



# Mechatronik und elektrische Antriebe

03.09.2014

<b>Name:</b>					<b>Matrikelnummer:</b>			
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>					<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>			
<b>Vorname:</b>								
<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>					<input style="width: 100%; height: 20px;" type="text"/>			
<b>Studiengang:</b>								
<b>Aufgabe:</b>	1	2	3			<b>Gesamt</b>		<b>Note</b>
(Punkte)	(30)	(18)	(22)			(60)		

**Bearbeitungszeit: 120 Minuten**

**Zugelassene Hilfsmittel:**

- eine selbsterstellte, handgeschriebene Formelsammlung (1 Blatt DIN A4, beidseitig beschrieben, keine Kopien oder Ausdrücke)
- ein nichtprogrammierbarer Taschenrechner ohne grafikfähiges Display
- Zeichenmaterialien (Zirkel, Geodreieck, Lineal, Stifte...)

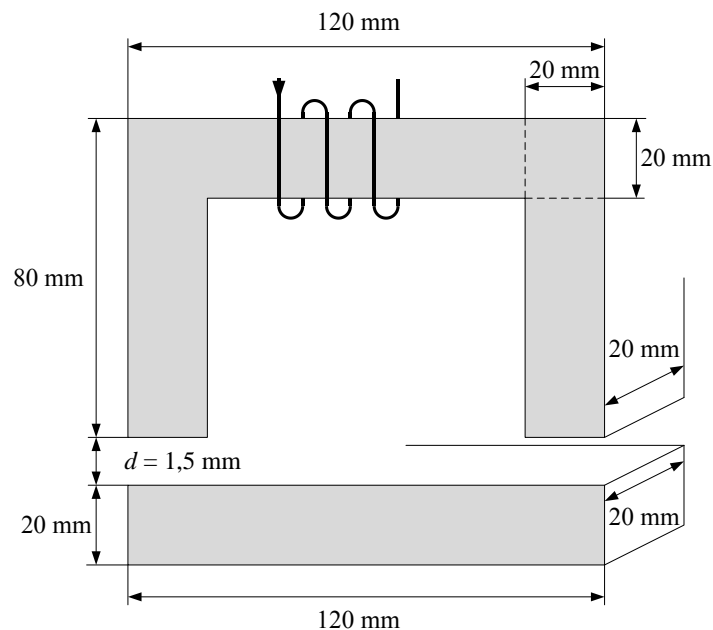
**Bitte beachten Sie:**

- 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.

**Viel Erfolg!**

**Aufgabe 1: Magnetlager**
**(30 Punkte)**

Gegeben ist die folgende Struktur eines einschenkigen Magnetlagers mit einer Welle. Die Wicklung besteht aus 1000 Windungen und die Permeabilität des Eisens beträgt 4000.



Die Abmessungen des Schenkels sowie der Welle können der Abbildung entnommen werden. Hinweis: Der ohmsche Anteil der Wicklung kann vernachlässigt werden.

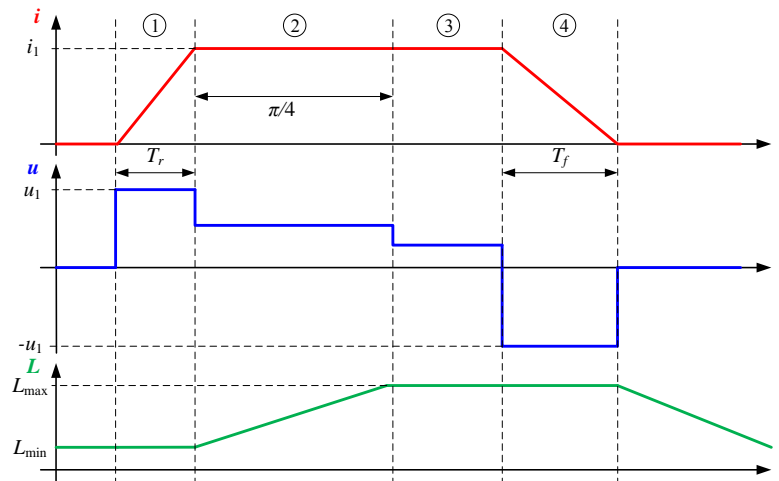
- 1.1 Bestimmen Sie die magnetisch wirksame Länge (Eisen und Luftspalt) der Anordnung. **(4 P)**
- 1.2 Die Spannung  $U_S$  wird an die Wicklung angelegt. Berechnen Sie den resultierenden Strom, den magnetischen Fluss und die Flussdichte im Luftspalt zum Zeitpunkt  $t = 0.5$  s. Der ohmsche Widerstand sowie Sättigung des Eisens kann vernachlässigt werden. **(10 P)**



