



Mechatronik und elektrische Antriebe

28.03.2014

Name:					Matrikelnummer:																										
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>																				<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>											
Vorname:																															
<table border="1" style="width: 100%; height: 20px;"> <tr> <td style="width: 20px; height: 20px;"></td> </tr> </table>																															
Studiengang:																															
Aufgabe:	1	2	3	4		Gesamt		Note																							
(Punkte)	(25)	(25)	(25)	(25)																											

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

- eine selbsterstellte, handgeschriebene Formelsammlung (1 Blatt DIN A4, beidseitig beschrieben, keine Kopien oder Ausdrucke)
- 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.

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Magnetische Grundlagen

(25 Punkte)

1.1 Gegeben ist der in Bild 1.1 dargestellte magnetische Kreis. Zeichnen Sie die Verläufe des magnetischen Flusses ϕ im Eisen, der Flussdichte B und des Stroms i der Wicklung für den Zeitbereich von $t = 0$ bis 1 s. Der zeitliche Verlauf der Spannung $u_s(t)$ ist in Bild 1.2 dargestellt. Die Magnetisierungskurve für das verwendete Kernmaterial ist Bild 1.3 aufgezeigt. Hierbei ist zu beachten, dass die Magnetisierungskurve in drei abschnittsweise lineare Bereiche mit unterschiedlichen Steigungen unterteilt werden kann.

Vernachlässigen Sie den Wicklungswiderstand. Nehmen Sie darüber hinaus an, dass sich der gesamte magnetische Fluss im Eisen befindet und dass der magnetische Fluss im Anfangszustand Null ist.

Hinweis: Bitte skizzieren Sie die Verläufe in den dafür vorgesehenen Diagrammen auf den nächsten Seiten.

