Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik

Prof. Dr.–Ing. Joachim Böcker

Grundlagen der Elektrotechnik B

29.03.2016

Name:						**Matrikelnummer:**			
Vorname:									
Studiengang:						☐ **Fachprüfung** ☐ **Leistungsnachweis**			
Aufgabe:	1	2	3	4	5	Punkte Klausur	Punkte Tests	$\sum$	Note
(Punkte)	(18)	(20)	(23)	(21)	(18)				

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

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

Bitte beachten Sie:

- Bitte Studienausweis mit Lichtbild bereitlegen!
- 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.
- Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und 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.

Musterlösung!

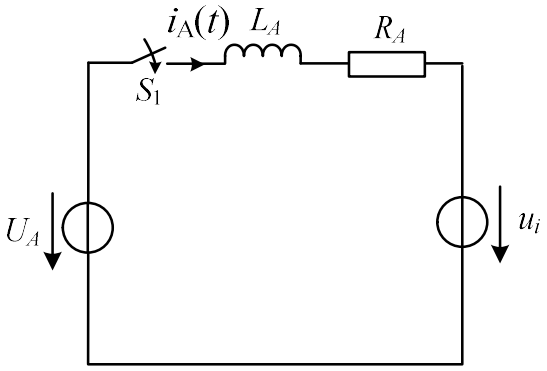
Aufgabe 1: Gleichstrommotor (18 Punkte)

Gegeben sei ein permanenterregter Gleichstrommotor für den 48 V-Betrieb.

Es sind folgende Angaben über den Motor bekannt:

- $n_\mathrm{n} = 1000\ \mathrm{min}^{-1}$
- $\eta_\mathrm{n} = 0{,}6$
- $P_\mathrm{el,n} = 5\ \mathrm{W}$
- $U_\mathrm{A,n} = 48\ \mathrm{V}$
- Bei festgebremstem Anker wird beim plötzlichen Einschalten der Ankerspannung auf den Nennwert ein Ausgleichsvorgang des Stroms i_A mit einer Zeitkonstante von $\tau = 5\ \mathrm{ms}$ beobachtet

1.1 Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Motors für den transienten Betrieb. (2 Punkte)



1.2 Bestimmen Sie das Nenndrehmoment und den Nennstrom. (3 Punkte)

$$I_A = \frac{P_{el,n}}{U_{A,n}} = 104{,}2\ \mathrm{mA}$$

$$P_{me} = \eta P_{el,n} = \omega\, T$$

$$T = \frac{\eta P_{el,n}}{\omega} = \frac{\eta P_{el,n}}{2\,\pi\, n_n} = 28{,}6\ \mathrm{m\ Nm}$$

1.3 Bestimmen Sie den Ankerwiderstand und den Erregerfluss sowie die Ankerinduktivität. (4 Punkte)

$$\boldsymbol{(1-\eta) P_{el,n} = R_A\, I_A^2}$$

$$\boldsymbol{R_A = \frac{(1-\eta) P_{el,n}}{I_A^2} = \frac{(1-\eta) U_{A,n}^2}{P_{el,n}} = 184\ \Omega}$$

$$\boldsymbol{\tau = \frac{L_A}{R_A}}$$

$$\boldsymbol{L_A = \tau\, R_A = 920\mathrm{mH}}$$

$$\Psi_e' = \frac{U - I_A R_A}{\omega} = \frac{\eta\, U_{AN}}{2\,\pi\, n_n} = 0{,}275\ \mathrm{Vs}$$

Nachfolgend soll die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie des Motors für $\boldsymbol{U_A = U_{A,n}}$ bestimmt werden. Gehen Sie dazu folgendermaßen vor:

1.4 Geben Sie die Drehfrequenz als Funktion des Drehmomentes an (stationärer Zustand). (2 Punkte)

$$\omega = \frac{U_{AN}}{\Psi_e{}'} - \frac{R_A}{\Psi_e'^2} T$$

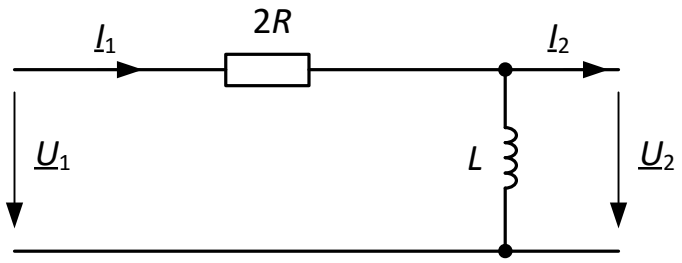
1.5 Stellen Sie die Funktion aus 1.4 im nachfolgendem Diagramm grafisch dar. Kennzeichnen Sie die charakteristischen Punkte. (3 Punkte)

1.6 Geben Sie den Stromverlauf $\boldsymbol{i_A(t)}$ für den Einschaltvorgang ($\boldsymbol{U = 0 \ldots 48\ \mathrm{V}}$) an. Hierfür soll angenommen werden, dass sich während des elektrischen Einschwingvorgangs die Drehzahl $\boldsymbol{n = 0\ \mathrm{min^{-1}}}$ nicht ändert. (4 Punkte)

$$\boldsymbol{i_A(t) = \frac{U_A}{R_A}\left(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau}\right)}$$

Aufgabe 2: Kompl. Wechselstromrechnung / Leistung bei sinusförmigen Vorgängen (20 Punkte)

Gegeben sei folgendes Netzwerk mit dem Widerstand $2R$ und der Induktivität L.



2.1 Bestimmen Sie die Spannungsübertragungsfunktion $\underline{H}(j\omega) = \frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ bei unbelasteten Ausgang ($\underline{I}_2 = 0\ \mathrm{A}$).

2.2 Bei welcher Frequenz weist der Imaginär- und der Realteil den gleichen Wert auf?

2.3 Stellen Sie die Übertragungsfunktion mit Betrag und Phase dar.

Im Weiteren wird an den Eingang der Schaltung eine Wechselspannungsquelle angeschlossen. Die Parameterwerte der Schaltung betragen

$$2R = 40\ \Omega \qquad L = 100\ \mathrm{mH} \qquad f = 50\ \mathrm{Hz} \qquad \underline{U}_1 = 230\ \mathrm{V}\, e^{j0^\circ}$$

2.4 Berechnen Sie die Impedanz Z und stellen Sie diese auch nach Betrag und Phase dar.

2.5 Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_1$.

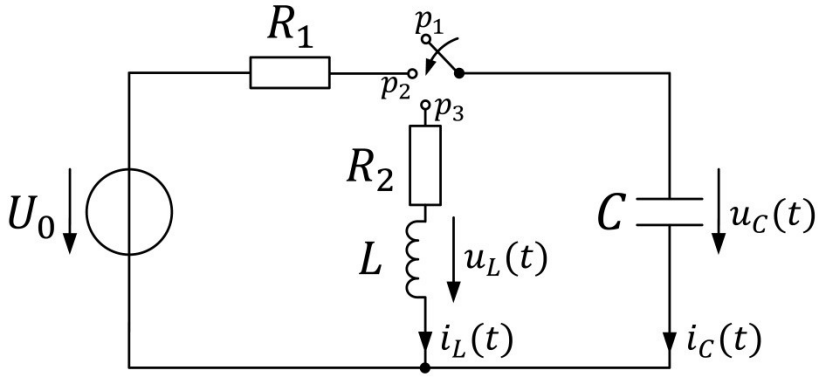
2.6 Ermitteln Sie die aufgenommene Wirk-, Blind- und Scheinleistung.

2.7 Berechnen Sie die zusätzlich in Reihe zu schaltende Impedanz $\underline{Z}_3$, die nötig ist, um einen Strom $\underline{I}_1 = 5\ \mathrm{A}\ \mathrm{e}^{-\mathrm{j}10^\circ}$ zu erhalten.

2.8 Lässt sich die zusätzliche Impedanz $\underline{Z}_3$ aus Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten realisieren und falls ja, welche der obigen Bauteile sind unbedingt notwendig?

Aufgabe 3: Ausgleichsvorgänge und Schwingkreis (23 Punkte)

Gegeben sei die nachfolgend dargestellte Schaltung mit der Gleichspannungsquelle U_0. Der Schalter befindet sich zunächst in der Position p_1.



Der Schalter wechselt für $t = 0$ in die Position p_2. Für $t < 0$ gelte $E_c = 2CU_0^2$.

3.1 Wie groß sind die Anfangswerte $\boldsymbol{i_c(t = 0^+)}$ und $\boldsymbol{u_c(t = 0^+)}$? Begründen Sie hierbei Ihre Antwort kurz und prägnant.

3.2 Stellen Sie die Differentialgleichung für $u_c(t)$ auf. Verwenden Sie hierbei die entsprechende Zeitkonstante für die gegebene Schalterstellung.

3.3 Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf von $u_c(t)$ und $i_c(t)$. Welche Werte nehmen beide Größen nach Abklingen des Ausgleichsvorgangs an?

3.4 Skizzieren Sie $u_c(t)$ und $i_c(t)$ qualitativ. Achten Sie auf korrekte Achsenbeschriftungen und verdeutlichen Sie die Zeitkonstante in Ihrer Skizze.

Nach hinreichend langem Abklingen des Ausgleichsvorgangs ($t = t_1$) wechselt der Schalter in die Position p_3.

3.5 Wie groß sind nun die Anfangswerte $\boldsymbol{i_L(t = t_1^+)}$ und $\boldsymbol{u_L(t = t_1^+)}$? Begründen Sie hierbei Ihre Antwort kurz und prägnant.

3.6 Ermitteln Sie die Differentialgleichung für $\boldsymbol{u_L(t^*)}$. Stellen Sie zudem die Differentialgleichung unter Verwendung der Kennkreisfrequenz $\boldsymbol{\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}}$ und der Dämpfung $\boldsymbol{d = \frac{R_2}{2}\sqrt{\frac{C}{L}}}$ dar.

Hinweis: Vereinfachen Sie sich die Schreibarbeit, indem Sie $\boldsymbol{t^* = t - t_1}$ verwenden.

3.7 Erläutern Sie anhand der charakteristischen Gleichung der obigen Differentialgleichung, welche drei unterschiedlichen Eigenschaften $u_L(t^*)$ aufweisen könnte.

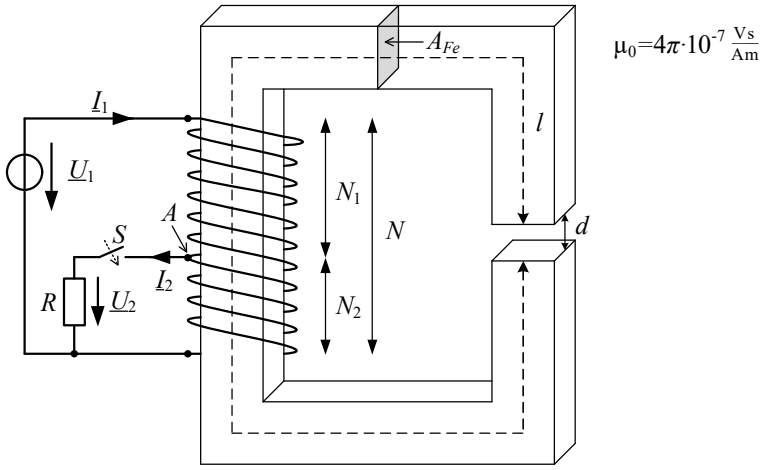
3.8 Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf von $u_L(t^*)$ und $i_L(t^*)$. Es gelte: $R_2 > 2Z_0$.

3.9 Welche Werte nehmen $i_L(t^* \to \infty)$ und $u_C(t^* \to \infty)$ an? Argumentieren Sie hierbei nicht mit mathemischen Formeln, sondern anhand der Energiebilanz des Systems.

Hinweis: Die Teilaufgabe 3.9 können Sie auch ohne das Ergebnis aus 3.8 lösen.

Aufgabe 4: Magnetischer Kreis / Transformator (21 Punkte)

Gegeben sei ein Spartransformator mit einer Anzapfung am Punkt A (sowohl Streuflüsse als auch Wicklungswiderstände sind zu vernachlässigen). Der mittlere Weg im Eisen beträgt $l = 90\,\mathrm{cm}$. Der Querschnitt $A_{Fe} = 500\,\mathrm{mm}^2$ ist in der gesamten Anordnung gleich und der Luftspalt hat eine Breite von $d = 1\,\mathrm{mm}$. Das Eisenmaterial ist nicht vormagnetisiert und weist im betrachteten Betriebsbereich keine magnetische Sättigung auf. Bei Magnetisierung des Eisenmaterials stellt sich ein konstantes Verhältnis $H_{Fe}/B_{Fe} = 260\,\frac{\mathrm{Am}}{\mathrm{Vs}}$ ein. Primärseitig ist die Wicklung an das elektrische Netz ($U_1 = 230\,\mathrm{V}$, $f = 50\,\mathrm{Hz}$) und sekundärseitig sind ein ohmscher Widerstand $R = 100\,\Omega$ sowie ein idealer Schalter S angeschlossen.



4.1 Welche charakteristische Eigenschaft im Vergleich zu einem Transformator mit zwei getrennten Wicklungen geht durch diese Anordnung verloren?

Der Schalter $\boldsymbol{S}$ sei zunächst im **geöffneten** Zustand.

4.2 Zeichnen Sie das äquivalente Reluktanzmodell der Anordnung. Bestimmen Sie außerdem die Windungszahl N, so dass sich die Flussdichte $B_{Fe,eff} = 0{,}4\,\mathrm{T}$ im Eisenmaterial einstellt.

4.3 Welcher Magnetisierungsstrom I_μ fließt in der Wicklung?

4.4 Wie groß ist die Induktivität L der Wicklung?

Nun wird der Schalter $\boldsymbol{S}$ **geschlossen**. Im stationären Zustand wird am Widerstand R eine Scheinleistung von $S = 160\,\mathrm{VA}$ gemessen.

4.5 Wie groß ist die Spannung U_2?

4.6 Wie groß sind N_1 und N_2?

4.7 Wie groß ist der Primärstrom I_1?

Aufgabe 5: Gleichstromsteller (18 Punkte)

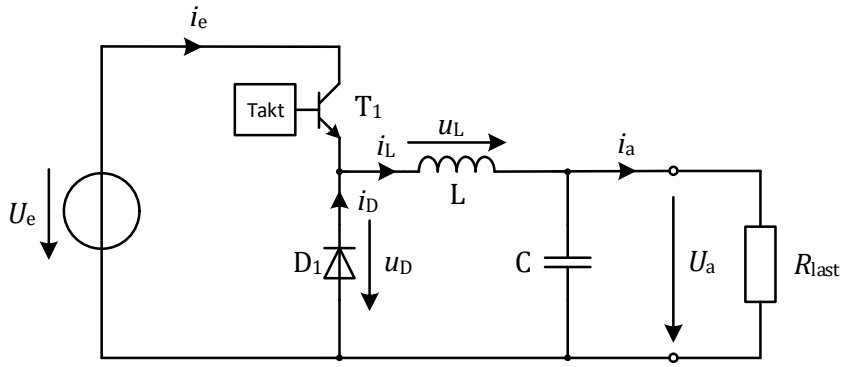


Abbildung 5.1 Gleichstromsteller

Mit Hilfe des abgebildeten Gleichstromstellers (Abbildung 5.1) wird aus einer Eingangsspannung $U_e = 60\,\mathrm{V}$ eine einstellbare Ausgangsspannung U_a erzeugt. Der Transistor T_1 und die Diode D_1 seien ideal. Die Taktfrequenz betrage $f_s = 50\,\mathrm{kHz}$. Es werde stationärer und nichtlückender Betrieb vorausgesetzt. Für die nachfolgenden Betrachtungen werde C als so groß angenommen, dass $u_a(t) \approx U_a = konst.$ gilt.

5.1 Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die beiden Schaltzustände des dargestellten Gleichstromstellers. Kennzeichnen Sie die Spannungen und Ströme in den Ersatzschaltbildern.

5.2 Geben Sie die minimal und die maximal mögliche Ausgangsspannung an.

5.3 Skizzieren Sie in Abbildung 5.2 für das Tastverhältnis $D = 0{,}25$ folgende Verläufe:

5.3.1. Diodenspannung $u_D(t)$

5.3.2. Spulenspannung $u_L(t)$

5.3.3. Spulenstrom $i_L(t)$ (Es gelte $i_L(t=0) = i_{L,\min}$)

5.3.4. In der Spule gespeicherte Energie $w_L(t)$

5.4 Geben Sie den Tastgrad an, bei dem die größte Stromschwankungsbreite vorliegt. Berechnen Sie L, wenn für die maximale Stromschwankungsbreite $\Delta I_{L,\max} = 0{,}2\,\mathrm{A}$ gelten soll.

5.5 Als Last R_{Last} wird nun eine 12 V Glühlampe an den Ausgang angeschlossen. Die Glühlampe kann als ohmscher Verbraucher mit konstantem Widerstand R_{Last} angesehen werden.

5.5.1. Berechnen Sie den erforderlichen Tastgrad *D*, um die Glühlampe bei Nennspannung zu betreiben.

5.5.2. Die Nennleistung der Glühlampe betrage 15 W. Wie groß muss der Tastgrad *D* gewählt werden, um die Glühlampe nur mit 10 W zu betreiben?

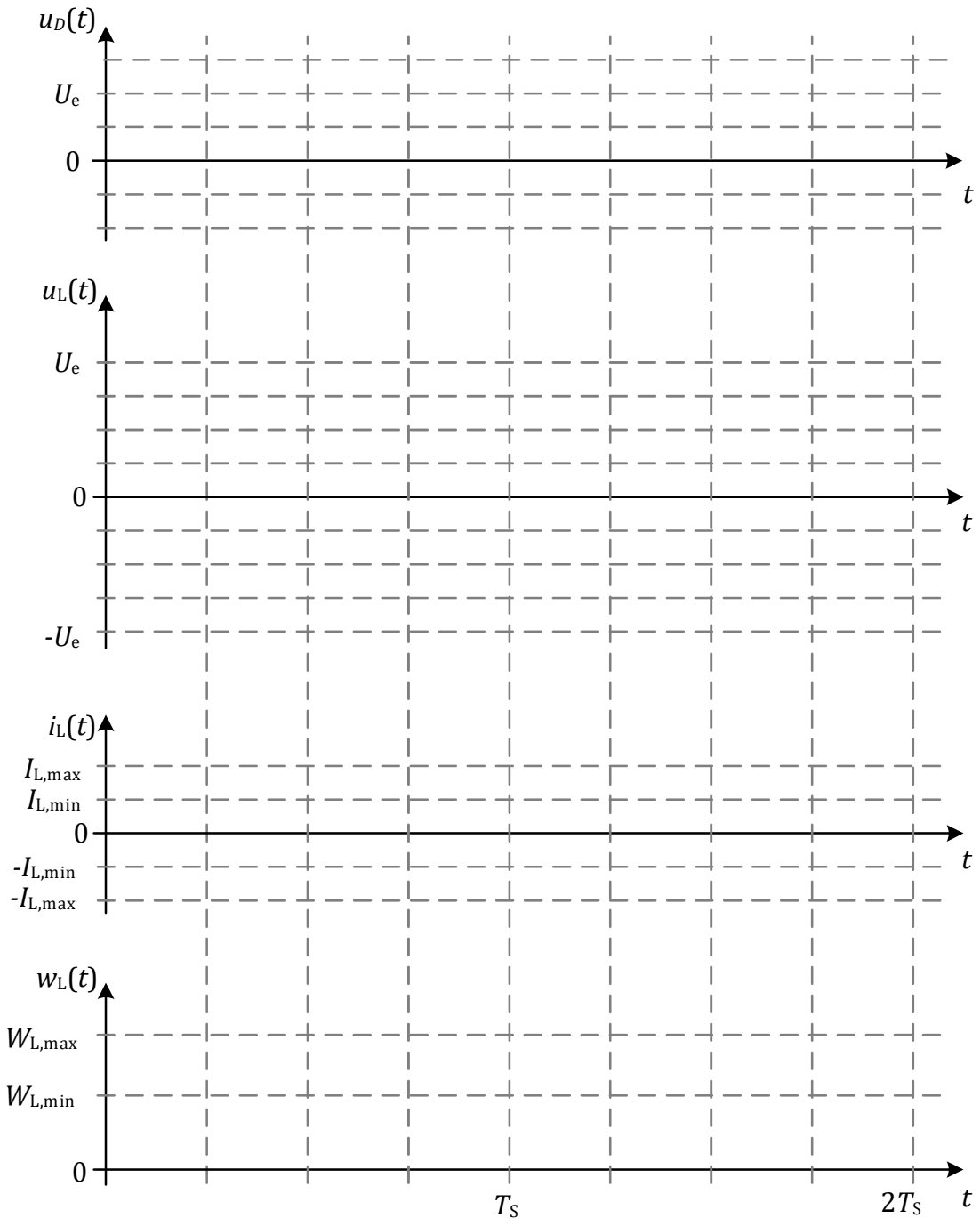


Abbildung 5.2 Verlauf von u_D, u_L, i_L und w_L