



Mechatronik und elektrische Antriebe

24.03.2015

Nachname:					Matrikelnummer:																																
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td> </tr> </table>																								<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td> </tr> </table>													
Vorname:																																					
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td><td style="width: 20px;"> </td> </tr> </table>																																					
Studiengang:																																					
Aufgabe:	1	2	3			Total		Note																													
(Punkte)	(21)	(20)	(22)			(63)																															

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

- ein nichtprogrammierbarer Taschenrechner ohne grafikfähiges Display
- Zeichenmaterialien (Zirkel, Geodreieck, Lineal, Stifte...)

Bitte Studenausweis mit Lichtbild bereitlegen!

Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer. Benutzen Sie für jede Aufgabe einen neuen Klausurbogen. Verwenden Sie keine Bleistifte und keine roten Stifte.

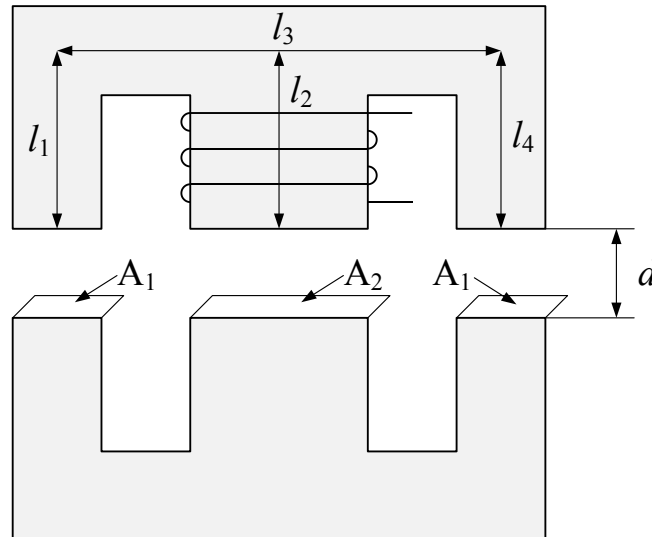
Bei Zahlenrechnungen sind die Maßeinheiten in jedem Schritt mitzuführen. Nichtbeachtung führt zu Punktabzug. Alle Lösungswege sind nachvollziehbar zu dokumentieren und zu kommentieren! Die Angabe eines Endergebnisses ohne erkennbaren Lösungsweg wird nicht gewertet.

Sie können nur dann an der Klausur teilnehmen, wenn Sie sich im System PAUL angemeldet haben. Falls Sie trotz fehlender Anmeldung diese Klausur mitschreiben, wird das Ergebnis nicht gewertet.

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Magnetlager
(21 Punkte)

Gegeben ist der folgende Aufbau auf zwei identischen E-Eisenprofilen mit einem Luftspalt $d = 1 \text{ mm}$. Hierbei ist lediglich der obere Kern mit einer Wicklung mit $N = 200$ Windungen versehen. Diese Wicklung ist mit einem konstanten Strom $I = 8,5 \text{ A}$ erregt.



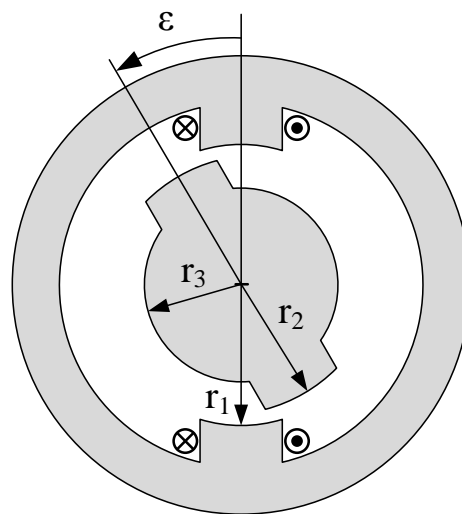
$$l_1 = 4 \text{ cm}, l_2 = 4 \text{ cm}, l_3 = 12 \text{ cm}, l_4 = 4 \text{ cm}, A_1 = 350 \text{ mm}^2, A_2 = 700 \text{ mm}^2, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Vs/Am}, \mu_r = 1800$$