- 1.3 Welche prozentuale Änderung der Flussdichte ergibt sich zum Zeitpunkt  $t = 0.5$  s, wenn die Seitenlänge des Schenkels von 80 mm auf 140 mm erhöht wird? Verwenden Sie den in Aufgabe 1.2 gegebenen Verlauf der Spannung. **(10 P)**
- 1.4 Stellen Sie nun die Ko-Energie als Funktion des Luftspalts  $d$  dar. Verwenden Sie hierfür die geometrischen Angaben aus Aufgabenteil 1.3. **(3 P)**
- 1.5 Bei welcher Luftspaltbreite  $d$  ist die Ko-Energie maximal? Welchen Wert weist sie dann auf? Verwenden Sie hierfür die geometrischen Angaben aus Aufgabenteil 1.3. **(3 P)**

**Aufgabe 2: Reluktanzmotor**

**(18 Punkte)**



Gegeben ist der zeitliche Verlauf des Stroms, der Spannung und der Induktivität eines Reluktanzmotors. Hierbei darf von linearem Materialverhalten, also einer stromunabhängigen Induktivität ausgegangen werden.

**2.1** Berechnen Sie die Auf- und Entmagnetisierungszeiten  $T_r$  und  $T_f$ . **(6 P)**

Nehmen Sie hierfür folgende Werte an:  $u_1 = 250 \text{ V}$ ,  $i_1 = 35 \text{ A}$ ,  $L_{\min} = 1 \text{ mH}$ ,  $L_{\max} = 2,75 \text{ mH}$ ,  $\omega = 120 \pi/\text{s}$ . Der ohmsche Widerstand kann hier vernachlässigt werden.

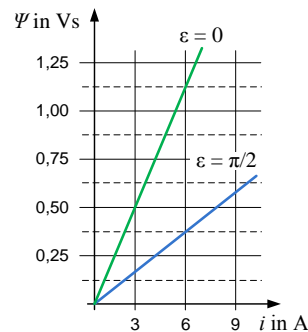
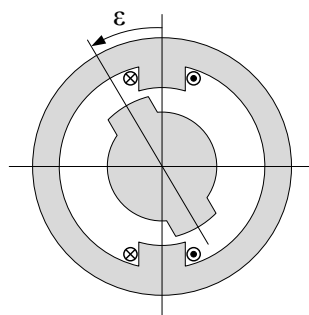
**2.2** Berechnen Sie die Spannungswerte im Zeitbereich 2 und 3.

Der ohmsche Widerstand beträgt hier  $R = 0,1 \Omega$

**(6 P)**

**Die nachfolgenden Fragen sind unabhängig von der in der Aufgabenstellung genannten Motorkonfiguration und können ohne Ergebnisse der bisherigen Aufgabenstellungen bearbeitet werden!**

Gegeben sei die dargestellte Magnetisierungskennlinie einer geschalteten Reluktanzmaschine mit einem Polpaar für die Positionen  $\epsilon = 0$  und  $\epsilon = \pi$ . Die Wicklungen haben jeweils 320 Windungen und werden von einem maximalen Strom  $I_{\text{Max}} = 6 \text{ A}$  durchflossen. Die Permeabilität des Eisens beträgt  $\mu_r = 1750$ . Hinweis: Die elektrischen und mechanischen Verluste seien vernachlässigbar.



**2.3** Wie groß ist die maximale mechanische Arbeit  $W_{\text{mech}}$ , die während einer elektrischen Periode abgegeben werden kann? **(3 P)**

**2.4** Wie groß ist dann das mittlere (über den Winkel gemittelte) Drehmoment einer Periode? **(3 P)**

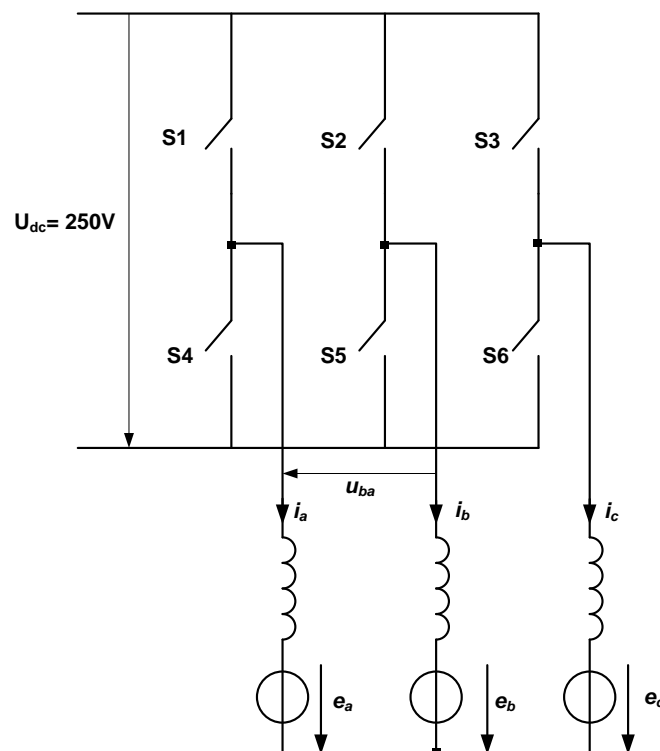
**Aufgabe 3: Bürstenlose Gleichstrommaschine**
**(22 Punkte)**

