Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik

Prof. Dr.–Ing. Joachim Böcker

Grundlagen der Elektrotechnik B

26.07.2012

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

Aufgabe:	1	2	3	4	5	Punkte	Punkte	Note
(Punkte)	(11)	(17)	(14)	(12)	(13)	Klausur	Tests	

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 Studienausweis mit Lichtbild bereitlegen!

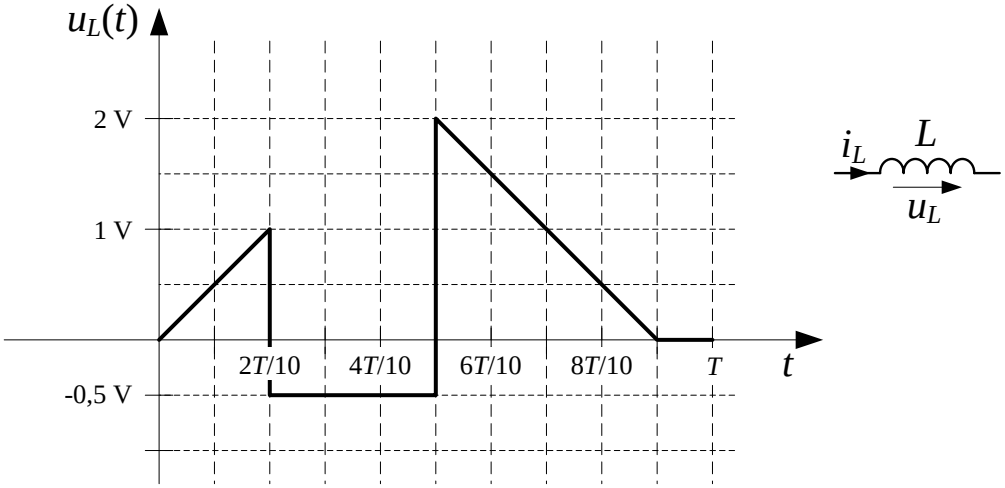
Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer. Benutzen Sie für jede Aufgabe einen neuen Klausurbogen. Verwenden Sie keine Bleistifte und keine roten Stifte.

Alle Lösungswege sind nachvollziehbar zu dokumentieren und zu kommentieren! Die Angabe eines Endergebnisses ohne erkennbaren Lösungsweg wird nicht gewertet.

Viel Erfolg!

Aufgabe 1: Signalkenngrößen (11 Punkte)

An einer idealen Spule mit der Induktivität von L = 100 mH liege für eine Dauer von T = 10 s die im Bild dargestellte Spannung $u_L(t)$ an. Zum Zeitpunkt t = 0 s fließe durch die Spule kein Strom $i_L(t = 0) = 0$ A.



1.1 Geben Sie den arithmetischen Mittelwert der Spannung im Intervall [0;T] an.

Hinweis: Die explizite Berechnung des Integrals ist hierzu nicht erforderlich!

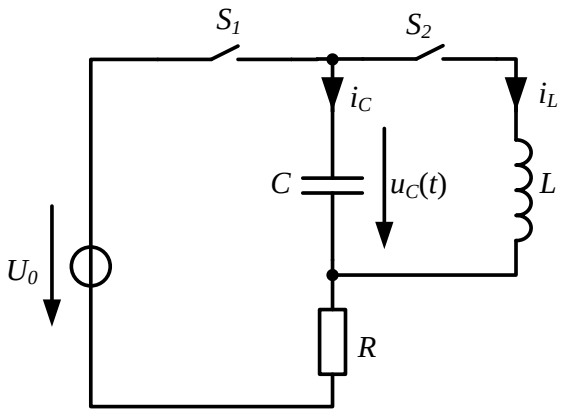
1.2 Berechnen Sie den Effektivwert der Spannung im Intervall [0;T].

1.3 Bestimmen Sie den Gleichrichtwert der Spannung im Intervall [0;T].

1.4 Wie groß ist die innere Energie W_L der Spule zum Zeitpunkt t_1 = 2 s?

Aufgabe 2: Ausgleichsvorgang/ Schwingkreis (17 Punkte)

Gegeben sei folgendes Netzwerk mit dem Widerstand R, der Spule L, dem Kondensator C und der idealen Spannungsquelle U_0.



Die Schalter S_1 und S_2 seien für $t \leq 0$ s geöffnet und die Spule sowie der Kondensator seien vollständig entladen. Zum Zeitpunkt $t = 0$ s werde der Schalter S_1 geschlossen. Der Schalter S_2 bleibe weiterhin geöffnet.

2.1 Geben Sie die Werte der Größen $u_C(t = 0^-)$, $i_L(t = 0^-)$ und $i_C(t)$ unmittelbar vor $(t = 0^-)$ und nach dem Schaltvorgang $(t = 0^+)$ an und begründen Sie Ihre Antwort.

2.2 Stellen Sie die Differentialgleichung für $u_C(t)$ für $t \geq 0$ auf.

2.3 Lösen Sie die Differenzialgleichung und geben Sie den Verlauf für $u_C(t)$ für $t \geq 0$ an Wie groß ist die maßgebliche Zeitkonstante der Schaltung?

2.4 Skizzieren Sie den Spannungsverlauf $u_C(t)$ sowie den Stromverlauf $i_C(t)$ für $t \geq 0$. Kennzeichnen Sie in Ihren Zeichnungen jeweils die Zeitkonstante τ.

Zum Zeitpunkt $\boldsymbol{t = t_1}$ wird der Schalter $\boldsymbol{S_1}$ wieder geöffnet. Es werde angenommen, dass $\boldsymbol{t_1}$ genügend groß sei, so dass der vorangegangene Ausgleichsvorgang zu diesem Zeitpunkt als vollständig abgeschlossen angesehen werden darf. Außerdem wird nun der Schalter $\boldsymbol{S_2}$ geschlossen.

2.5 Geben Sie die Werte der Größen $u_C(t = {t_1}^-)$ und $i_C(t = {t_1}^-)$ sowie von $u_C(t = {t_1}^+)$ und $i_C(t = {t_1}^+)$ an und begründen Sie Ihre Antwort.

2.6 Stellen Sie die Differentialgleichung für $u_C(t)$ für $t \geq t_1$ auf.

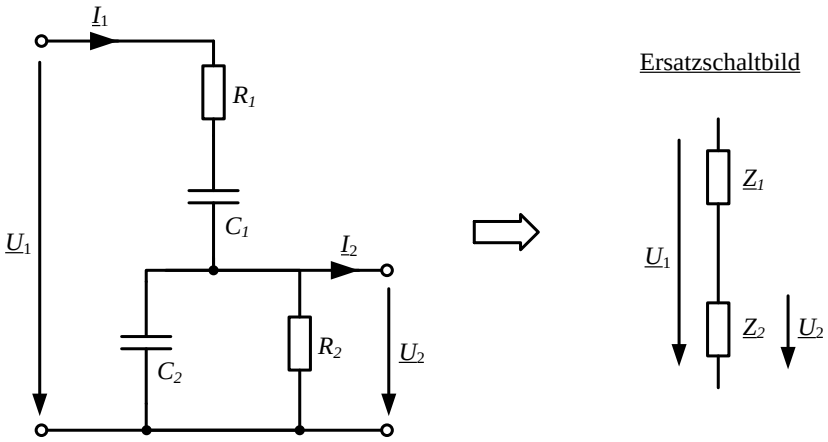
2.7 Ermitteln Sie den Verlauf der Spannung $u_C(t)$, indem Sie die Differentialgleichung lösen und die Anfangswerte einsetzen.

Hinweis: Vereinfachen Sie sich die Schreibarbeit, indem Sie auf die neue Zeitkoordinate $t' = t - t_1$ übergehen.

2.8 Skizzieren Sie den Spannungsverlauf $u_C(t)$ für $t \geq t_1$ bzw. $u_C(t')$ für $t' \geq 0$.

Aufgabe 3: Übertragungsfunktion, komplexe Wechselstromrechnung (14 Punkte)

Gegeben sei der abgebildete Zweig einer Wien-Brückenschaltung. Der Brückenzweig lässt sich auch mit Hilfe des rechts angegebenen Ersatzschaltbildes darstellen.



Der Ausgang des Brückenzweigs sei unbelastet, sodass für den Strom $\underline{I}_2 = 0\ \mathrm{A}$ gelte. Bekannt seien außerdem folgende Werte:

$$\underline{U}_1 = 230\ \mathrm{V}\, e^{j\,0°} \qquad C_1 = 250\ \mu\mathrm{F}$$

$$R_1 = 100\ \Omega \qquad C_2 = 50\ \mu\mathrm{F}$$

$$R_2 = 40\ \Omega \qquad f = 50\ \mathrm{Hz}$$

3.1 Berechnen Sie die komplexen Widerstände $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_2$ des Ersatzschaltbildes.

3.2 Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_2$. Wie groß ist die Phasenverschiebung zwischen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$?

3.3 Zwischen welcher unteren und oberen Schranke kann die Phasenverschiebung zwischen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ liegen, wenn beliebige Variationen von Kapazitäts- und Widerstandswerten bei dieser Schaltung erlaubt wären?

3.4 Zeichnen Sie ein Zeigerdiagramm für die Spannungen in der Schaltung. Als Maßstab ist hier $5\ \mathrm{mm} \triangleq 10\ \mathrm{V}$ zu wählen. Ermitteln Sie anhand des Zeigerdiagramms die Spannungszeiger $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{C1}$ sowie $\underline{U}_{C2}$, die an den entsprechenden Bauelementen anliegen. Zeichnen Sie zuvor die Zählpfeile dieser Größen in die Schaltungsskizze ein. Geben Sie die Spannungen nach Betrag und Phase an.

3.5 Welche Frequenz ($f > 0\ \mathrm{Hz}$) wäre statt des oben gegebenen Werts zu wählen, damit keine Phasenverschiebung zwischen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ auftritt?

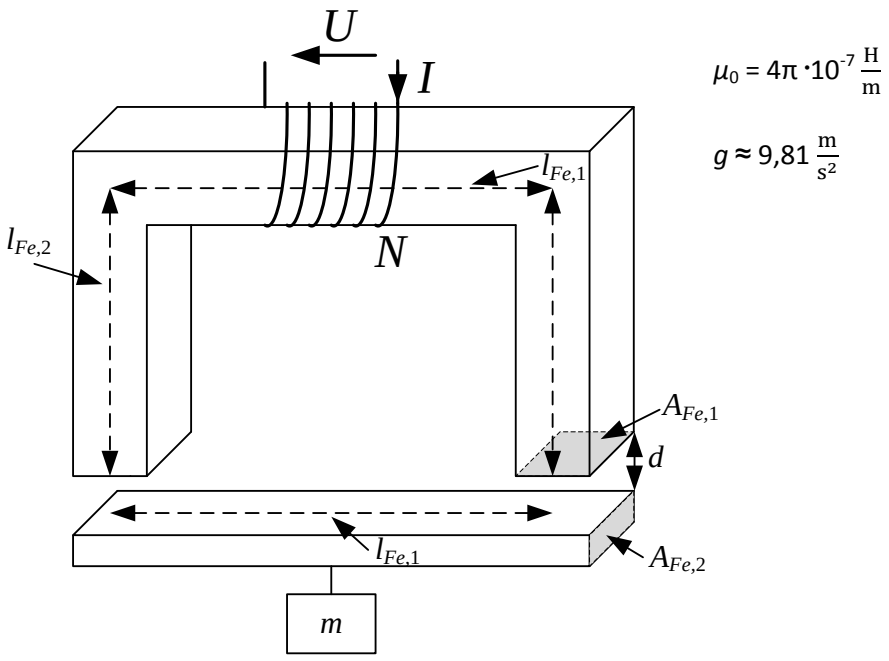
Der Ausgang des Brückenzweigs werde nun bei $f = 50\ \mathrm{Hz}$ mit einer realen Spule belastet. Diese Spule habe eine Reaktanz von $31{,}42\ \Omega$ und einen Scheinwiderstand von $32{,}97\ \Omega$.

3.6 Geben Sie die Induktivität L sowie den Innenwiderstand R_L dieser Spule an.

3.7 Bestimmen Sie den Eingangsstrom $\underline{I}_1$ sowie eingangsseitig den Leistungsfaktor und die aufgenommene Wirk-, Schein- und Blindleistung.

Aufgabe 4: Magnetischer Kreis (12 Punkte)

Gegeben sei der dargestellte magnetische Kreis, bestehend aus zwei Eisenkernen mit unterschiedlichen Querschnittsflächen. Die Wicklung auf dem U-Kern habe N = 100 Windungen und werde vom Strom I = 10 A durchflossen. An den Übergangsstellen seien Luftspalte zu berücksichtigen. Die Spaltbreite d darf dabei aber als klein gegenüber den anderen geometrischen Abmessungen angenommen werden. Für die Eisenkerne gelte ($l_{Fe,1}$ = 50 cm, $l_{Fe,2}$ = 30 cm, $A_{Fe,1}$ = 150 cm², $A_{Fe,2}$ = 60 cm², μ_r = 1000).



$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\mathrm{H}}{\mathrm{m}}$

$g \approx 9{,}81 \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$

4.1 Skizzieren Sie das elektrische Ersatzschaltbild des magnetischen Kreises und vereinfachen Sie dieses, soweit es geht.

4.2 Geben Sie den magnetischen Gesamtwiderstand $R_M(d)$ als Funktion der Variable d an und skizzieren Sie dessen Verlauf in einem Diagramm.

4.3 Geben Sie die Induktivität L der Anordnung in Abhängigkeit der Luftspaltbreite d an und bestimmen Sie:

a) die Luftspaltbreite d, bei der die Induktivität maximal wird.
b) den Maximalwert der Induktivität.

Nehmen Sie für die weiteren Berechnungen eine Luftspaltbreite d = 2 mm an!

4.4 Berechnen Sie die magnetische Flussdichte b_L im Luftspalt.

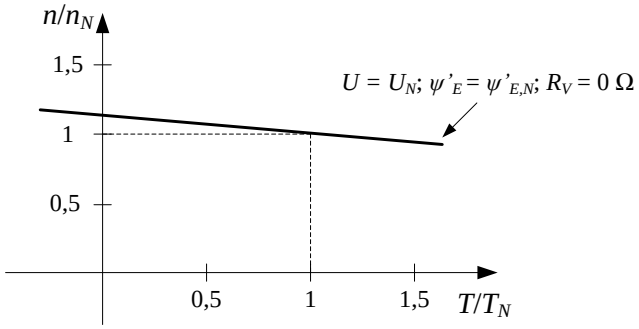
4.5 Geben Sie die magnetische Energie im Luftspalt W_L und im Eisen W_{Fe} an.

4.6 Welche Masse m kann die Anordnung tragen, wenn der U-Kern geeignet befestigt wird?

Hinweis: Verwenden Sie hierfür die Näherung $h_{Fe} \approx 0$. Die Masse des I-Kerns werde m zugeschlagen.

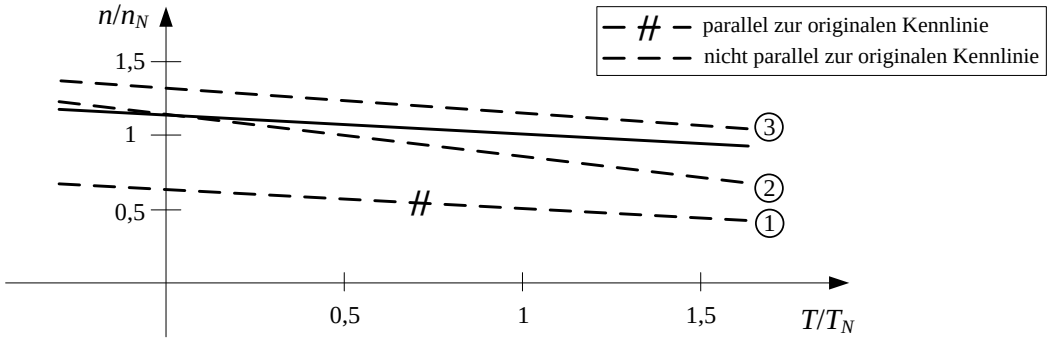
Aufgabe 5: Gleichstrommaschine (13 Punkte)

Gegeben sei eine fremderregte Gleichstrommaschine mit der dargestellten Drehmoment-Drehzahl-Charakteristik. Im Nennpunkt liege sowohl am Anker-, als auch am Erregerkreis die Nennspannung U_N = 200 V an. Die dabei aufgenommene elektrische Leistung des Anker- und Erregerkreises betrage insgesamt $P_{el,N}$ = 10 kW. Im unbelasteten Zustand stelle sich eine Drehzahl n_0 = 1100 min^{-1} ein. Der Ankerwiderstand betrage R_A = 400 mΩ und der Widerstand im Erregerkreis R_E = 100 Ω.



5.1 Zeichnen Sie das dynamische Ersatzschaltbild des Motors und geben Sie die Maschengleichungen für den Anker- und den Erregerkreis für den **in**stationären Fall an.

5.2 Sehen Sie sich die nachfolgenden gestrichelten Drehmoment-Drehzahlverläufe 1, 2, 3 im Vergleich mit der durchgezogenen originalen Kennlinie an und ordnen Sie diese den Fällen a), b) und c) mit kurzer Begründung zu:



a) zusätzlicher Vorwiderstand im Ankerkreis

b) Flussschwächung durch zusätzlichen Widerstand im Erregerkreis

c) Änderung der Speisespannung des Ankerkreises

Die Maschine wird im Folgenden stationär im Nennpunkt betrieben:

5.3 Bestimmen Sie den Verkettungsfluss $\boldsymbol{\psi'_E}$ des Motors.

5.4 Welcher Ankerstrom I_{AN} und welches Drehmoment T_N stellen sich ein?

5.5 Bestimmen Sie die Nenndrehzahl n_N.

5.6 Welchen Wirkungsgrad η_N hat der Motor?