- 1.1 Stellen Sie das magnetische Ersatzmodell der Anordnung auf und berechnen Sie die einzelnen Reluktanzen. (5 P)
- 1.2 Berechnen Sie die Gesamtrelektanz, die von der MMF Quelle gesehen wird. (3 P)
- 1.3 Bestimmen Sie die Flussdichten in den Luftspalten und die Induktivität der Spule. (4 P)
- 1.4 Berechnen Sie den magnetischen Druck. Der Einfluss des Eisens kann vernachlässigt werden. (4 P)
- 1.5 Skizzieren Sie den Verlauf des magnetischen Drucks in Abhängigkeit des Luftspalts d . (2 P)
- 1.6 Erklären Sie den Vorgang einer irreversiblen Entmagnetisierung eines Permanentmagneten. Gehen Sie hierbei auch auf die resultierende Remanenzflussdichte ein. (3 P)

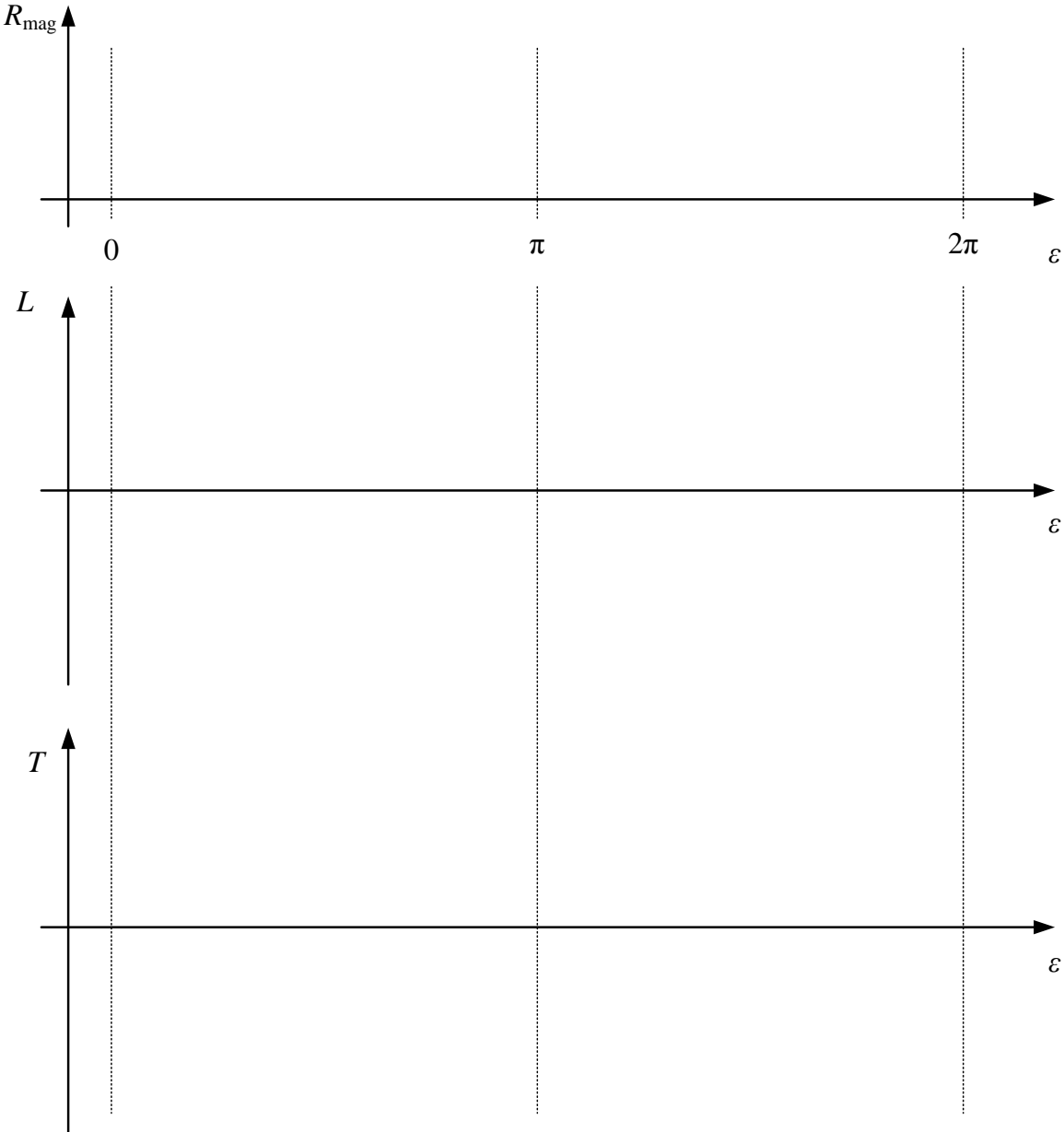
Aufgabe 2: Reluktanzmotor
(20 Punkte)

Gegeben ist ein geschalteter Reluktanzmotor mit 2 Stator- und Rotorpolen gleicher Fläche A_p sowie gleicher Polbreite α . Der Einfluss des Eisens kann vernachlässigt werden ($\mu_{r,Fe} \rightarrow \infty$). Der Stator weist zwei Wicklungen mit jeweils $N = 125$ Windungen auf. Weitere Parameter des Motors können der Übersicht entnommen werden:

$$\alpha = 30^\circ, A_p = 100 \text{ mm}^2, r_1 = 122 \text{ mm}, r_2 = 120 \text{ mm}, r_3 = 80 \text{ mm}, I = 75 \text{ A}, \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$$



- 2.1 Berechnen Sie die Luftspaltreluktanz für den ausgerichteten und nicht ausgerichteten Fall. (5 P)
- 2.2 Berechnen Sie für beide Fälle den verketteten magnetischen Fluss. (5 P)
- 2.3 Bestimmen Sie den Leistungsfaktor. Stellen Sie hierfür ein Ψ/i Diagramm auf. (5 P)
- 2.4 Skizzieren Sie im nachfolgenden Diagramm den Verlauf der Luftspaltreluktanz, der Induktivität und des Drehmoments bei dem gegebenen konstanten Strom I . Berechnen Sie die entsprechenden Minimal- und Maximalwerte.
Achten Sie auf vollständige Achsenbeschriftungen! (5 P)



Aufgabe 3: BLDC

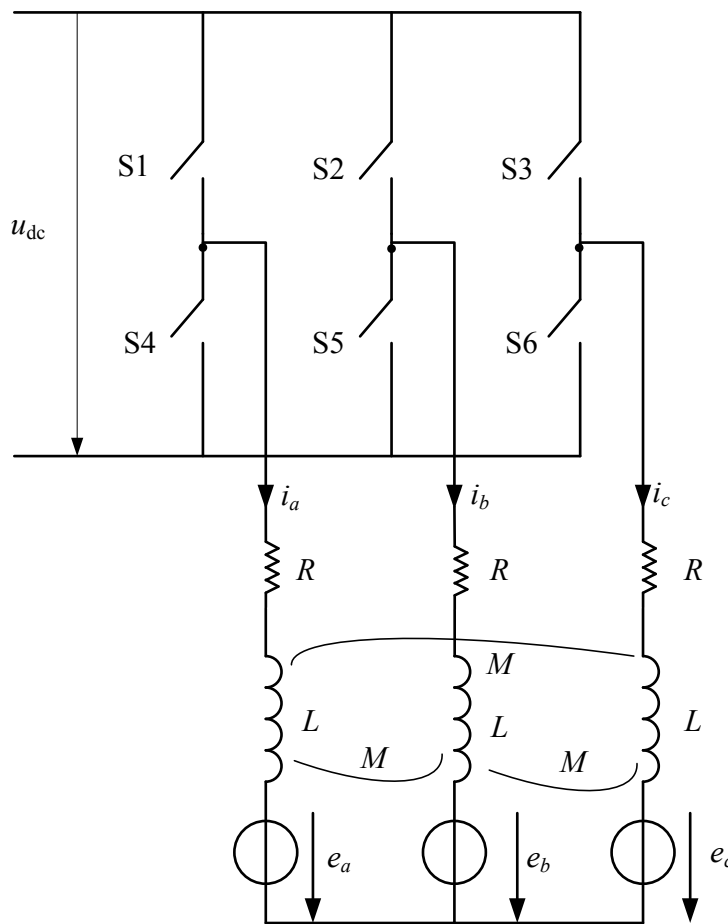
(22 Points)

