

Klausur

Elektrische Energiesysteme

07.10.2015

- 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 DIN A4 Blatt handgeschriebene 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		

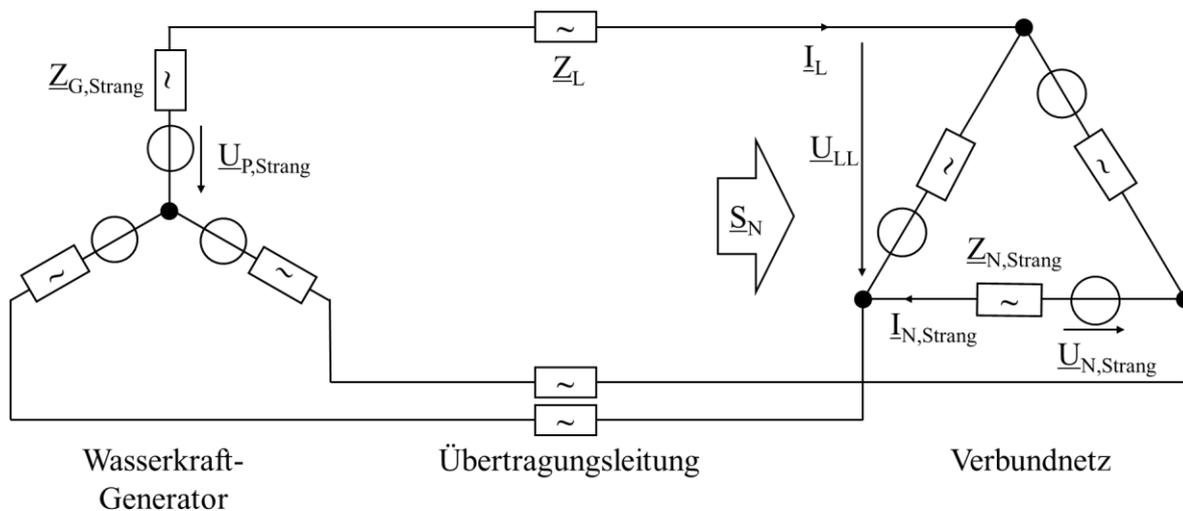
Aufgabe 1

Ein Wasserkraftgenerator wird am dreiphasigen Verbundnetz betrieben. Die Schaltung sei symmetrisch.

Der Generator in Sternschaltung habe eine einstellbare Polradspannung $U_{P,Strang}$ und eine rein induktive Innenimpedanz von $Z_{G,Strang} = j11 \Omega$.

Die Energie wird über eine Drehstromleitung mit $Z_L = (4+j3) \Omega$ übertragen.

Das Verbundnetz kann durch ein Dreieck-Ersatzschaltbild mit je einer realen Spannungsquelle pro Strang beschrieben werden. Diese besteht aus der Spannungsquelle $U_{N,Strang} = 690 \text{ V}$ und der rein reellen Impedanz $Z_{N,Strang} = 1 \Omega$.



- Skizzieren Sie ein einphasiges Stern-Ersatzschaltbild für die gesamte Schaltung mit einer Netzspannung \underline{U}_{NY} und einer Netz-Innenimpedanz Z_{NY} ! (1 Punkt)
Geben Sie die Größen von \underline{U}_{NY} und Z_{NY} an! (2 Punkte)
- Berechnen Sie die ins das Netz eingespeiste Scheinleistung als Funktion der Polradspannung und der Netzspannung $\underline{S}_N = f(\underline{U}_P, \underline{U}_N)$ allgemein in Formeldarstellung! (2 Punkte)
- Welche Phasenlage sollte der Strom \underline{I}_L bezüglich der Netzspannung \underline{U}_{LY} (Ersatzspannung für \underline{U}_{LL} im einphasigen Ersatzschaltbild) haben, damit dort reine Wirkleistung $\underline{S}_N = P_N = 1 \text{ MW}$ eingespeist wird? (Hinweis: Beachten Sie, dass Z_N reell ist!) (1 Punkt)
Wie groß muss der Strom \underline{I}_L sein, um eine reine Wirkleistung von 1 MW in das Netz einzuspeisen? (1 Punkt)
- Berechnen Sie die dafür einzustellende Polradspannung U_P ! (Hinweis: Wenn Sie \underline{I}_L nicht berechnen konnten, nehmen Sie $\underline{I}_L = 555 \text{ A}$ an!) (2 Punkte)
- Wie verändert sich der Phasenwinkel des Netzstroms \underline{I}_L qualitativ, wenn die Spannung U_P bei gleichbleibender Wirkleistung erhöht wird? (1 Punkt)
- Der Generator sei als elektrisch erregte Synchronmaschine ausgeführt. Mit welcher Maßnahme können Sie die Polradspannung verstellen? (Hinweis: Das Verbundnetz gibt bestimmte Größen vor, die Sie nicht verändern dürfen.) (1 Punkt)
- Nennen Sie die Bezeichnungen der Teilsysteme beim Verfahren der symmetrischen Komponenten! (1 Punkt)

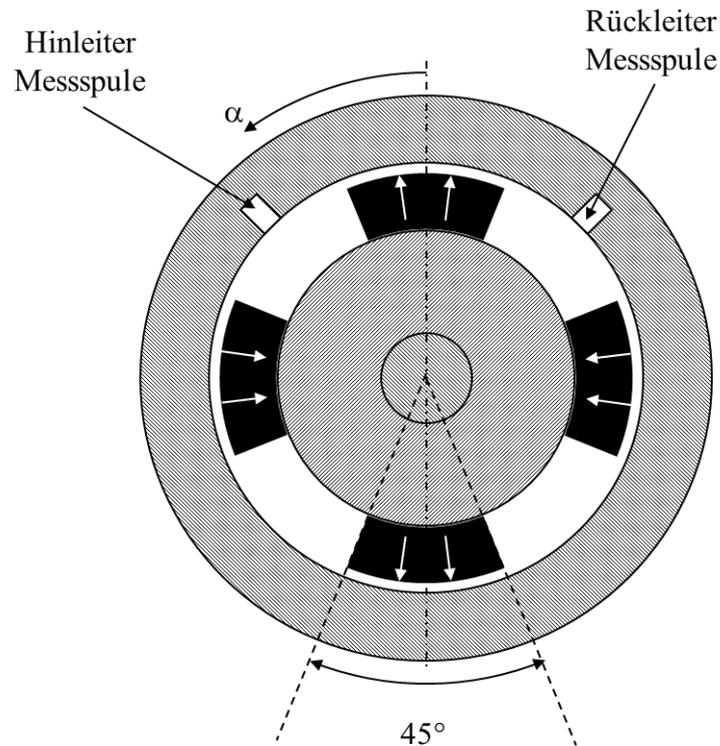
Lösung zu Aufgabe 1:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 1:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 1:

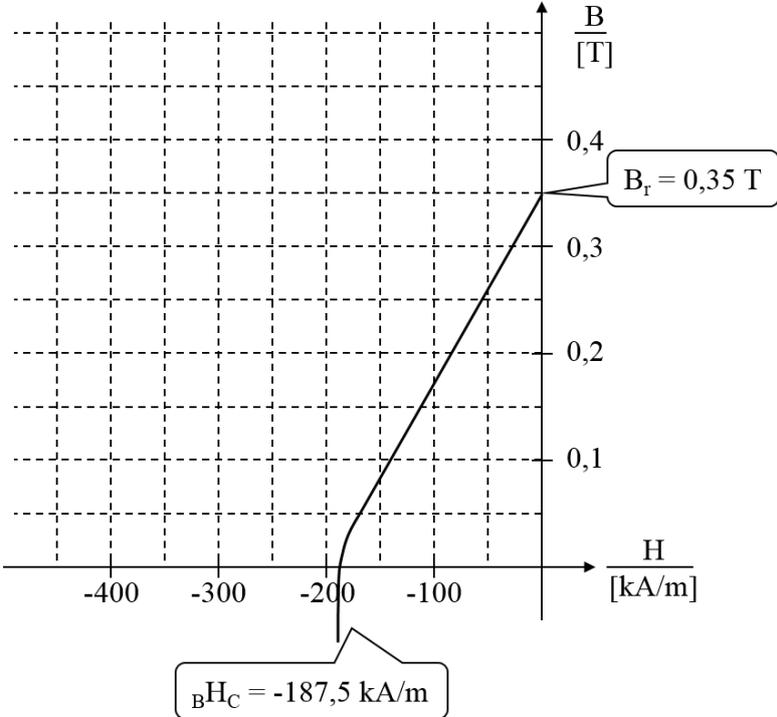
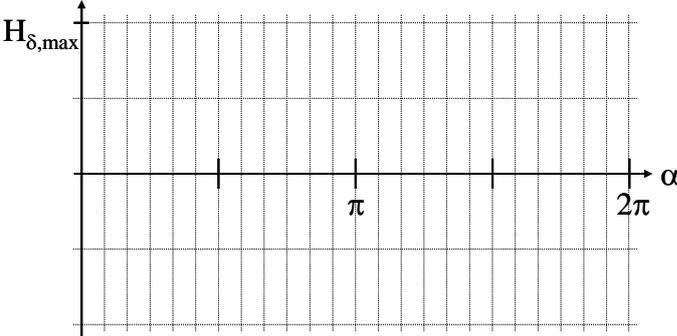
Aufgabe 2

Gegeben seien der untenstehende Querschnitt eines magnetischen Kreises aus einer vereinfacht dargestellten permanentenerregten Synchronmaschine. Die Permeabilität des Weicheisens (schraffierter Bereich) darf als unendlich groß angenommen werden. Die Permanentmagnete (schwarz) sind in der eingezeichneten Art radial magnetisiert (Richtung von B_r im Magneten).



- a) Wieviele Pole hat die Maschine? (1 Punkt)
Tragen Sie den qualitativen Verlauf der magnetischen Feldstärke im Luftspalt vorzeichenrichtig über dem Drehwinkel in die Skizze auf dem Lösungsblatt ein! Die Streuung darf vernachlässigt werden. (1 Punkt)
- b) Die radiale Magnethöhe l_m beträgt 4 mm und der Luftspalt hat eine radiale Länge l_δ von 1 mm. Nehmen Sie eine näherungsweise gleichbleibende Fläche von Magnet und Luftspalt an!
Zeichnen Sie die Scherungsgerade in das Lösungsblatt auf der nächsten Seite! (2 Punkte)
Geben Sie die magnetische Flussdichte im Magneten B_m an! (1 Punkt)
Um welches Permanentmagnetmaterial könnte es sich handeln? (1 Punkt)
- c) Wie groß wird der Spitzenwert der magnetischen Flussverkettung Ψ_P in der Messspule mit $w_1 = 100$ Windungen, wenn das Feld an der Magnetoberfläche $A_P = 200 \text{ mm}^2$ als radial mit konstantem Flussdichte-Betrag nach b) angenommen wird? (Hinweis: falls Sie b) nicht beantwortet haben, nehmen Sie $B_m = 0,3 \text{ T}$ an. (2 Punkte)
Wie groß ist die Frequenz der induzierten Spannung bei $n = 1500 \text{ min}^{-1}$? (1 Punkt)
- d) Welche Drehzahl hat eine 60-polige Synchronmaschine am 50 Hz-Drehstromnetz im Bemessungspunkt? (1 Punkt)
Von welchen beiden Betriebsgrößen hängt die Polradspannung einer elektrisch erregten Synchronmaschine ab? (2 Punkte)

Lösung zu Aufgabe 2:



Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 2:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 2:

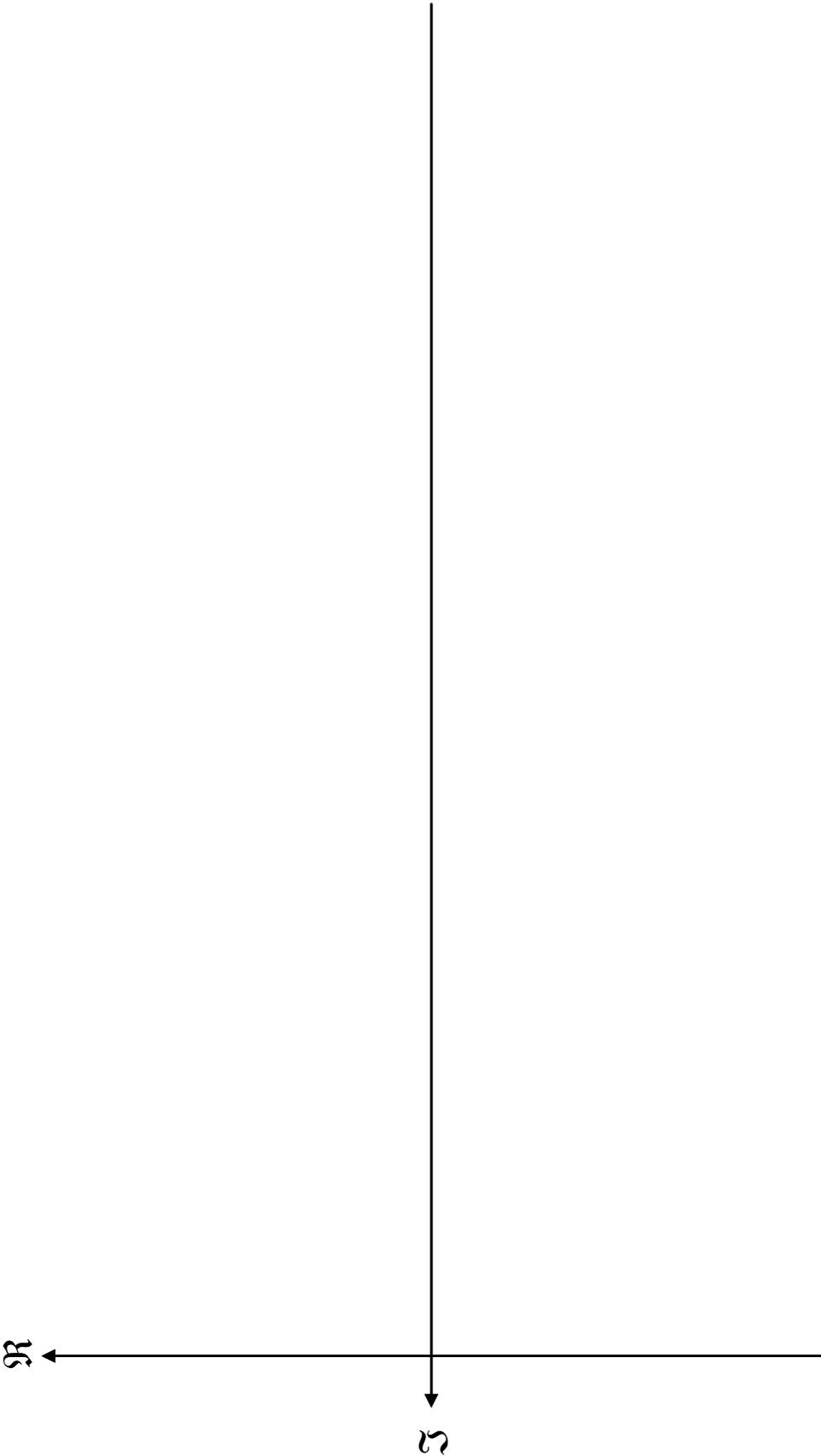
Aufgabe 3

Von einem dreisträngigen Kurzschlussläufer-Asynchronmotor sind die Größen Leerlaufstrom $\underline{I}_0 = 50 \text{ A} \cdot e^{-j90^\circ}$ (Leiterstrom), Bemessungsspannung $U_N = 3 \text{ kV}$ (Leiterspannung) und Bemessungsfrequenz $f_N = 50 \text{ Hz}$ bekannt. Das Kipp-Drehmoment beträgt $8,5 \text{ kNm}$. Die Drehzahl im Kippunkt beträgt $n_{\text{Kipp}} = 1250 \text{ min}^{-1}$.

