Fachgebiet Leistungselektronik und Elektrische Antriebstechnik

Prof. Dr.–Ing. Joachim Böcker

Grundlagen der Elektrotechnik B

13.03.2013

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

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

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!

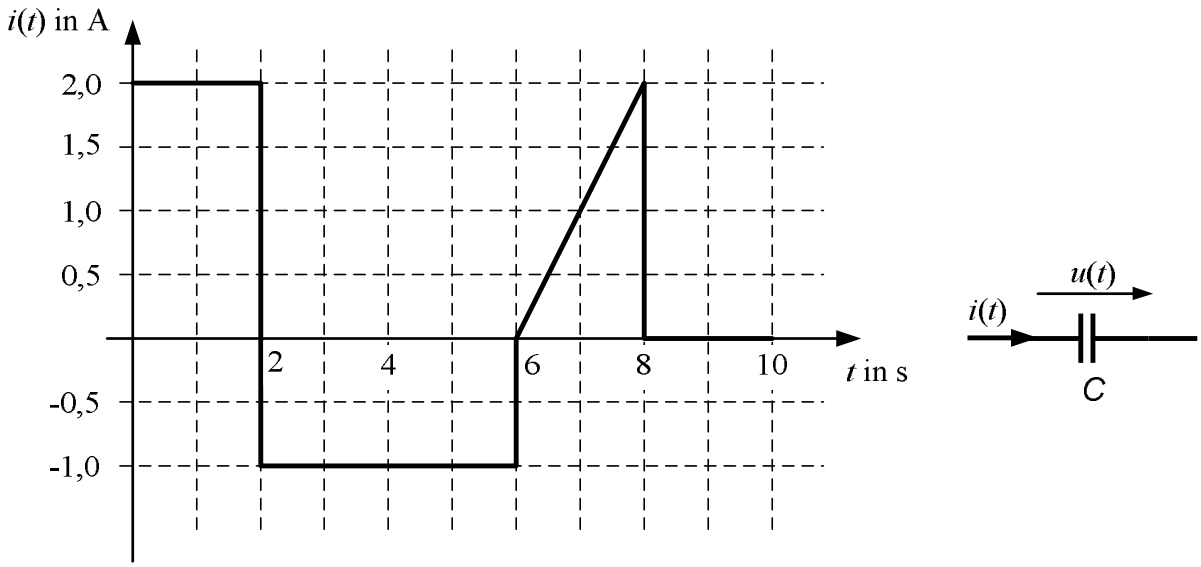
Bitte beschriften Sie jeden Klausurbogen mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer. Benutzen Sie für jede Aufgabe einen neuen Klausurbogen. Verwenden Sie keine Bleistifte und keine roten Stifte.

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 einem idealen Kondensator mit der Kapazität von C = 100 mF liege für eine Dauer von T = 10 s der im Bild dargestellte Strom $i_c(t)$ an. Zum Zeitpunkt t = 0 s betrage die Spannung über den Kondensator $u(t = 0)$ = 0 V.



1.1 Wie lautet der allgemeine Zusammenhang zwischen Strom und Spannung an einem idealen Kondensator mit der Kapazität C?

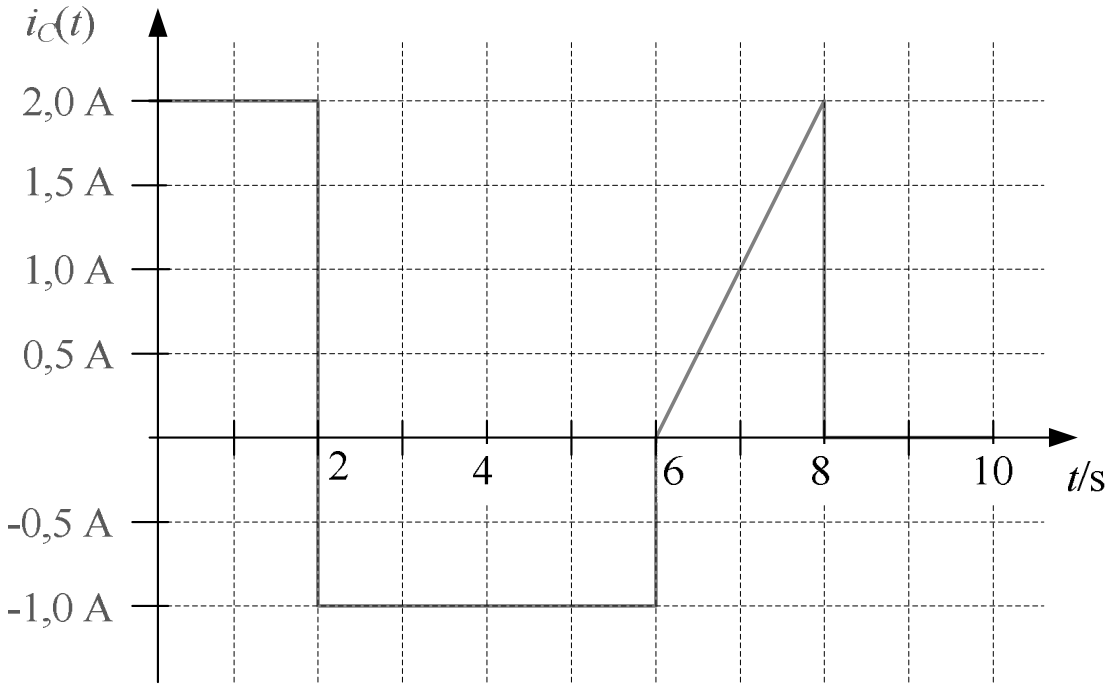
1.2 Bestimmen Sie den Gleichrichtwert des Stroms im Intervall [0;T].

Bitte wählen Sie für das Folgende geeignete Achsenbeschriftungen und –skalierungen!

1.3 Skizzieren Sie den Verlauf der Spannung u(t) in das auf der nächsten Seite angegebene Diagramm.

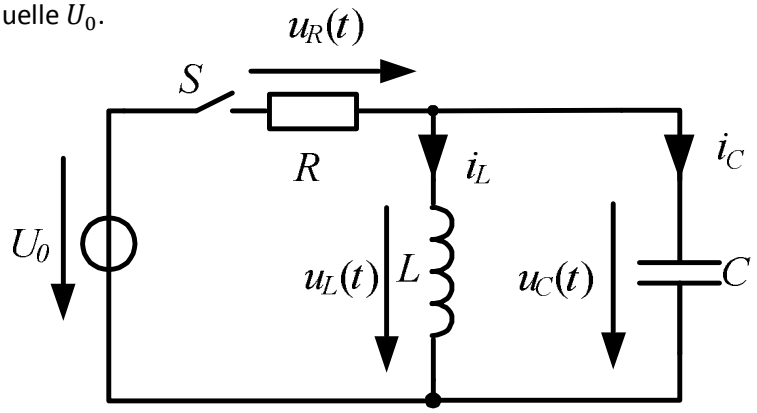
1.4 Wie groß ist die innere Energie W_L des Kondensators zum Zeitpunkt t_1 = 2 s und t_1 = 6 s?

1.5 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der inneren Energie in das auf der nächsten Seite angegebene Diagramm.


$i_C(t)$
2,0 A
1,5 A
1,0 A
0,5 A
-0,5 A
-1,0 A
2
4
6
8
10
t/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.



2.1 Geben Sie für die geöffnete Schalterstellung die Formeln für:

a) die Kennfrequenz f_0 des aus L und C bestehenden Schwingkreises und
b) dessen Kennwiderstand Z_0 an.

Der Schalter S sei nun zunächst für $t < 0$ **<u>geschlossen</u>**. Alle Ausgleichsvorgänge seien abgeklungen.

2.2 Geben Sie die Werte folgender Größen mit Begründung an:

a) Spannung über der Spule L: $u_L(t = 0^-)$,
b) Spannung über dem Kondensator C: $u_C(t = 0^-)$,
c) Kondensatorstrom $i_C(t = 0^-)$,
d) Spulenstrom $i_L(t = 0^-)$.

Der Schalter S werde nun zum Zeitpunkt $t = 0$ geöffnet.

2.3 Geben Sie die Werte folgender Größen direkt nach dem Schaltvorgang an (mit Begründung):

a) Spannung über der Spule L: $u_L(t = 0^+)$,
b) Spannung über dem Kondensator C: $u_C(t = 0^+)$,
c) Kondensatorstrom $i_C(t = 0^+)$,
d) Spulenstrom $i_L(t = 0^+)$.

2.4 Bestimmen Sie die *zeitlichen Mittelwerte* folgender Größen, die sich für $t > 0$ einstellen (mit Begründung):

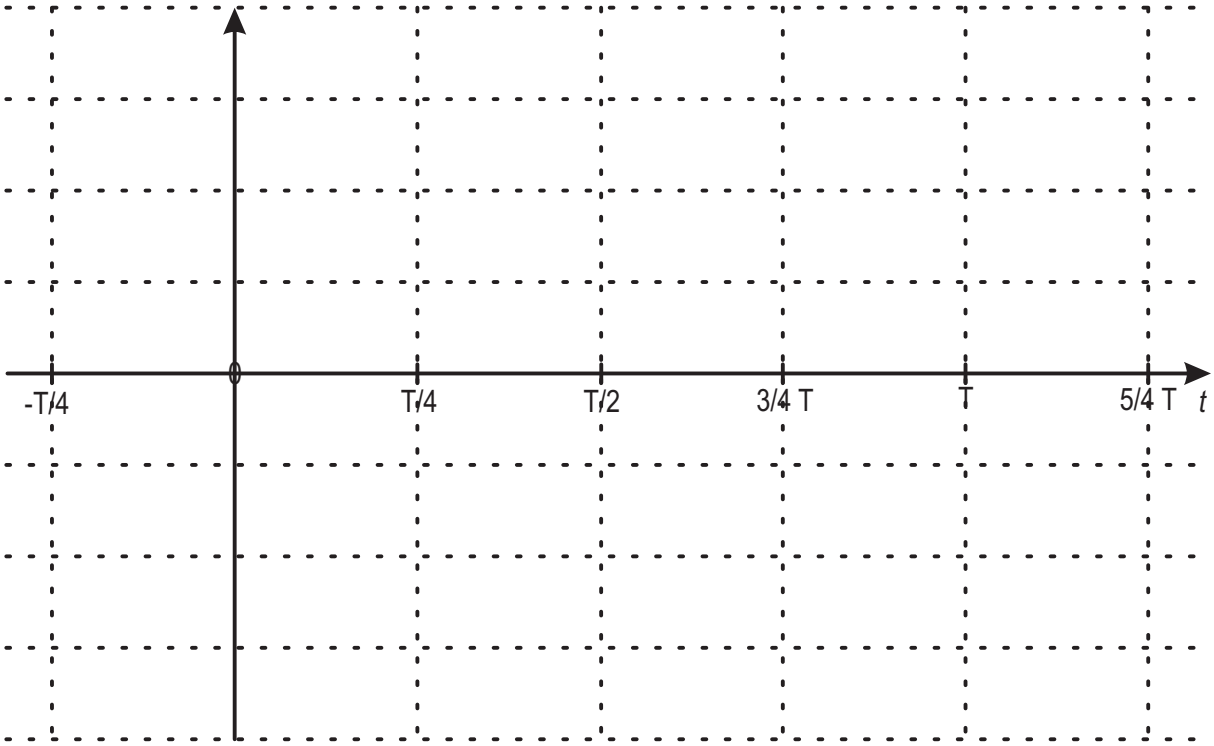
a) Spannung über der Spule L: $\overline{u_L}$,
b) Spannung über dem Kondensator C: $\overline{u_C}$,
c) Kondensatorstrom $\overline{i_C}$,
d) Spulenstrom $\overline{i_L}$.

2.5 Stellen Sie die Differenzialgleichung (DGL) für die Kondensatorspannung $u_C(t)$ für Zeiten $t > 0$ auf.

2.6 Lösen Sie die Differentialgleichung:

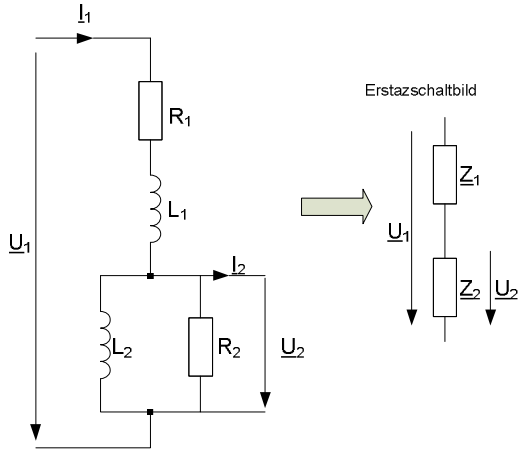
a) Geben Sie den allgemeinen Ansatz zur Lösung der DGL an.
b) Stellen Sie die Anfangsbedingungen zur Lösung der DGL auf.
c) Ermitteln Sie die Schwingungsgleichung für die Spannung $u_C(t)$ für Zeiten $t > 0$ durch Einsetzen der Anfangsbedingungen.

2.7 Skizzieren Sie den zeitlichen Verlauf der Ströme $i_C(t)$ und $i_L(t)$ sowie der Spannung $u_C(t)$ für $-T/4 < t < 5/4\ T$ in dem nachfolgend gegebenen Diagramm. Geben Sie die Maximalwerte der Ströme und der Spannung an. (T sei die Periodendauer)



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:

$\underline{U}_1 = 230\ \mathrm{V}\ e^{j\,0°}$ $\quad L_1 = 150\ \mathrm{mH}$ $\quad R_1 = 100\ \Omega$

$f = 50\ \mathrm{Hz}$ $\quad L_2 = 100\ \mathrm{mH}$ $\quad R_2 = 40\ \Omega$

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 $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_1$?

3.3 Zwischen welcher unteren und oberen Schranke kann die Phasenverschiebung zwischen $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_1$ liegen, wenn beliebige Variationen von Induktivitäts- 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 $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{L1}$ sowie $\underline{U}_{L2}$, 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 $\underline{U}_2$ und $\underline{U}_1$ auftritt?

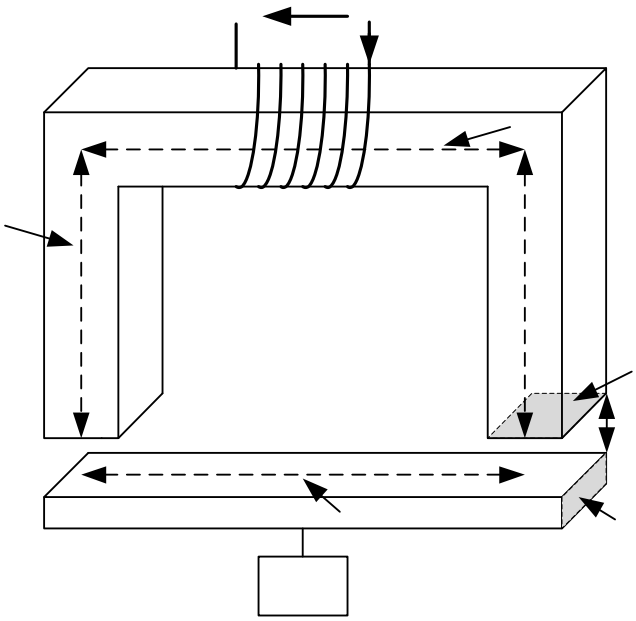
Der Ausgang des Brückenzweigs werde nun bei $f = 50\ \mathrm{Hz}$ mit einer realen Spule belastet. Diese habe eine Reaktanz von $31{,}42\ \Omega$ und einen Scheinwiderstand von $32{,}97\ \Omega$.

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 den eingangsseitig 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 = 3000 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 = 10).



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

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

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 des Abstands d an.

4.3 Berechnen Sie den mit der Wicklung verketten Fluss Ψ bei einem Abstand von d = 1 mm.

4.4 Geben Sie den Abstand d an, bei dem sich eine magnetische Flussdichte b_L = 100 mT einstellt.

4.5 Bei welchem Abstand d_1 schwebt das Werkstück mit einer Masse m = 20 kg im Gleichgewicht? **Beachten Sie μ_r = 10**

4.6 Es gilt nun $\mu_r \rightarrow \infty$: Wie groß darf jetzt die Masse m sein, dass sie bei Abstand d_1 schwebt?

Aufgabe 5: Gleichstrommaschine (13 Punkte)

Ein Gleichstrom-Reihenschlussmotor werde mit einem Strom von $I = 10\ \mathrm{A}$ gespeist. Das im Stillstand ($\omega = 0$) gemessene Losbrechdrehmoment betrage $T = 2{,}3\ \mathrm{Nm}$ bei $U = 5\ \mathrm{V}$ Klemmenspannung.

5.1 Zeichnen Sie das dynamische Ersatzschaltbild des Motors und geben Sie die Maschengleichung für den instationären Fall an.
Hinweis: Der Erreger- und der Ankerwiderstand können zum Innenwiderstand $\boldsymbol{R_i = R_e + R_a}$ zusammengefasst werden.

5.2 Bestimmen Sie den Innenwiderstand $\boldsymbol{R_i}$ und die wirksame Erregerinduktivität $\boldsymbol{L'_E}$.

Im Folgenden werde der Motor mit einer Klemmenspannung $U = 50\ \mathrm{V}$ betrieben. Das Drehmoment betrage $T = 15\ \mathrm{Nm}$.

5.3 Welche Drehzahl $\boldsymbol{n}$ stellt sich ein?

5.4 Bestimmen Sie die mechanische Leistung $\boldsymbol{P_{mech}}$ und die elektrische Leistung $\boldsymbol{P_{el}}$.

5.5 Welchen Wirkungsgrad $\boldsymbol{\eta}$ hat der Motor?