Gegeben ist ein symmetrischer 3-phasiger bürstenloser Gleichstrommotor bei einer Drehzahl von  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ . Die mechanische Leistung des Motor beträgt  $P = 10 \text{ kW}$ . Bei der gegebenen Geschwindigkeit ergibt sich der auf der nächsten Seite in Bild 3.1 dargestellte Verlauf der induzierten Spannung  $e_b$  der Phase B.

**3.1 Berechnen Sie:**
**(11 P)**

- Das an die Last anliegende Drehmoment unter den oben gegebenen Bedingungen.
- Die Amplitude der drei Phasenströme unter der Annahme blockförmiger Motorströme.
- Skizzieren Sie die Verläufe der induzierten Spannungen  $e_a$ ,  $e_b$  sowie die induzierte Spannung  $e_{ab}$  (auf dem folgenden Blatt). Wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.
- 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. **(4 P)**



Betrachten Sie die folgende Situation:  $i_a = -i_c$ ,  $i_b = 0 \text{ A}$  und  $u_{dc} = 250V$ .

- Welche Schalter von  $S_1$  bis  $S_6$  müssen geschlossen werden um diese Situation zu erzielen?
- Welchen Wert nimmt die Spannung  $u_{ca}$  in dieser Situation an?



Bild 3.1 Induzierte Spannungen und Ströme des BLDC

- 3.3 Die vereinfachte Struktur der Stromregelung des BLDC Motors ist in Bild 4.2 dargestellt. Der Regler, die Streckenübertragungsfunktion und die Übertragungsfunktion des Sensors sind durch  $G_c(s)$ ,  $G_s(s)$  und  $G_{se}(s)$  mit  $R = 1 \Omega$ ,  $\tau = 0.5 \text{ ms}$ ,  $\tau_d = 100 \mu\text{s}$  beschrieben. (7 P)

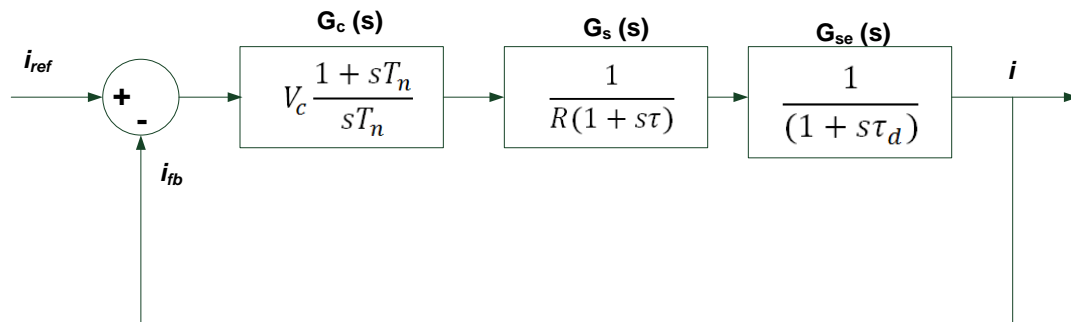


Bild 3.2 Struktur des Stromreglers des BLDC Motors

Bestimmen Sie folgende Größen unter der Annahme, dass für den Regler ein PI-Typ gewählt und mit Hilfe der Pol-Nullstellen-Kompensationsmethode (Betragsoptimum) entworfen wurde:

- Den Wert der Nachstellzeit der Regelung  $T_n$ .
- Die Übertragungsfunktion des offenen Regelkreises
- Die Übertragungsfunktion des geschlossenen Regelkreises  $\frac{I(s)}{I_{ref}(s)}$
- Die Amplitude des Verstärkungsfaktors  $V_c$  unter der Annahme, dass sich ein Dämpfungsfaktor des geschlossenen Regelkreises von  $d = 1$  ergibt.