Gegeben ist ein symmetrischer 3-phasiger BLDC Motor bei einer Drehzahl von $n= 5000 \text{ min}^{-1}$. Die mechanische Leistung des Motor beträgt $P = 20 \text{ kW}$. Bei der gegebenen Geschwindigkeit ergibt sich der auf der nächsten Seite dargestellte Verlauf der induzierten Spannung e_{ab} für eine elektrische Periode.

3.1 Berechnen Sie: (12 P)

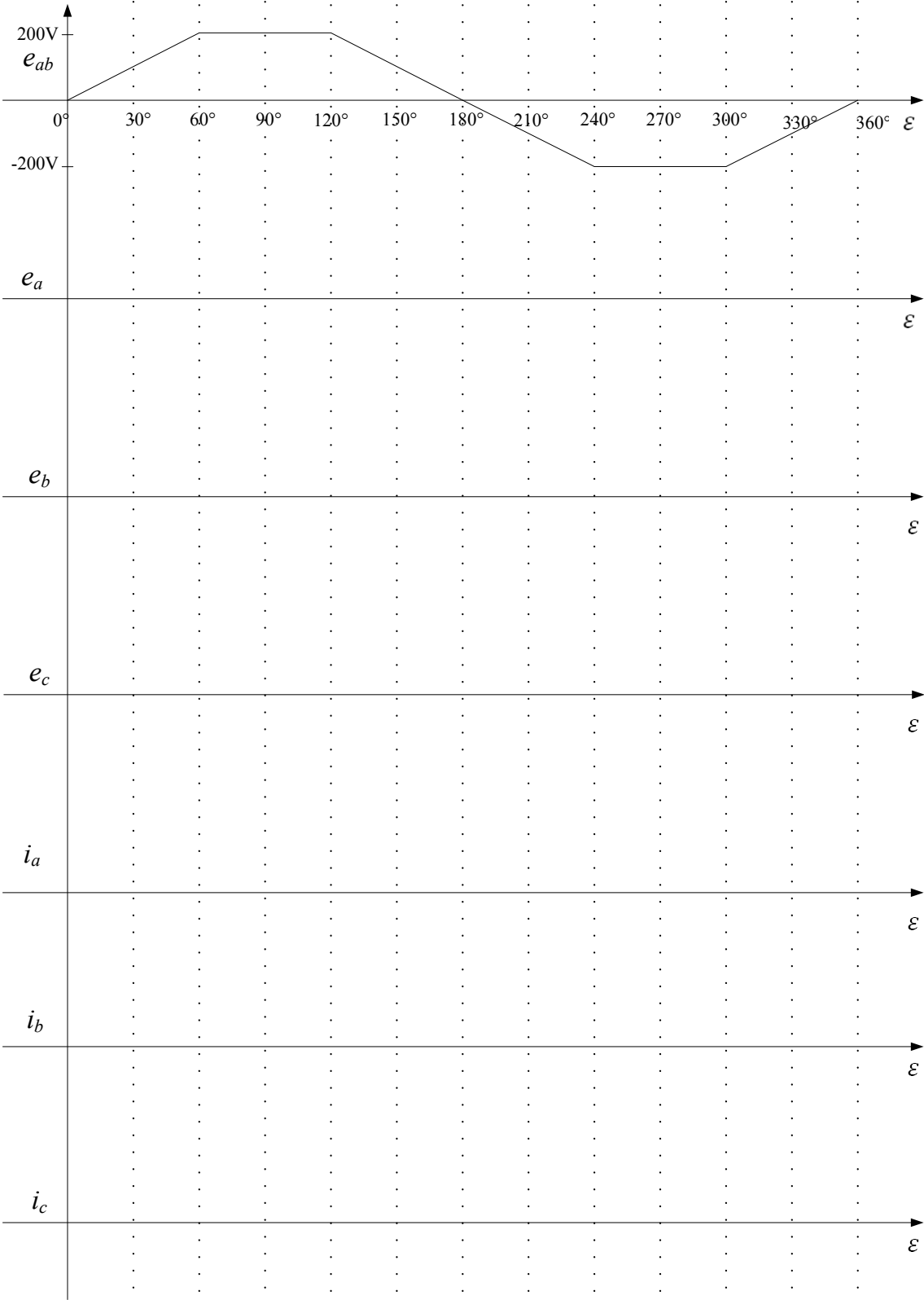
- a) Das an der Last anliegende Drehmoment unter den oben gegebenen Bedingungen.
- b) Die Amplitude der drei Phasenströme unter der Annahme blockförmiger Motorströme.
- c) Skizzieren Sie die Verläufe der induzierten Spannungen e_a , e_b sowie e_c (auf dem folgenden Blatt). Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.
- d) Skizzieren Sie die entsprechenden blockförmigen Ströme i_a , i_b und i_c (auf dem folgenden Blatt). Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.

3.2 Der Motor wird mit dem unten angegebenen dreiphasigen Umrichter (idealisierte Darstellung) betrieben: (3 P)

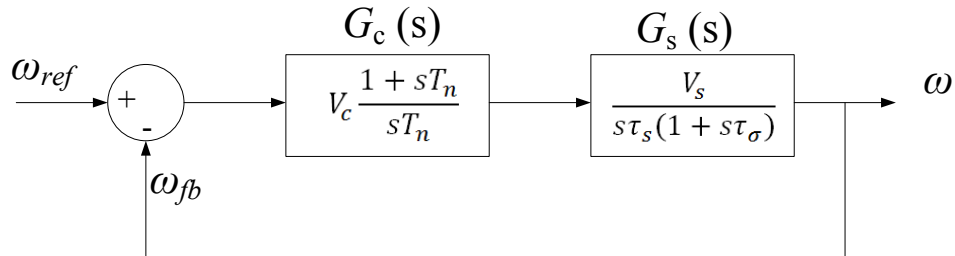


Betrachten Sie die folgende Situation $i_a = -i_c$ und $i_b = 0$.

- a) Welche Schalter von S_1 bis S_6 müssen geschlossen werden um diese Situation zu erzielen?
- b) Geben Sie die Differentialgleichung an, die sich in diesem Betriebspunkt einstellt.



- 3.3 Die vereinfachte Struktur der Stromregelung des BLDC Motors ist im unten gezeigten Bild dargestellt. Der Geschwindigkeitsregler mit einer vereinfachten Übertragungsfunktion (welche den Stromregler und eine Übertragungsfunktion umfasst) sind durch $G_c(s)$ und $G_s(s)$ mit $\tau_s = 0.2$ s, $\tau_\sigma = 5$ ms und $V_s = 0.1$ beschrieben (7 P)



Bestimmen Sie folgende Größen unter der Annahme, dass für den Regler ein PI-Typ (G_c) gewählt und mit Hilfe symmetrischen Optimums entworfen wurde:

- Die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises.
- Den Wert der Nachstellzeit der Regelung T_n bei einer gewünschten Grenzfrequenz von $\omega_c = 100$ s⁻¹.
- Die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises $\frac{\omega(s)}{\omega_{ref}(s)}$
- Die Amplitude des Verstärkungsfaktors V_c .