1.2 Berechnen Sie die im magnetischen Kreis gespeicherte Energie zum Zeitpunkt $t = 500$ ms.

1.3 Definieren Sie den Begriff *Induktivität* und diskutieren Sie den Begriff für den hier vorliegenden Fall.

1.4 Berechnen Sie den Wert / die Werte der Induktivität(en).

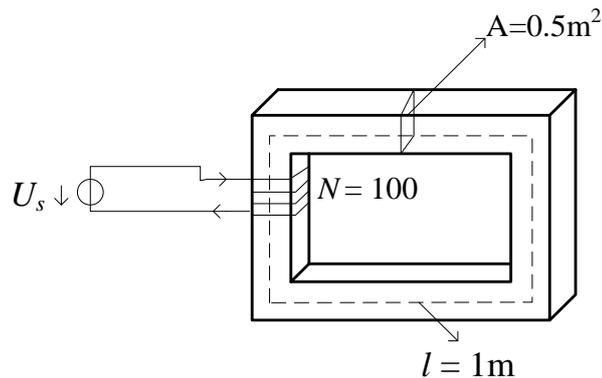


Bild 1.1 Magnetischer Kreis

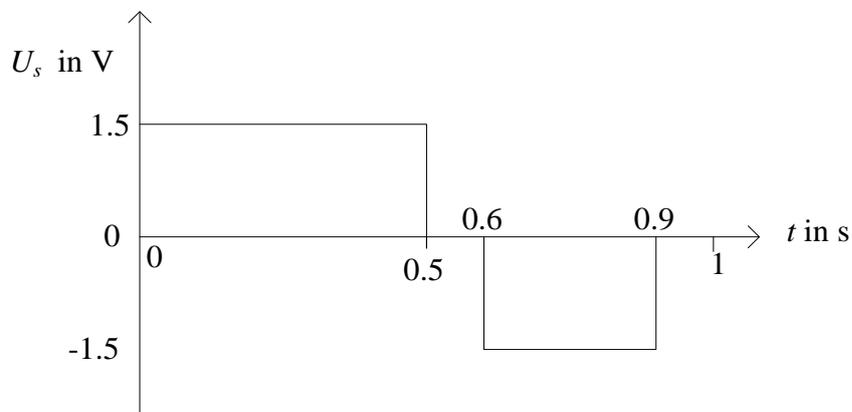


Bild 1.2 Zeitlicher Verlauf der Eingangsspannung

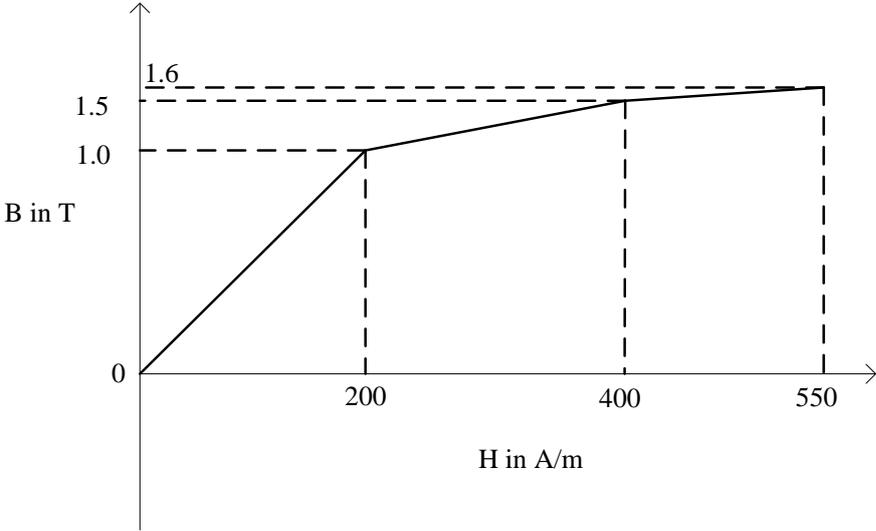
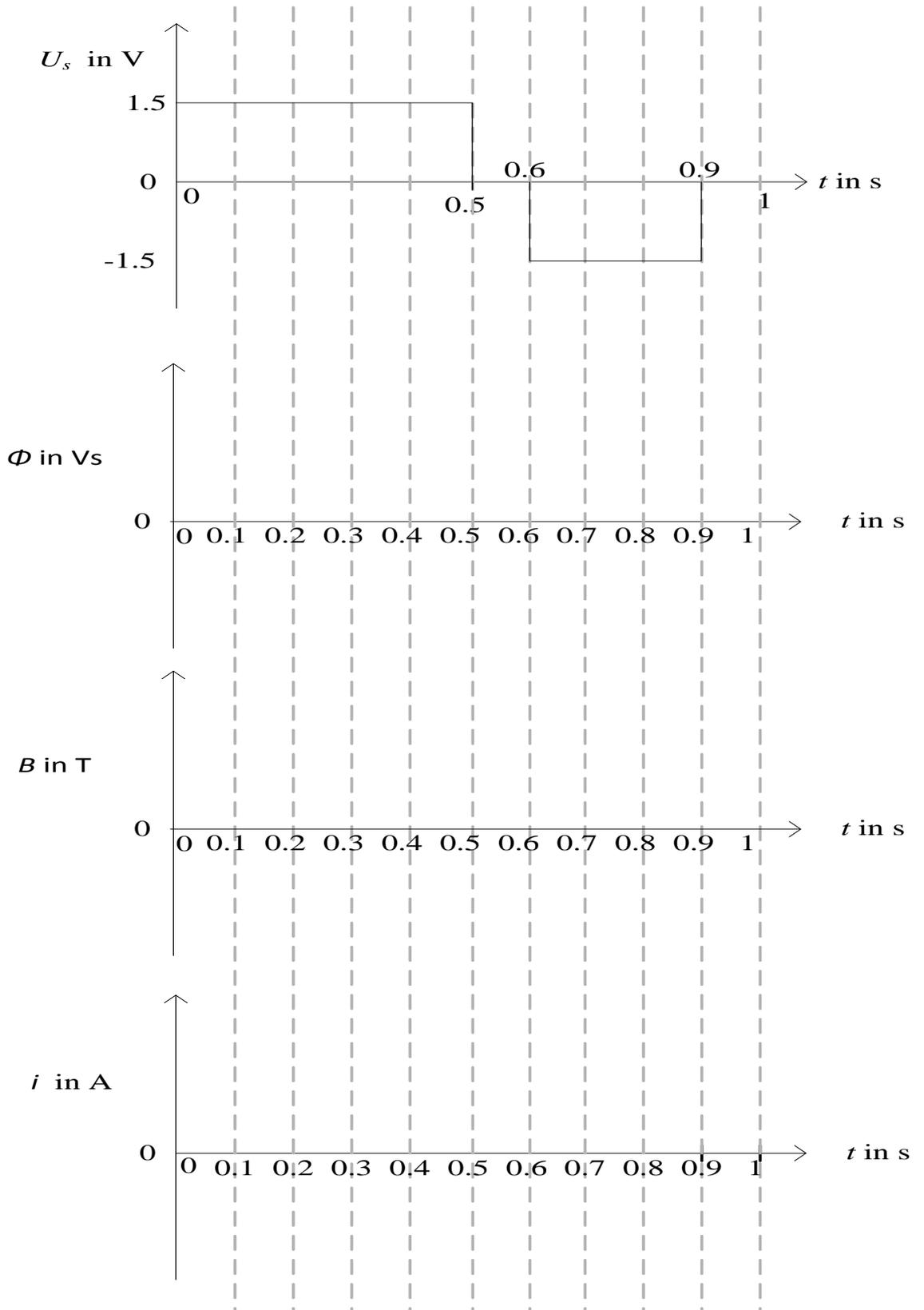


Bild 1.3 Magnetisierungskurve des Kernmaterials

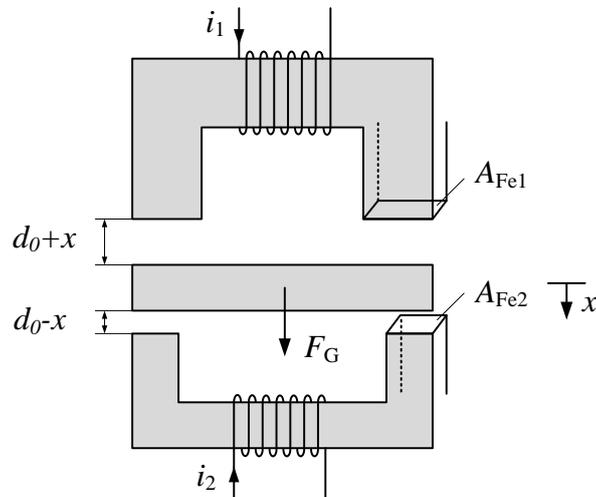
Lösungsblatt für Aufgabe 1.1



Aufgabe 2: Magnetlager

(25 Punkte)

Gegeben ist die folgende Struktur eines zwihschenkigen Magnetlagers mit einer zu lagernden Welle.



Beide Schenkel der Anordnung haben Wicklungen mit jeweils $N_1=N_2 = 1250$ Windungen. Die Wicklung des oberen Schenkels wird mit einem Strom $i_1=25$ A durchflossen. Die Querschnittsflächen betragen $A_{Fe1} = 100 \text{ mm}^2$ und $A_{Fe2} = 0,9 A_{Fe1}$. Zwischen den Schenkeln befindet sich eine Welle, deren gewünschte Ruhelage durch $d_0 = 3$ mm und $x = 1$ mm definiert ist. Die Gewichtskraft der Welle betrage $F_G = 1500$ N. **Annahme:** $R_L \gg R_{Fe}$

- 2.1 Berechnen Sie den Strom i_2 , der benötigt wird, um die Welle in der Ruheposition zu halten.
- 2.2 Berechnen Sie die benötigte veränderte Windungszahl N_2 , um die Welle mit $i_2 = i_1 = 25$ A in der oben gegebenen Ruhelage zu halten.

Die nachfolgenden Fragen können unabhängig von den obigen Aufgabenstellungen bearbeitet werden!

- 2.3 Nehmen Sie an, die Wicklungen werden jeweils durch 4-Quadranten-Steller gespeist. Hat die Versorgungsspannung des 4-Quadranten-Stellers einen Einfluss auf die Kraftentwicklung des Magnetlagers? Begründen Sie Ihre Aussage!
- 2.4 Ist eine Vormagnetisierung eines zwihschenkigen Magnetlagers sinnvoll? Begründen Sie Ihre Aussage! Kommentieren Sie außerdem die Idee einer Vormagnetisierung bei einer Anordnung mit nur einem Schenkel.
- 2.5 Die Regelungsstruktur für die Positionsregelung des Magnetlagers ist in Bild 2.1 skizziert. Benennen Sie die mit 1 bis 6 markierten Blöcke sowie die mit a bis g markierten Größen. Erläutern Sie **ausführlich** die Funktion bzw. die Bedeutung der jeweiligen Blöcke!

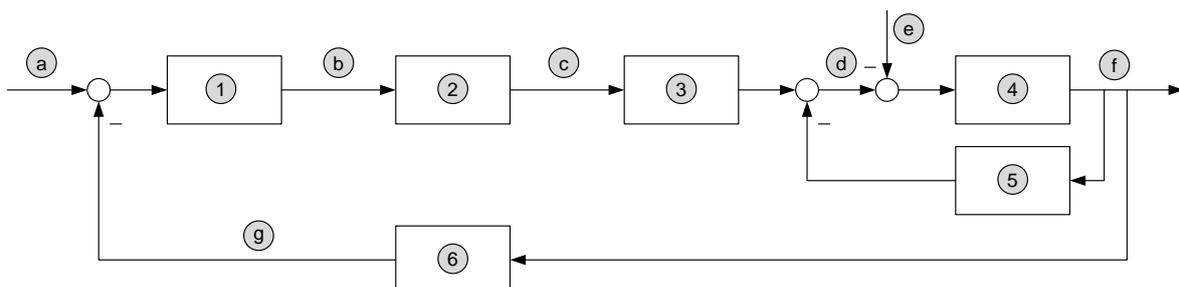


Bild 2.1: Abbildung der Regelungsstruktur des Magnetlagers

Aufgabe 3: Reluktanzmotor**(25 Punkte)**

Gegeben sei ein zweipoliger Reluktanzmotor, gefertigt aus linearem Dynamoblech, der durch eine asymmetrischen Halbbrücke gespeist wird. Die Wicklungen jedes Pols haben jeweils $N = 62$ Windungen. Die maximale Speisespannung beträgt $U_{\max} = 250$ V, der maximale Strom beträgt $i_{\max} = 75$ A. Der Motor wird bei einer kleinen Winkelgeschwindigkeit von $\omega = 10 \pi/s$ betrieben. Der ohmsche Widerstand beträgt $R = 0.125 \Omega$

Für die Reluktanz des magnetischen Kreises ist bekannt:

$$R_{\max} = 958603,5 \text{ A/Vs} \quad R_{\min} = 444611,5 \text{ A/Vs}$$

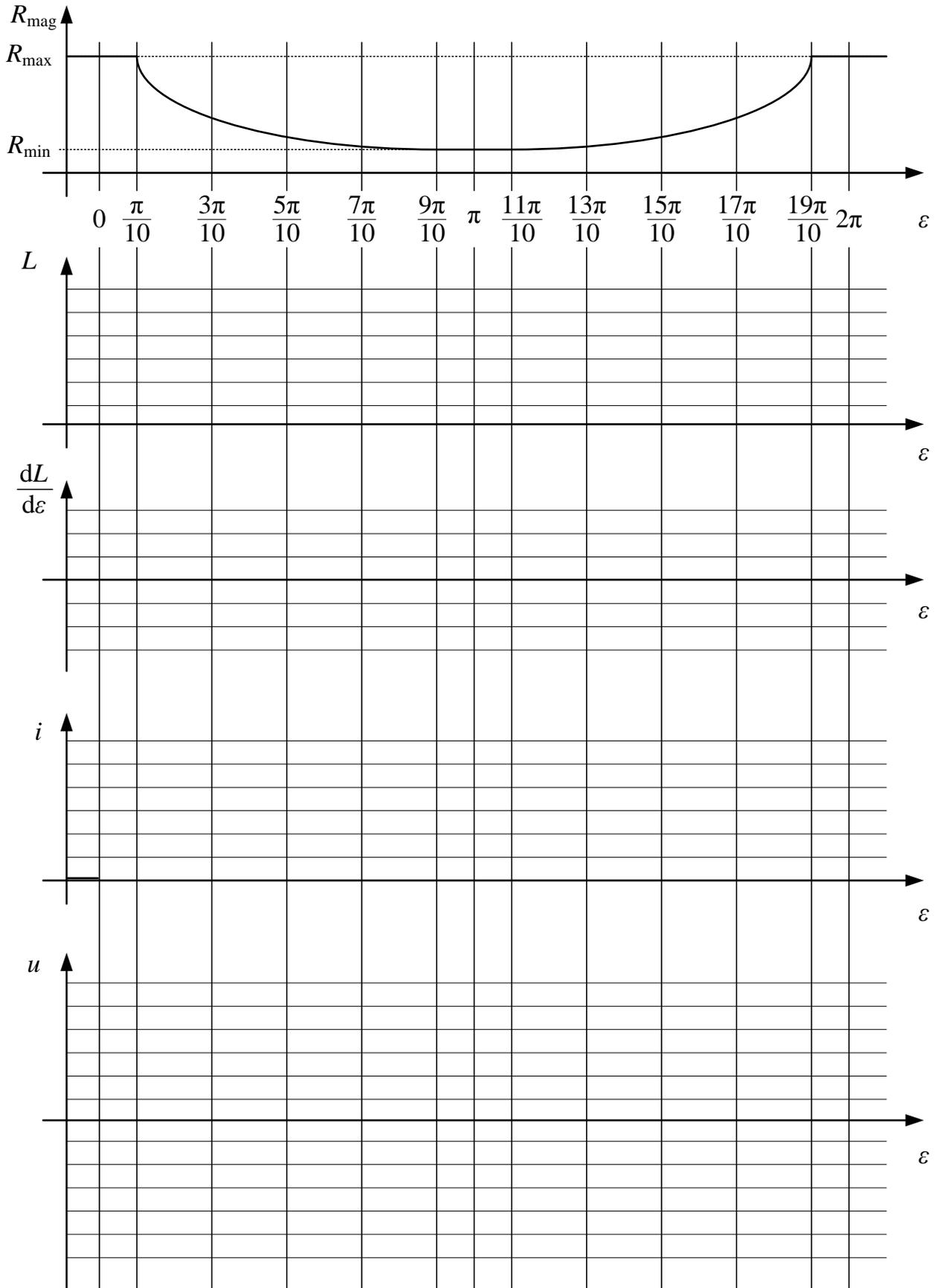
- 3.1** Ergänzen Sie die folgenden Verläufe der folgenden Größen auf der nächsten Seite und wählen Sie geeignete Achsenskalierungen.

Beachten Sie: Die Reluktanz ist im Bereich $\frac{9\pi}{10}$ bis $\frac{11\pi}{10}$ konstant.

- a) Induktivität $L(\varepsilon)$
 - b) differentielle Induktivität $\frac{dL(\varepsilon)}{d\varepsilon}$
 - c) Strom $i(\varepsilon)$ (**Beachten Sie:** Der Strom $i(\varepsilon = 0) = 0$ A, der ohmsche Widerstand darf für die Magnetisierung- und Entmagnetisierungszeit vernachlässigt werden.)
 - d) Spannung $u(\varepsilon)$
- 3.2** Welches maximale Drehmoment (Scheitelwert) T_{\max} lässt sich mit diesem Reluktanzmotor erzielen?

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

- 3.3** Nennen Sie 3 Besonderheiten, die bei sehr hohen Drehzahlen des Reluktanzmotors zu beachten sind.
- 3.4** Es liegt ein Reluktanzmotor vor, der bei einem maximalen Strom von 100 A ein maximales Drehmoment von 18 Nm erzeugen kann. Da der speisende Umrichter diesen Strom nicht aufbringen kann, soll die maximale Stromamplitude um 15% gesenkt werden. Welche konstruktiven Änderungen könnten am Motor vorgenommen werden, um dennoch ein maximales Drehmoment von 18 Nm zu erreichen?



Aufgabe 4: Bürstenlose Gleichstrommaschine

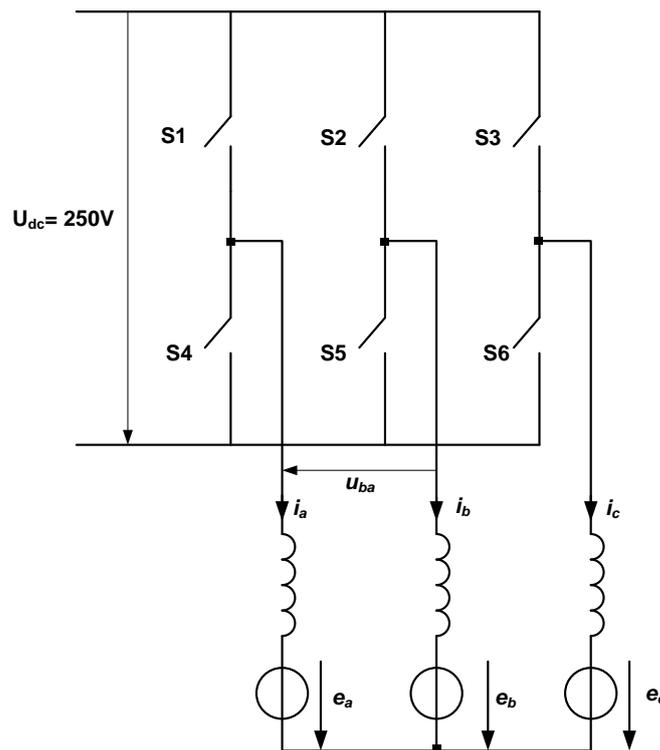
(25 Punkte)

Gegeben ist ein symmetrischer 3-phasiger bürstenloser Gleichstrommotor bei einer Drehzahl von $n = 2000 \text{ min}^{-1}$. Das Drehmoment des Motor beträgt $T = 10 \text{ Nm}$. Bei der gegebenen Geschwindigkeit ergibt sich der auf der nächsten Seite in Bild 4.1 dargestellte Verlauf der induzierten Spannung e_c der Phase C.

4.1 Berechnen Sie:

- a) Die an die Last abgegebene mechanische Leistung unter den oben gegebenen Bedingungen.
- b) Die Amplitude der drei Phasenströme unter der Annahme blockförmiger Motorströme.
- c) Skizzieren Sie die Verläufe der induzierten Spannung e_a , e_b sowie die induzierte Spannung e_{ab} (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.

4.2 Der Motor wird mit dem unten angegebenen dreiphasigen Umrichter (idealisierte Darstellung) betrieben.



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

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

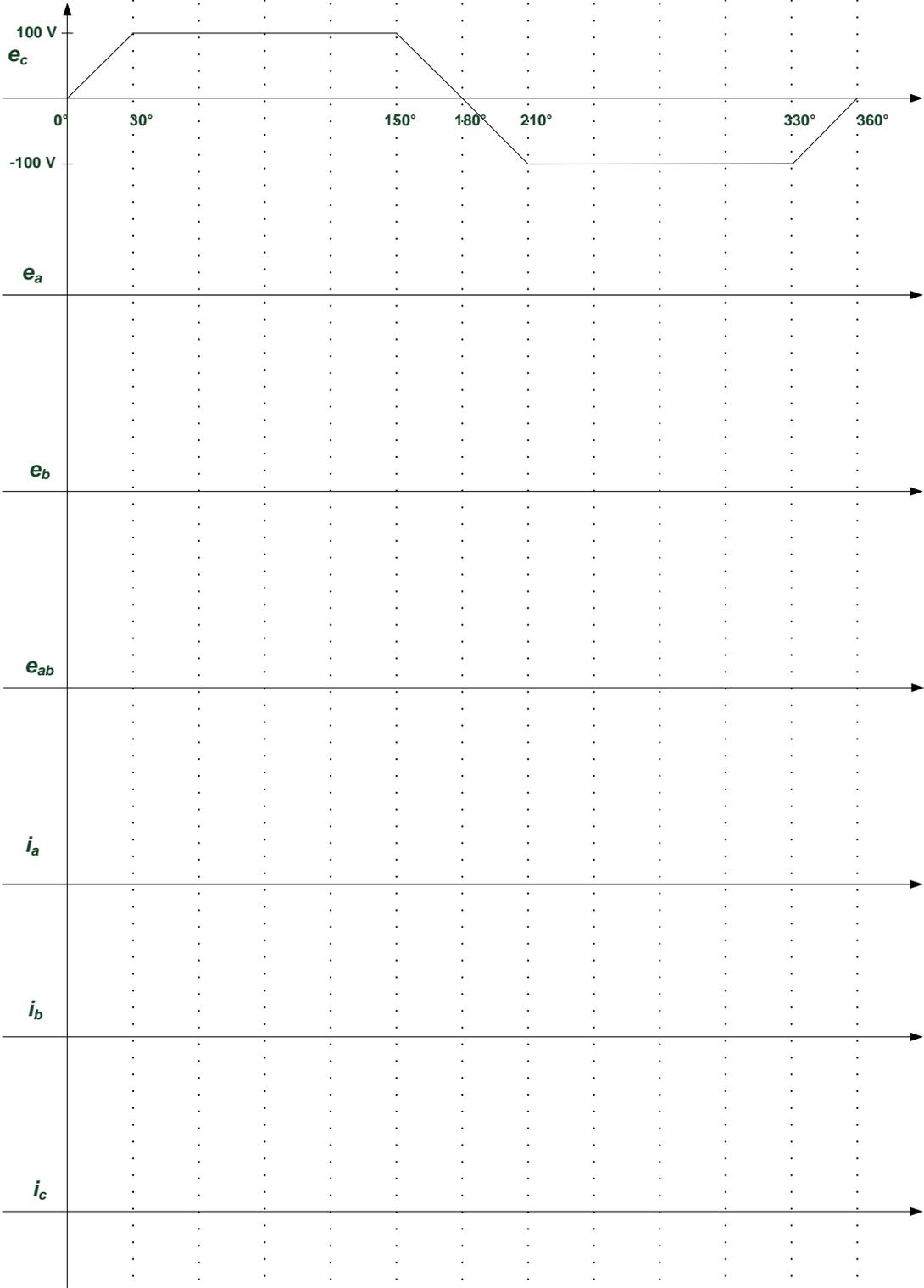


Bild 4.1 Induzierte Spannungen und Ströme des BLDC

- 4.3 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 $R = 1 \Omega$, $\tau = 0.3 \text{ ms}$, $\tau_d = 50 \mu\text{s}$ beschrieben.

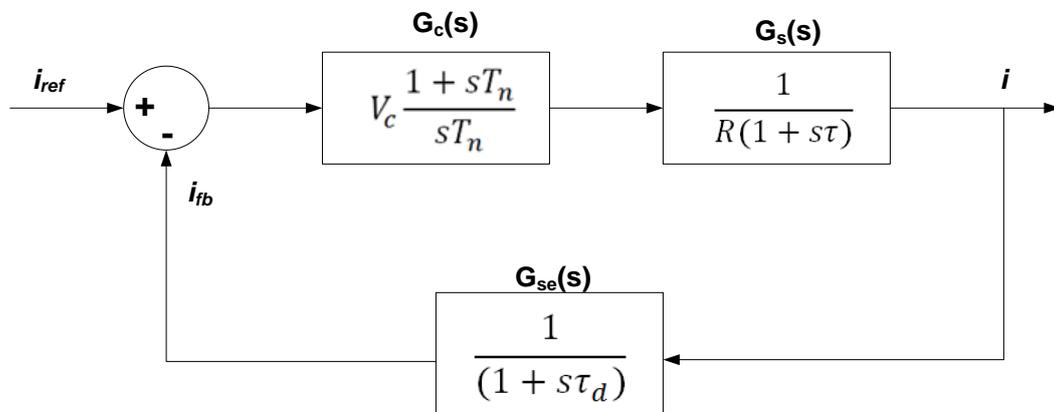


Bild 4.2 Struktur des Stromreglers des BLDC Motors

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 $d = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ergibt.