Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik

Prof. Dr.–Ing. Joachim Böcker

Grundlagen der Elektrotechnik B

24.09.2015

Name:	**Matrikelnummer:**
Vorname:	
Studiengang:	☐ **Fachprüfung** ☐ **Leistungsnachweis**

Aufgabe: (Punkte)	1 (16)	2 (20)	3 (24)	4 (20)	5 (20)	Punkte Klausur	Punkte Tests	$\sum$	Note

Bearbeitungszeit: 120 Minuten

Zugelassene Hilfsmittel:

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

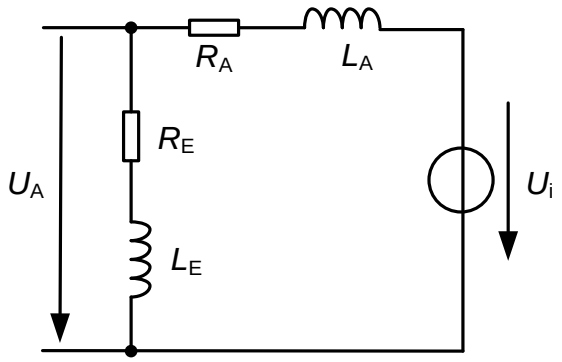
Bitte beachten Sie:

- 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.

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Gleichstrommotor (16 Punkte)

Gegeben sei ein Gleichstromnebenschlussmotor (s. Abb.) mit einer Nennspannung von U_{AN} = 220 V. Der Ankerwiderstand betrage R_A = 0,5 Ω und der Erregerwiderstand R_E = 110 Ω. Die im Nennarbeitspunkt aufgenommene elektrische Leistung betrage P_N = 11 kW. Im unbelasteten Betrieb wird an den Motorklemmen ein Strom von I = 5 A bei einer Drehzahl von n = 1150 min^{-1} gemessen.



Zunächst soll der Betrieb im **Nennpunkt** untersucht werden. Berechnen Sie hierzu die resultierende

1.1 Drehzahl n_N,

1.2 das Drehmoment T_N sowie

1.3 den Wirkungsgrad η_N.

Des Weiteren ist das **Anlaufverhalten** zu analysieren.

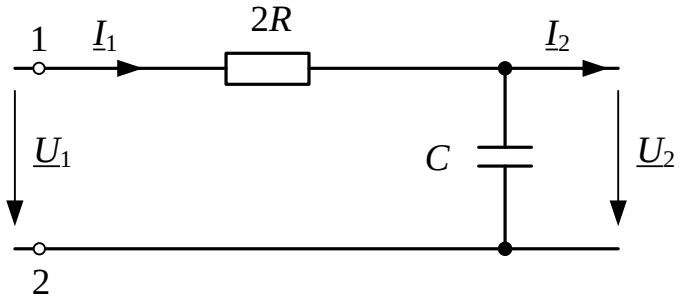
1.4 Berechnen Sie den Anlaufstrom des Motors.

1.5 An welcher Stelle im Ersatzschaltbild ist ein Vorwiderstand sinnvollerweise einzufügen, um den Anlaufstrom zu begrenzen?

1.6 Wie müsste ein entsprechender Vorwiderstand ausgelegt werden, um den Strom auf 150 % des Nennstroms zu begrenzen?

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

Gegeben sei folgendes Netzwerk mit dem Widerstand $2R$ und dem Kondensator C.



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

2.2 Bei welcher Frequenz weisen der Imaginär- und der Realteil die gleichen Beträge auf?

2.3 Stellen Sie die Übertragungsfunktion nach Betrag und Phase dar.

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

$$2R = 22\ \Omega \qquad C = 500\ \mu\text{F} \qquad f = 50\ \text{Hz} \qquad \underline{U}_1 = 115\ \text{V}\ e^{j45^\circ}$$

2.4 Berechnen Sie die resultierende Impedanz $\underline{Z}_1$ zwischen den Klemmen 1 und 2 und stellen Sie diese auch nach Betrag und Phase dar.

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

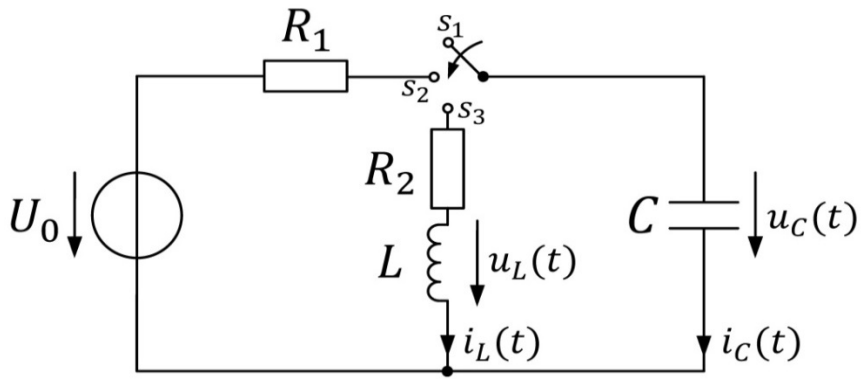
2.6 Ermitteln Sie die an den Klemmen 1 und 2 aufgenommene Wirk-, Blind- und Scheinleistung.

2.7 Berechnen Sie die zusätzlich in Reihe zu $2R$ zu schaltende Impedanz $\underline{Z}_3$, die nötig ist, um einen Strom $\underline{I}_1 = 2{,}5\ \text{A}\ \text{e}^{-\text{j}75^\circ}$ zu erhalten.

2.8 Lässt sich die zusätzliche Impedanz $\underline{Z}_3$ aus Widerständen, Kondensatoren und Induktivitäten realisieren?

Aufgabe 3: Ausgleichsvorgänge und Schwingkreis (24 Punkte)

Gegeben sei die nachfolgend dargestellte Schaltung mit der Gleichspannungsquelle U_0. Der Schalter befindet sich zunächst in der Position s_1.



Der Schalter wechselt für $t = 0$ in die Position s_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 s_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 Schwingungseigenschaften $u_L(t^*)$ aufweisen könnte.

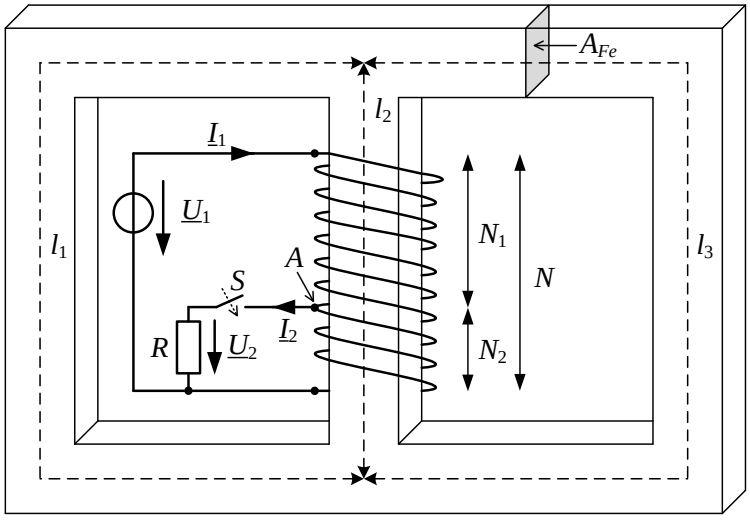
3.8 Bestimmen Sie den zeitlichen Verlauf von $u_L(t^*)$ und $i_L(t^*)$. Es gelte: $R_2 > 2Z_0$.

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 (20 Punkte)

Gegeben sei ein Spartransformator mit einer Anzapfung am Punkt A. Sowohl Streuflüsse als auch Wicklungswiderstände sind zu vernachlässigen. Die mittleren Wege im Eisen sind $l_1 = l_3 = 70\,\text{cm}$ sowie $l_2 = 30\,\text{cm}$. Der Querschnitt $A_{Fe} = 650\,\text{mm}^2$ ist in der gesamten Anordnung gleich. Das Eisenmaterial ist nicht vormagnetisiert und weist im betrachteten Betriebsbereich keine magnetische Sättigung auf. Bei Magnetisierung des Eisenmaterials stellt sich ein konstantes Verhältnis $H_{fe}/B_{Fe} = 260\,\frac{\text{Am}}{\text{Vs}}$ ein. Primärseitig ist die Wicklung an das elektrische Netz ($U_1 = 230\,\text{V}$, $f = 50\,\text{Hz}$) und sekundärseitig sind ein ohmscher Widerstand $R = 50\,\Omega$ sowie ein idealer Schalter S angeschlossen.



$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}\,\frac{\text{Vs}}{\text{Am}}$

4.1 Welchen Vorteil bietet diese Bauform gegenüber einem Transformator mit zwei getrennten Wicklungen? Welche charakteristische Eigenschaft eines Transformators geht durch diese Anordnung verloren?

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

4.2 Zeichnen Sie das äquivalente Reluktanzmodell der Anordnung und bestimmen Sie die Windungszahl N, so dass sich im mittleren Schenkel eine Flussdichte $B_{Fe,eff} = 0{,}8\,\text{T}$ einstellt.

4.3 Welcher effektive Magnetisierungsstrom I_1 fließt in der Wicklung?

4.4 Wie groß ist die Induktivität L der Wicklung?

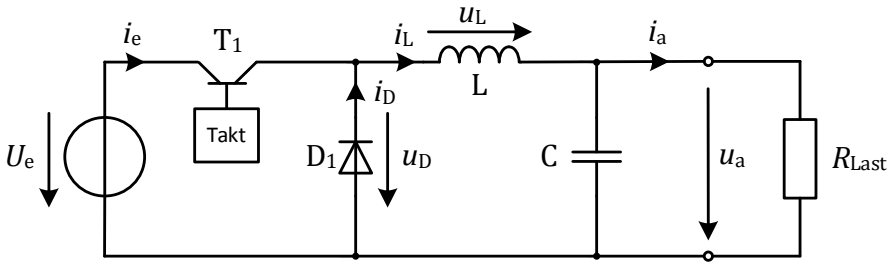
Nun wird der Schalter $\boldsymbol{S}$ **geschlossen**. Im stationären Zustand wird am Widerstand R eine Scheinleistung von $S = 80\,\text{VA}$ gemessen.

4.5 Wie groß ist die effektive Spannung U_2?

4.6 Wie groß sind N_1 und N_2?

4.7 Wie groß ist nun der effektive Primärstrom I_1?

Aufgabe 5: Gleichstromsteller **(20 Punkte)**



Mit Hilfe des abgebildeten Gleichstromstellers wird aus einer Eingangsspannung $U_e = 24\,\mathrm{V}$ eine einstellbare Ausgangsspannung U_a erzeugt. Der Transistor T_1 und die Diode D_1 seien ideal. Die Taktfrequenz betrage $f_s = 25\,\mathrm{kHz}$. Es werde stationärer und nichtlückender Betrieb vorausgesetzt. Für die nachfolgenden Betrachtungen werde C als so groß angenommen, dass $u_a(t) \approx U_a = \mathrm{konst.}$ gilt.

5.1 Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die beiden Schaltzustände des dargestellten Gleichstromstellers.

5.2 Geben Sie die minimale und die maximale Ausgangsspannung der obigen Schaltung an.

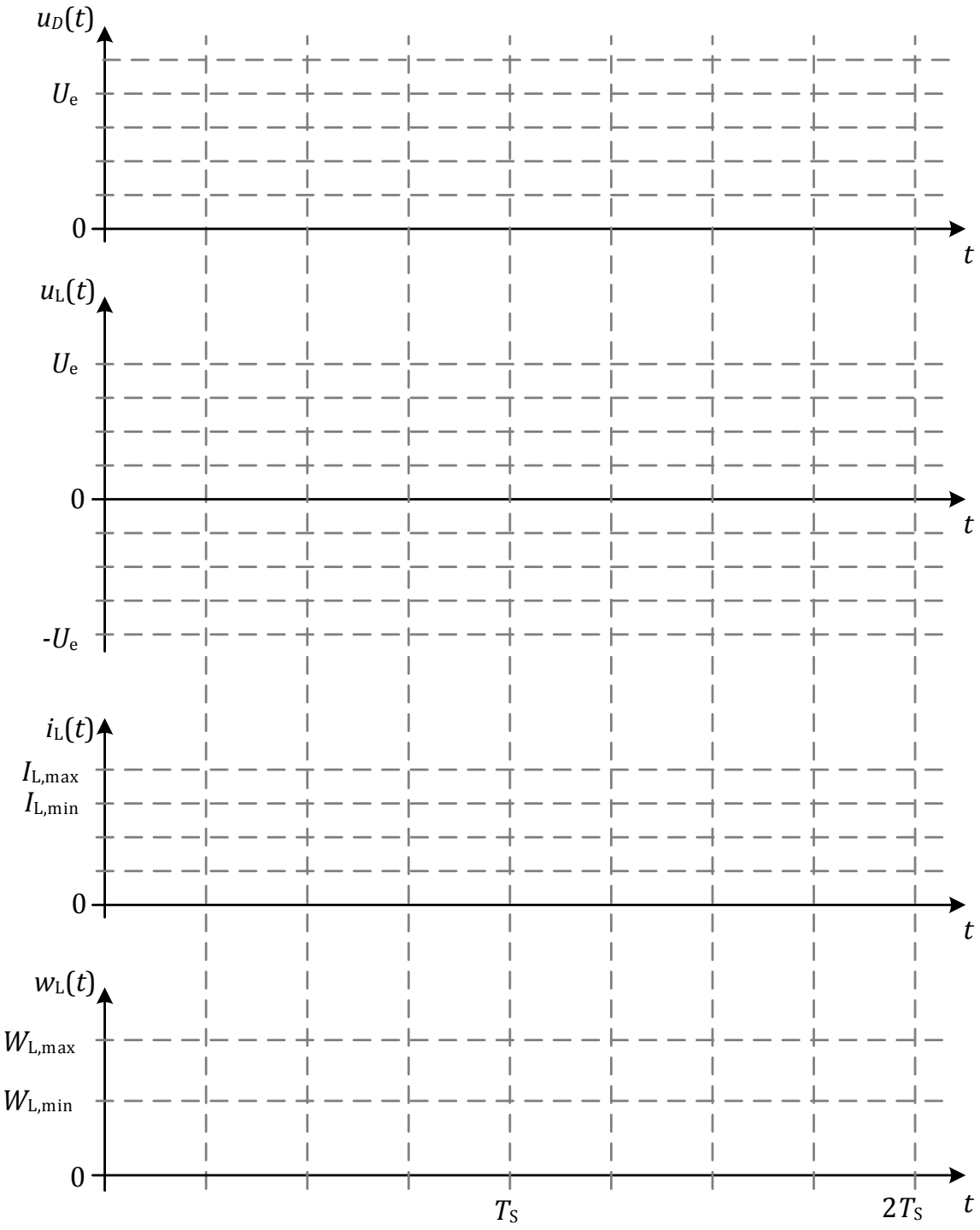
5.3 Skizzieren Sie im vorgefertigten Diagramm (nächste Seite) für das Tastverhältnis $D = 0{,}75$ folgende Verläufe:

- Diodenspannung $u_D(t)$
- Spulenspannung $u_L(t)$
- Spulenstrom $i_L(t)$ (Es gelte $i_L(t = 0) = i_{L,\min}$)
- In der Spule gespeicherte Energie $w_L(t)$

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

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

- Berechnen Sie den erforderlichen Tastgrad *D*, um die Glühlampe bei Nennspannung zu betreiben.
- Die Nennleistung der Glühlampe betrage 10 W. Wie groß muss der Tastgrad *D* gewählt werden, um die Glühlampe mit 5 W zu betreiben?


$u_D(t)$
U_e
0
t
$u_L(t)$
U_e
0
t
$-U_e$
$i_L(t)$
$I_{L,max}$
$I_{L,min}$
0
t
$w_L(t)$
$W_{L,max}$
$W_{L,min}$
0
T_S
$2T_S$
t