Alle Verluste außer den Rotor-Stromwärmeverlusten dürfen vernachlässigt werden.

- a) Berechnen Sie den Wirkanteil des Kippstroms $I_{W,\text{Kipp}}$! (2 Punkte)
Zeichnen Sie den Leerlaufstrom \underline{I}_0 in ein Diagramm! (s. nächste Seite, geeigneter Strommaßstab: z. B. 50 A entsprechen 1 cm) (1 Punkt)
Zeichnen Sie die Ortskurve des Statorstroms! (1 Punkt)
- b) Welche Polpaarzahl hat die Maschine? (1 Punkt)
Zeichnen Sie eine Schlupfgerade in das Diagramm! (1 Punkt)
Berechnen Sie den Schlupf s_{Kipp} im Kippunkt! (1 Punkt)
- c) Ermitteln Sie den Kurzschlusspunkt! (1 Punkt)
Bestimmen Sie den Kurzschlussstrom! (1 Punkt)
Wie groß ist das Kurzschlussdrehmoment? (1 Punkt)
- d) Nennen Sie zwei Möglichkeiten, mit deren Hilfe Sie mehr Kurzschlussdrehmoment erzeugen können, ohne dabei den Statorstrom zu erhöhen! (2 Punkte)

Lösung zu Aufgabe 3:



Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 3:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 3:

Aufgabe 4

Eine fremderregte Gleichstrommaschine weist folgende Daten auf: Anker-Bemessungsspannung $U_{aN} = 400 \text{ V}$, Anker-Bemessungsstrom $I_{aN} = 395 \text{ A}$, $n_N = 1800 \text{ 1/min}$, $P_N = 143 \text{ kW}$, $n_{\max} = 2500 \text{ 1/min}$, Erregerstrom- und Spannung im Bemessungspunkt $I_{fN} = 4 \text{ A}$ und $U_{fN} = 250 \text{ V}$.

Es sollen nur die Stromwärmeverluste im Anker- und Erregerwiderstand berücksichtigt werden. Der magnetische Kreis darf als linear angesehen werden.

- a) Zeichnen Sie ein Ersatzschaltbild der Maschine! (2 Punkte)
Geben Sie die Drehmoment-Konstante der Maschine $k\Phi/(2\pi)$ an! (1 Punkt)
- b) Berechnen Sie die Ankerverluste im Bemessungspunkt P_{VaN} ! (1 Punkt)
Wie groß ist der Ankerwiderstand R_a ? (1 Punkt)
Wie groß sind die Stromwärmeverluste der Erregerwicklung P_{fN} im Bemessungspunkt! (1 Punkt)
- c) Die Maschine soll bei der Drehzahl $n_c = 2300 \text{ 1/min}$ mit der Leistung $P_c = 95 \text{ kW}$ betrieben werden. Der Erregerstrom betrage $I_{fc} = 3 \text{ A}$. (Hinweis: Falls Sie b) nicht lösen konnten, nehmen Sie $R_a = 100 \text{ m}\Omega$ an!)
Wie groß wird die induzierte Spannung U_{ic} ? (1 Punkt)
Wird der zulässige Ankerstrom I_{aN} überschritten? (1 Punkt)
Wird die zulässige Ankerspannung U_{aN} überschritten? (1 Punkt)
- d) Wie sind die Leiter in einem Gleichstromnetz normgerecht zu bezeichnen? (1 Punkt)
Welche Besonderheiten sind bezüglich der Isolation bei Geräten der Schutzklasse II (z. B. Ladegeräte für Mobilfunk) zu beachten? (1 Punkt)
Darf ein Gerät der Schutzart IP00 dauerhaft im Freien betrieben werden? (1 Punkt)

Lösung zu Aufgabe 4:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 4:

Fortsetzung Lösung zu Aufgabe 4: