Die Widerstände von Primär- und Sekundärwicklung dürfen idealisiert mit  $R_1 = R_2 = 0$   $\Omega$  angenommen werden. Analog gilt für die Hauptreaktanz  $X_{1h} \rightarrow \infty$ .  
Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis? (1 Punkt)  
Berechnen Sie  $X_{2\sigma}'$ ! (1 Punkt)  
Geben Sie die auf die Primärseite bezogene Längsreaktanz  $X_T' = X_{1\sigma} + X_{2\sigma}'$  an! (1 Punkt)
- c) Nehmen Sie unabhängig von den bisherigen Ergebnissen  $R_{V,Y}^* = 3$   $\Omega$  und  $X_{V,Y}^* = 1,8$   $\Omega$  kapazitiv sowie  $\dot{u}^* = 300$  und  $X_T'^* = 50$  k $\Omega$  an.  
Transformieren Sie  $Z_V$  auf die Primärseite des Transformators! (1 Punkt)  
Geben Sie den primären Leiterstrom  $I_{L,1}$  und den sekundären Leiterstrom  $I_{L,2}$  an! (2 Punkte)
- d) Wie groß ist die Phasenverschiebung des Strom  $I_{L,2}$  bezogen auf  $U_{NG,Strang}$  (Beachten Sie die Schaltgruppe des Transformators!) (1 Punkt)  
Berechnen Sie die Leiterspannung am Verbraucher  $U_V$ ! (1 Punkt)  
Welche Wirkung hat das kapazitive Verhalten des Verbrauchers auf die Spannung (1 Punkt)

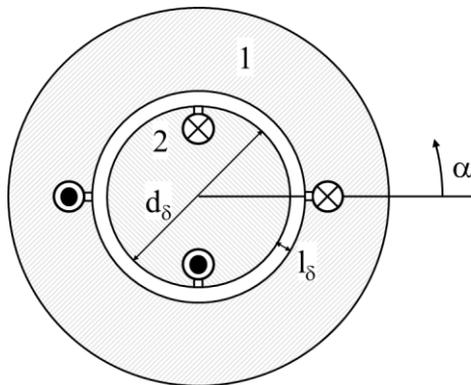
Lösung zu Aufgabe 1:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 1:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 1:

Aufgabe 2

Gegeben seien der untenstehende Querschnitt eines magnetischen Kreises aus einer vereinfacht dargestellten elektrischen Maschine. Die Permeabilität des Weicheisens (schraffierter grauer Bereich) darf als unendlich groß angenommen werden. Die Maschine verfüge über zwei Wicklungen im Stator 1 und im Rotor 2, die in Nuten untergebracht sind, die im Luftspaltbereich als unendlich schmal angesehen werden dürfen.



$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{A m}}$$

$$l_\delta = 2,5 \text{ mm}$$

$$d_\delta = 120 \text{ mm}$$

$$l_{\text{Fe}} = 300 \text{ mm}$$

$$\mu_{\text{Fe}} \rightarrow \infty$$

In axialer Richtung, d. h. in die Zeichenebene hinein, betrage die aktive Länge des Weicheisens  $l_{\text{fe}}$ .

- a) Geben Sie die Polpaarzahl  $p$  an! (1 Punkt)

Zunächst sei nur der Stator 1 bestromt. Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf der Radialkomponente der magnetischen Feldstärke im Luftspalt  $H_\delta(\alpha)$  auf das nächste Blatt ein! (2 Punkte)

- b) Der Strom im Stator betrage  $I_1 = 12 \text{ A}$  bei einer Windungszahl  $w_1 = 213$ .

Wie lautet das Durchflutungsgesetz für eine Feldlinie, die jeweils bei  $\alpha = 270^\circ$  und  $\beta = 90^\circ$  durch den Luftspalt tritt? (1 Punkt)

Berechnen Sie damit den Maximalwert der magnetischen Feldstärke im Luftspalt  $H_{\delta, \text{max}}$ ! (1 Punkt)

Geben Sie die magnetische Flussdichte im Luftspalt an! (1 Punkt)

- c) Nun wird auch die zweite Wicklung im Rotor 2 bestromt. Nehmen Sie dazu vereinfachend an, dass sich die Wicklung im Luftspalt befindet. Zeichnen Sie die Richtung der Kräfte auf die Leiter im Rotor ein! (1 Punkt)

Berechnen Sie die Kraft auf je einen Leiter, wenn dieser 5 Windungen mit einem Strom von je  $I_2 = 40 \text{ A}$  aufweist! (1 Punkt)

Welches Drehmoment entwickelt die Maschine in diesem Betriebspunkt, wenn der Rotordurchmesser  $d_\delta = 120 \text{ mm}$  beträgt? (1 Punkt)

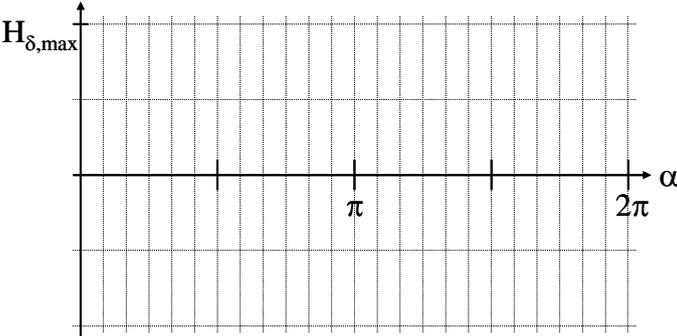
- d) Ergänzen Sie folgende Gleichungen, so dass Zusammenhänge zwischen elektrischen und mechanischen Größen einer Gleichstrommaschine beschrieben werden!

$$U_i \sim \quad (1 \text{ Punkt})$$

$$I_a \sim \quad (1 \text{ Punkt})$$

Der Ankerkreis einer Gleichstrommaschine soll durch die drei Bauelemente Spannungsquelle  $U_i$ , Widerstand  $R_a$  und Induktivität  $L_a$  dargestellt werden. In welchem der Bauelemente wird die mechanische Leistung symbolisiert? (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 2:



Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 2:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 2:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 2:

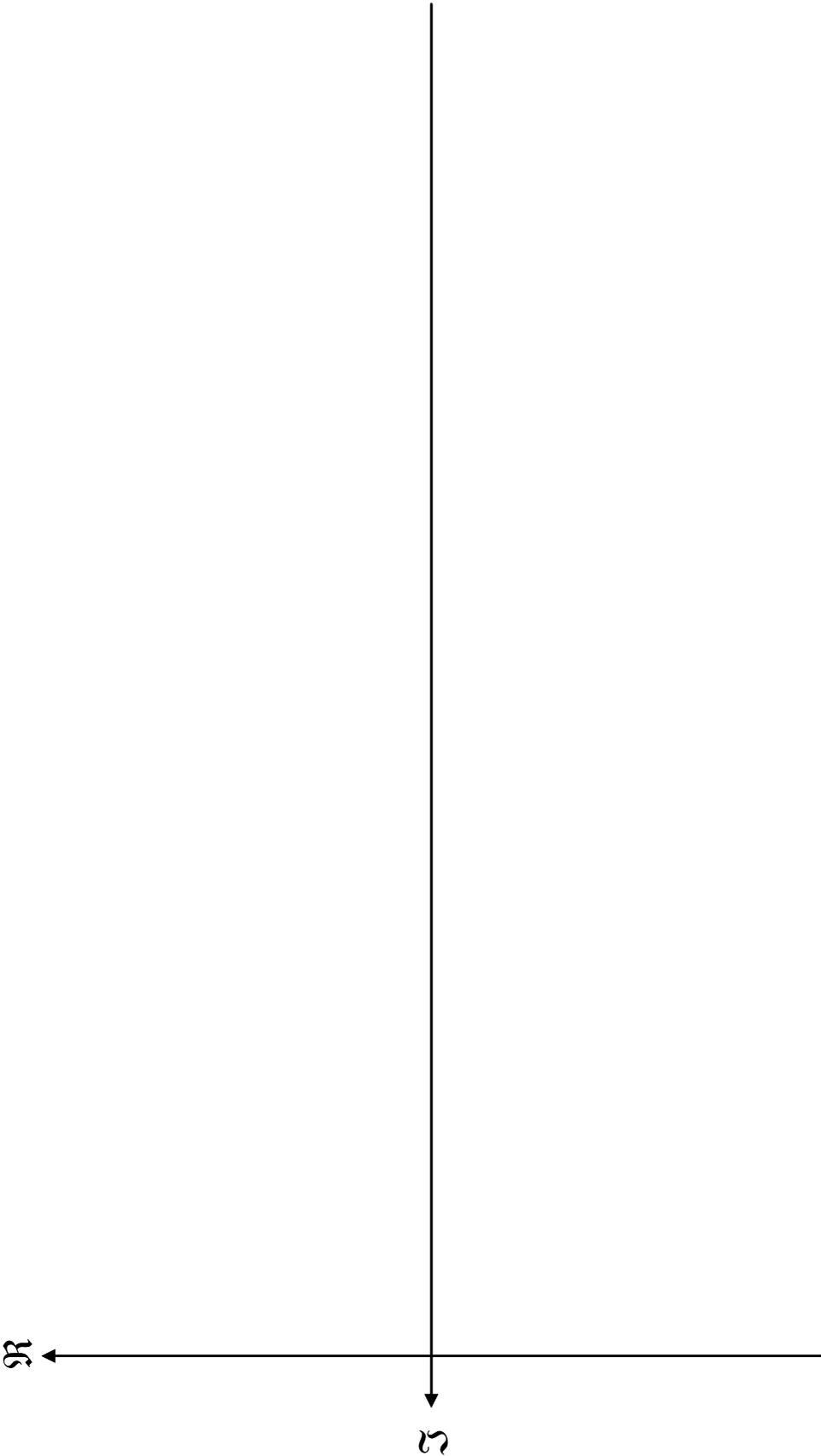
Aufgabe 3

Von einem dreisträngigen, sechspoligen Kurzschlussläufer-Asynchronmotor für ein 400 Hz-Netz eines Flugzeugs sind die strangbezogenen Größen Leerlaufstrom  $\underline{I}_{0,\text{Strang}} = 39 \text{ A} \cdot e^{-j90^\circ}$  und Kurzschlussstrom  $\underline{I}_{K,\text{Strang}} = 375 \text{ A} \cdot e^{-j80^\circ}$  bei der Bemessungs-Spannung  $\underline{U}_{\text{Strang}} = 115 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$  und -Frequenz  $f_N = 400 \text{ Hz}$  bekannt. Der Nennschlupf betrage  $s_N = 0,05$ .

Alle Verluste außer den Rotor-Stromwärmeverlusten dürfen vernachlässigt werden.

- a) Geben Sie die Leerlaufdrehzahl  $n_0$  der Maschine an! (1 Punkt)  
Wie groß ist die Bemessungs-Drehzahl  $n_N$ ? (1 Punkt)  
Berechnen Sie das Drehmoment im Anfahrpunkt  $M_K$ ! (1 Punkt)
- b) Zeichnen Sie den Leerlaufstrom  $\underline{I}_0$  in ein Diagramm! (s. nächste Seite, geeigneter Strommaßstab z. B. 20 A/cm) (1 Punkt)  
Ergänzen Sie den Kurzschlussstrom  $\underline{I}_K$ ! (1 Punkt)  
Zeichnen Sie die Ortskurve des Statorstroms! (1 Punkt)
- c) Zeichnen Sie eine Schlupfgerade in das Diagramm! (1 Punkt)  
Markieren Sie den Leerlaufschlupf  $s_0$  auf der Schlupfgeraden! (1 Punkt)  
Markieren Sie den Kurzschluss-Schlupf  $s_K$  auf der Schlupfgeraden! (1 Punkt)
- d) Zeichnen Sie den Bemessungspunkt ein! (1 Punkt)  
Bestimmen Sie den Statorstrom im Bemessungspunkt  $I_{1N}$ ! (1 Punkt)  
Wie groß ist das Verhältnis Bemessungs-Drehmoment zu Kurzschluss-Drehmoment  $M_N/M_K$ ? (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 3:



Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 3:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 3:

Aufgabe 4

Eine Wechselstrom-Kommutatormaschine für eine Waschmaschine weist folgende Daten auf: Bemessungsspannung  $U_N = 230 \text{ V}$ ,  $f_N = 50 \text{ Hz}$ . Beim Schleudern (Maximalpunkt) werden folgende Werte gemessen: Strom  $I_{\max} = 6,35 \text{ A}$ ,  $n_{\max} = 1800 \text{ 1/min}$ ,  $P_{\max} = 1100 \text{ W}$ ,  $\cos\varphi_{\max} = 0,87$ .

Außer den Stromwärmeverlusten im Anker- und Erregerkreis dürfen alle weiteren Verluste vernachlässigt werden. Der magnetische Kreis darf vereinfachend als linear angesehen werden.

- a) Berechnen Sie die aufgenommene elektrische Scheinleistung  $S_{\text{el,max}}$  im o. g. Maximalpunkt! (1 Punkt)
- Wie groß ist der Wirkungsgrad der Maschine im Maximalpunkt  $\eta_{\max}$ ? (1 Punkt)
- Geben Sie das Drehmoment der Maschine  $M_{\max}$  in diesem Betriebspunkt an! (1 Punkt)
- b) Berechnen Sie die Blindleistung im Maximalpunkt  $Q_{V,\max}$ ! (1 Punkt)
- Wie groß ist die Summe der Induktivitäten ( $L_a + L_f$ )? (1 Punkt)
- Ermitteln Sie den Gesamtwiderstand ( $R_a + R_f$ )? (1 Punkt)
- c) Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild der Maschine! (1 Punkt)
- Bestimmen Sie die induzierte Spannung im Maximalpunkt  $U_{i,\max}$ ! (1 Punkt)
- Hinweis 1: die induzierte Spannung  $\underline{U}_i$  liegt in Phase mit dem Strom!
- Hinweis 2: wenn Sie b) nicht gelöst haben, verwenden Sie  $(R_a + R_f) = 6,3 \text{ } \Omega$  und  $(L_a + L_f) = 43,8 \text{ mH}$ .
- Wie groß ist die Konstante  $k \cdot k' = \frac{k\Phi}{I}$ ? (1 Punkt)
- d) Im Normalwaschgang soll die Waschmaschine mit  $M_N = 1 \text{ Nm}$  bei  $n_N = 100 \text{ min}^{-1}$  betrieben werden.
- Welcher Strom  $I_N$  und welche Spannung  $U_N$  sind einzustellen? (2 Punkte)
- Für welchen der beiden Betriebspunkte (Schleuder- oder Normalwaschgang) sollte die Kühlung der Maschine dimensioniert sein? (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 4:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 4: