

## Klausur

### Elektrische Energiesysteme / Grundlagen der Elektrotechnik 3

04.10.2013

- 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 DIN A4 Blatt handgeschriebene Formelsammlung
- Dauer der Klausur: 2 h

Name (in Blockbuchstaben):

Matrikelnummer:

Studienrichtung:

Unterschrift:

---

Bereich für die Korrektur

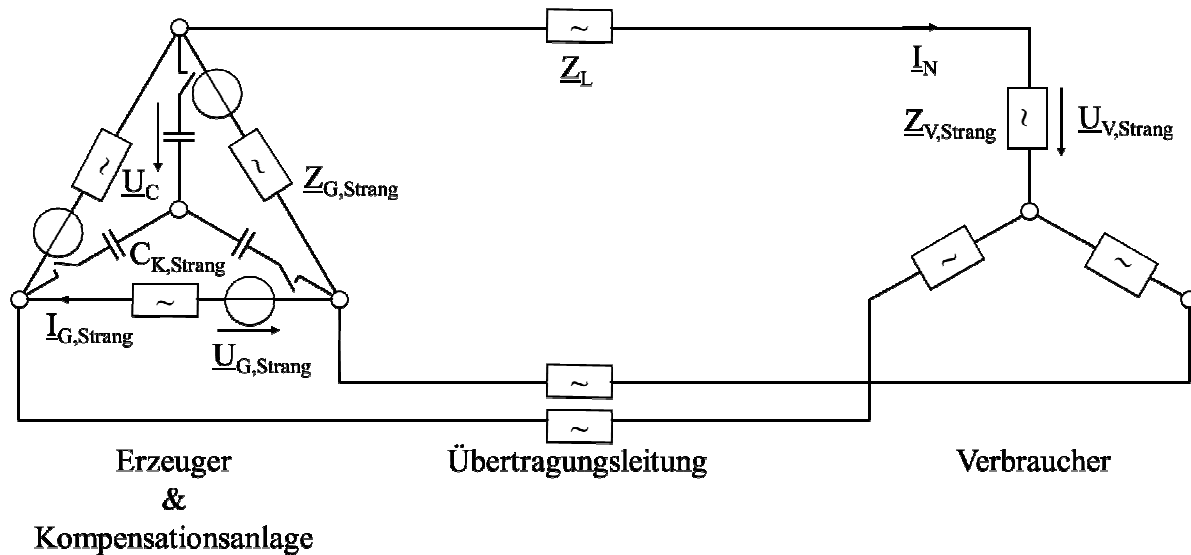
Aufgabe	Punkte	
1		
2		
3		
4		
Summe		
Note		

Aufgabe 1

Ein symmetrisches Niederspannungs-Drehstromnetz wird von einem Generator in Dreieckschaltung mit  $U_{G,Strang} = 27 \text{ kV}$  mit  $f_G = 50 \text{ Hz}$  und  $Z_{G,Strang} = j10 \Omega$  gespeist.

Die Energie wird über eine Drehstromleitung mit  $Z_L = j20 \Omega$  an den Verbraucher mit  $Z_{V,Strang} = 80 \Omega$  übertragen.

Weiterhin ist eine optionale Kompensationsanlage eingezeichnet.



- a) Zunächst seien alle Schalter offen, d. h. die Kompensationsanlage mit den Kondensatoren unwirksam. Die gesamte Schaltung soll mit Hilfe eines Y-Ersatzschaltbilds berechnet werden.  
 Skizzieren Sie ein einphasiges Ersatzschaltbild mit einer Generatorspannung  $\underline{U}_{GY}$  und der Generator-Innenimpedanz  $Z_{GY}$ ! (1 Punkt)  
 Geben Sie die Größen von  $\underline{U}_{GY}$  und  $Z_{GY}$  an! (2 Punkte)
- b) Berechnen Sie den Netzstrom  $\underline{I}_N$  nach Betrag und Phase! (2 Punkte)  
 Hinweis 1: die Phasenlage von  $\underline{U}_{GY}$  beträgt  $0^\circ$ !  
 Hinweis 2: wenn Sie a) nicht gelöst haben, nehmen Sie folgende Werte an:  $\underline{U}_{GY} = 15 \text{ kV}$  und  $Z_{GY} = j3\Omega$ .  
 Wie groß ist die Spannung  $\underline{U}_{V,Strang}$  an der Verbraucherimpedanz  $Z_{V,Strang}$ ? (1 Punkt)
- c) Nun erfolgt eine generatorseitige Blindstromkompensation durch Schließen der Schalter. Nehmen Sie dazu zunächst an, dass die Impedanz  $Z_{G,Y} = 0$  beträgt!  
 Berechnen Sie den Strom  $\underline{I}_{GY}$  für diesen vereinfachten Fall! (1 Punkt)  
 Wie groß müssen die Kapazitäten  $C_{K,Strang}$  für eine vollständige Blindstromkompensation am Generator sein? (1 Punkt)  
 Nun sei wieder  $Z_G = j10 \Omega$ . Wie verändert sich die Spannung am Verbraucher qualitativ, wenn die Kompensation zugeschaltet wird? (1 Punkt)
- d) Wie groß wäre die Blindleistung, wenn anstelle einer Drehstromübertragung eine Gleichstromübertragung gewählt würde? (1 Punkt)  
 Wann fließt ein größerer Strom im Netz, wenn der Erzeuger mit geerdetem Sternpunkt ausgeführt ist: Bei einphasigem Erdschluss am Verbraucher oder bei zweiphasigem Kurzschluss? (1 Punkt)  
 Nennen Sie die Bezeichnungen der Teilsysteme beim Verfahren der symmetrischen Komponenten! (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 1:

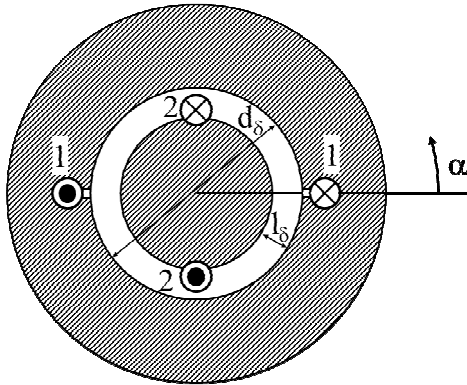
Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 1:

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 Bereich) darf als unendlich groß angenommen werden. Die Maschine verfügt über zwei Wicklungen:

- eine im Stator 1, die in Nuten untergebracht ist, welche im Luftspaltbereich als unendlich schmal angesehen werden dürfen
- eine zweite auf dem Rotor 2.



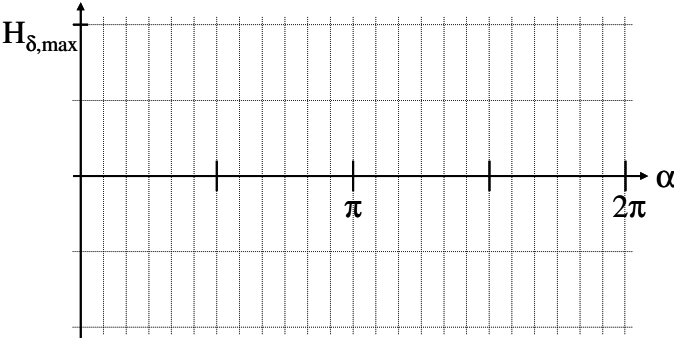
$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$

$$l_s = 1 \text{ mm}$$

$$d_s = 50 \text{ mm}$$

- a) Geben Sie die Polpaarzahl  $p$  an! (1 Punkt)  
Zunächst sei nur der Stator 1 bestromt. Zeichnen Sie den qualitativen Verlauf der magnetischen Feldstärke im Luftspalt auf das nächste Blatt ein! (2 Punkte)
- b) Der Strom im Stator betrage  $I = 10 \text{ A}$  bei einer Windungszahl  $w_1 = 100$ .  
Wie lautet das Durchflutungsgesetz für diesen Fall? (1 Punkt)  
Berechnen Sie damit die magnetische Feldstärke im Luftspalt! (1 Punkt)  
Geben Sie die magnetische Flussdichte im Luftspalt an! (1 Punkt)
- c) Nun wird auch die zweite Wicklung auf dem 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 eine Windung mit einem Strom von  $I_2 = 200 \text{ A}$  aufweist! (1 Punkt)  
Welches Drehmoment entwickelt die Maschine in diesem Betriebspunkt, wenn die wirksame Länge des Blechpakets  $l_{Fe} = 100 \text{ mm}$  beträgt? (1 Punkt)
- d) Ergänzen Sie folgende Gleichungen, so dass Zusammenhänge zwischen elektrischen und mechanischen Größen einer Gleichstrommaschine beschrieben werden!
- $n \sim$  (1 Punkt)
- $I \sim$  (1 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:

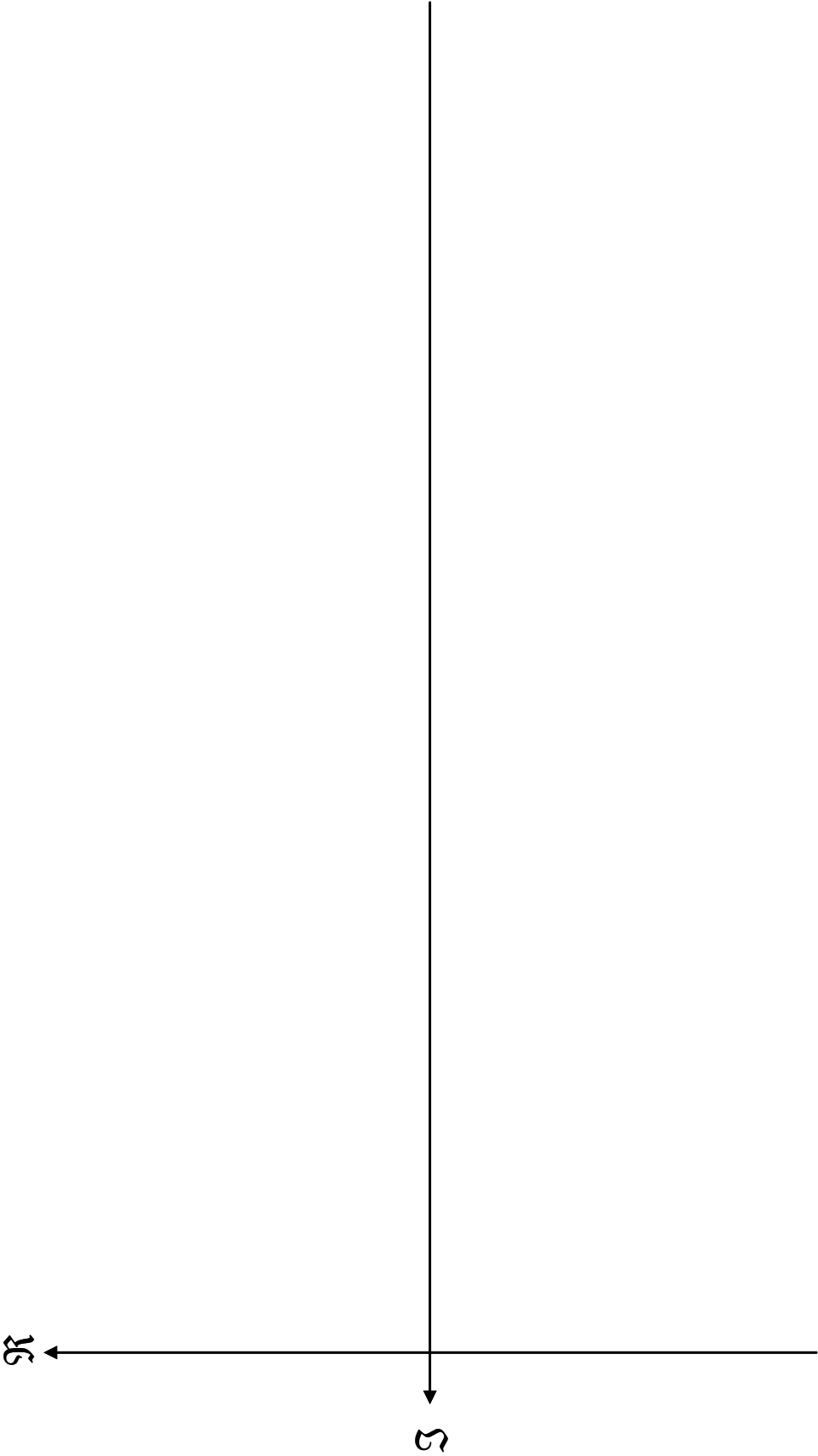
Aufgabe 3

Von einem dreisträngigen Kurzschlussläufer-Asynchronmotor sind die Größen Leerlaufstrom  $\underline{I}_0 = 45 \text{ A} \cdot e^{-j90^\circ}$  (Leiterstrom), Bemessungsspannung  $U_N = 6 \text{ kV}$  (Leiterspannung) und Bemessungsfrequenz  $f_N = 60 \text{ Hz}$  bekannt. Das Kipp-Drehmoment beträgt  $9,5 \text{ kNm}$ . Die Drehzahl im Kippunkt beträgt  $n_{\text{Kipp}} = 1600 \text{ min}^{-1}$ .

Alle Verluste außer den Rotor-Stromwärmeverlusten dürfen vernachlässigt werden.

- a) Zeichnen Sie den Leerlaufstrom  $\underline{I}_0$  in ein Diagramm! (s. nächste Seite, geeigneter Strommaßstab: z. B. 30 A entspricht 1 cm) (1 Punkt)  
Berechnen Sie den Wirkanteil des Kippstroms  $I_{W,\text{Kipp}}$ ! (1 Punkt)  
Zeichnen Sie die Ortskurve des Statorstroms! (1 Punkt)
- b) Ermitteln Sie graphisch den Strom  $\underline{I}_{\text{opt}}$ , bei dem der maximale Leistungsfaktor  $\cos\varphi_{\text{opt}}$  bzw. der minimale Phasenwinkel  $\varphi_{\text{opt}}$  erreicht wird! Geben Sie  $\underline{I}_{\text{opt}}$  nach Betrag und Phase an! (2 Punkte)  
Wie groß ist das Drehmoment  $M_{\text{opt}}$  in diesem Optimalpunkt? (1 Punkt)
- c) Zeichnen Sie eine Schlupfgerade in das Diagramm! (1 Punkt)  
Berechnen Sie den Schlupf  $s_{\text{Kipp}}$  im Kippunkt! (1 Punkt)  
Ermitteln Sie den Schlupf  $s_{\text{opt}}$  im Optimalpunkt! (1 Punkt)
- d) Welche Leerlaufdrehzahl hat eine vierpolige Maschine am 400 Hz-Netz? (1 Punkt)  
Welche Leitermaterialien werden bei Käfigläufern am häufigsten verwendet? (2 Punkte)

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 werden folgende Werte gemessen: Strom  $I_{\max} = 7,75 \text{ A}$ ,  $n_{\max} = 16000 \text{ 1/min}$ ,  $P_{\max} = 1000 \text{ W}$ ,  $\cos\varphi_{\max} = 0,86$ .

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 Leistung  $P_{\text{el,max}}$  im o. g. Maximalpunkt! (1 Punkt)

Geben Sie das Drehmoment der Maschine  $M_{\max}$  in diesem Betriebspunkt an! (1 Punkt)

Wie groß ist der Wirkungsgrad der Maschine im Maximalpunkt  $\eta_{\max}$ ? (1 Punkt)

- b) Berechnen Sie die Blindleistung im Maximalpunkt  $Q_{\max}$ ! (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 das 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  $(R_a + R_f) = 8 \Omega$  und  $(L_a + L_f) = 50 \text{ mH}$ .

Wie groß ist die Konstante  $k \cdot k' = \frac{k\Phi}{I}$ ? (1 Punkt)

- d) Im Schongang soll die Waschmaschine mit  $M_S = 0,1 \text{ Nm}$  bei  $1000 \text{ min}^{-1}$  betrieben werden. Welcher Strom  $I_S$  und welche Spannung  $U_S$  sind einzustellen? (2 Punkte)

Hinweis: wenn Sie b) bzw. c) nicht gelöst haben, verwenden Sie  $(R_a + R_f) = 8 \Omega$  und  $(L_a + L_f) = 50 \text{ mH}$  sowie  $k \cdot k' = 0,06 \frac{\text{Vs}}{\text{A}}$ .

Ist es sinnvoll, die Kühlung der Maschine für den Schleudergang auszulegen? (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 4:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 4:



Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 4:

Extrablatt zu Aufgabe: