Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

Aufgabe 1:

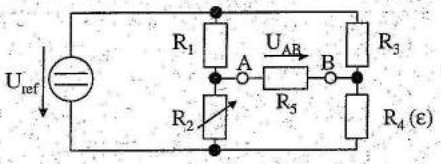
- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Dehnungsmessstreifen sind elektrische Widerstände, deren Widerstandswert von der mechanischen Dehnung abhängt. Im Folgenden sollen Messschaltungen für Dehnungsmessstreifen berechnet werden.

Teil a)

Gegeben ist zunächst eine Schaltung bestehend aus einer Gleichspannungsquelle U_{ref} und 4 Widerständen R_1 bis R_4 sowie einem Spannungsmessgerät, das durch den Widerstand R_5 beschrieben werden kann (s. Skizze 1). Die Widerstände $R_1 = R_3 = R$ haben den gleichen Wert. Der Widerstand R_2 ist verstellbar. Der Widerstand R_4 ist ein Dehnungsmessstreifen mit dem von der mechanischen Dehnung ε abhängigen Wert $R_4(\varepsilon) = R \cdot (1 + 2 \cdot \varepsilon)$.

Skizze 1



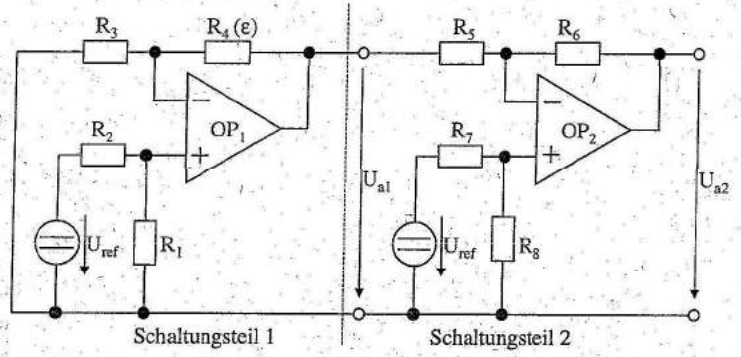
Fragen:

1. Wieviele Zweige und Knoten enthält die Schaltung? Wieviele Knoten- und Maschengleichungen sind zur Berechnung aller Ströme im Netzwerk notwendig (Hinweis: Es genügt, die Anzahl der jeweiligen Gleichungen anzugeben)?
2. Der verstellbare Widerstand wird zunächst auf einen beliebigen Wert $R_2 = R + \Delta R$ eingestellt. Der Widerstand des Messgeräts R_5 sei so groß, dass der Strom zwischen den Klemmen A und B vernachlässigbar klein wird. Geben Sie die Spannung zwischen den Klemmen A und B an!
3. Wie muss ΔR in Abhängigkeit von ε und R eingestellt werden, damit die Spannung über dem Messgerät U_{AB} zu Null wird?

Teil b)

Zur elektronischen Überwachung des mechanischen Dehnungszustands wird eine zweite Schaltung mit den Operationsverstärkern OP_1 und OP_2 verwendet (s. Skizze 2).

Die Operationsverstärker dürfen als ideal angesehen werden. Beide Gleichspannungsquellen liefern dieselbe Spannung U_{ref}.



Skizze 2

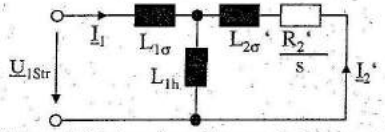
Fragen:

4. Zunächst soll nur der linke Schaltungsteil 1 betrachtet werden. Der Dehnungsmessstreifen wird durch den Widerstand $R_4(\varepsilon) = R \cdot (1 + 2 \cdot \varepsilon)$ symbolisiert. Die übrigen Widerstände $R_1 = R_2 = R_3 = R$ sind gleich groß und konstant. Wie groß wird die elektrische Spannung U_{a1} als Funktion von U_{ref} und der Dehnung ε?
5. Nun soll auch der rechte Schaltungsteil 2 mit einbezogen werden. Die Widerstände $R_5 = R_7 = R_e$ sowie $R_6 = R_8 = R_G$ sind jeweils gleich groß. Wie groß wird die elektrische Ausgangsspannung U_{a2} als Funktion von U_{ref}, R_G/R_e und ε? Wie groß ist das Verhältnis R_G/R_e zu wählen, damit bei einer Dehnung von $\varepsilon = 10^{-3}$ genau $U_{a2} = -U_{ref}$ wird?

Aufgabe 2:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Ein Wicklungsstrang eines Drehstrom-Asynchronmotors kann durch das folgende vereinfachte einphasige Ersatzschaltbild dargestellt werden, in dem die Reibungs-, Eisen- und Statorkupferverluste vernachlässigt werden:



Folgende Daten eines Strangs sind bekannt:

Bezogener Rotorwiderstand:	$R_2' = 0{,}128\ \Omega$
Hauptinduktivität:	$L_{1h} = 56{,}8$ mH
Streuinduktivitäten:	$L_{1\sigma} = L_{2\sigma}' = 2{,}56$ mH
Polpaarzahl:	$p = 2$

Die Maschine ist in Stern geschaltet!

Teil a)

Der Motor wird zunächst an der Nennspannung von $U_{1N} = 400$ V (verkettet) mit der Nennfrequenz $f_{1N} = 50$ Hz betrieben. Der Nullphasenwinkel der Strangspannung wird auf 0° ($\underline{U}_{1Str} = U_{1Str} \cdot e^{j0°}$) festgelegt.

Fragen:

1. Der Motor wird zunächst im Leerlauf betrieben. Der Schlupf im Leerlauf beträgt $s = s_0 = 0$. Wie groß ist der Strom $\underline{I}_{1,0}$ im Leerlauf?

   Wie hoch ist die Leerlaufdrehzahl n_0?

2. Nun wird der Motor mit Nennlast betrieben. Der Nennschlupf beträgt $s = s_N = 2\%$. Bestimmen Sie die Impedanz eines Strangs $\underline{Z}_{Str}$ und den Nennstrom $\underline{I}_{1N}$ der Maschine.

3. Berechnen Sie die gesamte elektrische Wirkleistung des Motors P_{1N} an den Statorklemmen! Wie groß ist das Drehmoment M_N? Wenn Sie den Nennstrom im vorigen Unterpunkt nicht berechnet haben, nehmen Sie einen Strom von $\underline{I}_{1N} = 70\ A\ e^{-j30°}$ an.

Teil b)

Nun soll der Motor an einem Frequenzumrichter betrieben werden. Die Amplitude und Frequenz der speisenden Spannung sind frei einstellbar.

Fragen:

4. Welche Statorfrequenz f_{1b} muss eingestellt werden, damit die Leerlaufdrehzahl des Motors $n_{0b} = 1200\ min^{-1}$ beträgt?

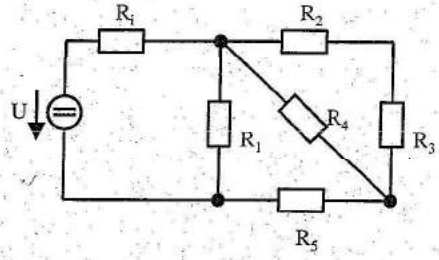
5. Auf welchen Wert muss die Spannung U_{1b} bei dieser Frequenz eingestellt werden, wenn sich derselbe Leerlaufstrom $I_{1,0b} = I_{1,0}$ wie bei Nennspannung und -frequenz ergeben soll? Bei welcher Drehzahl tritt nun das Nenndrehmoment M_N auf?

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Falsche Antworten werden als 0 Punkte gewertet.
- Die Punkte werden addiert und pauschal 10 Punkte für zufällig richtige Antworten abgezogen, d.h. es können maximal 20 Punkte erreicht werden. Negative Gesamtergebnisse werden als 0 Punkte gewertet.
- Kreuzen Sie daher zu jeder Frage eine Antwort a, b oder c an (z.B. X)!

Fragen:

1. Gegeben sei das nebenstehende Schaltungsnetzwerk. Die Spannung U sowie die Widerstände R_i und R_1 bis R_5 seien bekannt. Wieviele Knoten- und Maschengleichungen werden für die Berechnung aller Ströme im Netzwerk benötigt?

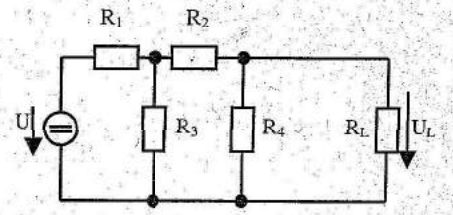


a 2 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

b 3 Maschengleichungen und 2 Knotengleichungen

c 3 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

2. Das nebenstehende Schaltungsnetzwerk besteht aus einer Spannungsquelle U und den Widerständen R_1 bis R_4 sowie R_L. Es soll die Spannung U_L bestimmt werden. Welches der folgenden Verfahren führt mit dem geringsten Rechenaufwand zum Ziel?



a Aufstellen und Lösen aller Maschen- und Knotengleichungen

b Vereinfachung des Netzwerks durch Berechnung der Parallelschaltung aus R_L und R_4

c Verwendung einer Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen von R_L

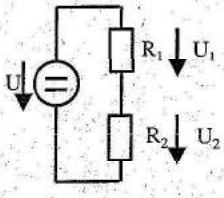
3. Welcher Leiterwerkstoff wird in Hochspannungs-Freileitungen verwendet, um die Masse und die Verluste gering zu halten?

a Kupfer

b Aluminium

c Magnesium

4. Wie lautet die Spannungsteilerregel für die Reihenschaltung der Widerstände R_1 und R_2 in der untenstehenden Schaltung?



a $\frac{u_1}{u_2} = \frac{R_2}{R_1}$

b $\frac{u_1}{u_2} = \frac{R_1}{R_2}$

c $u_1 \cdot R_1 + u_2 \cdot R_2 = 0$

5. Nach welcher Formel wird die Ersatzkapazität C_e von k parallel geschalteten Kondensatoren C_1 bis C_K berechnet?

a $C_e = \sum_k C_k$

b $C_e = \frac{1}{\sum_k \frac{1}{C_k}}$

c $C_e = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdots}{C_1 + C_2 + C_3 \cdots}$

6. Wie groß ist die Resonanzfrequenz f_0 der untenstehenden Schaltung aus den hintereinandergeschalteten Bauelementen Kondensator C_1, Induktivität L und Kondensator C_2?

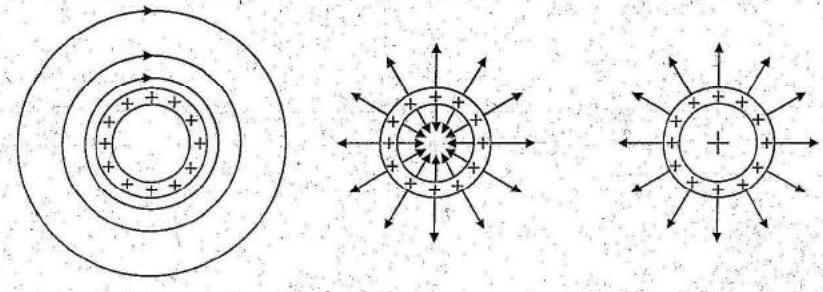
a $f_0 = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{\frac{L \cdot C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}}}$



b $f_0 = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{C_1} + \frac{L}{C_2}}$

c $f_0 = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{LC_1 + LC_2}}$

7. Die elektrischen Feldlinien einer geladenen metallischen Hohlkugel im ansonsten ladungsfreien, homogenen und ideal isolierenden Raum verlaufen



a b c

a in einem tangentialen Wirbel um die Kugel

b in radialer Richtung nach innen und außen

c im Außenraum in radialer Richtung ausgehend von der Kugeloberfläche

8. In welchem der folgenden Dielektrika kann die höchste Energiedichte des elektrischen Feldes erreicht werden?

a Öl ($\varepsilon_r = 2{,}5$; $E_D = 20\,MV\,m^{-1}$)

b Luft ($\varepsilon_r = 1$; $E_D = 3\,MV\,m^{-1}$)

c PVC ($\varepsilon_r = 4$; $E_D = 15\,MV\,m^{-1}$)

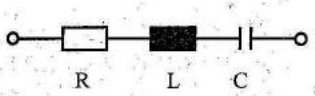
9. Die magnetische Anziehungskraft zweier paralleler stromführender Leiter ist

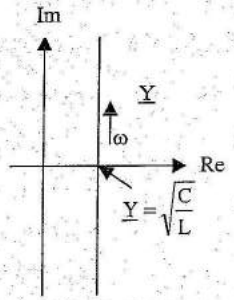
a proportional zu deren Abstand

b umgekehrt proportional zu deren Abstand

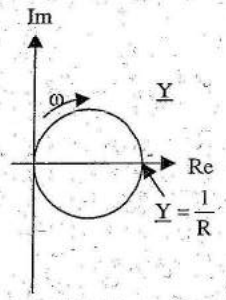
c proportional zum natürlichen Logarithmus ihres Abstands

10. Welche der folgenden Skizzen stellt die Ortskurve der Admittanz $\underline{Y} = f(\omega)$ eines gedämpften RLC-Reihenschwingkreises dar?

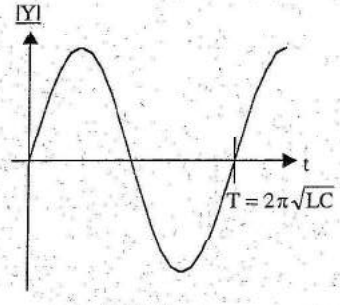




Skizze 1



Skizze 2



Skizze 3

a Skizze 1

b Skizze 2

c Skizze 3

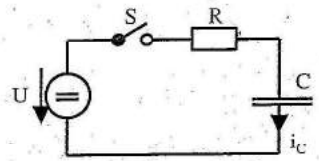
11. Wie verändert sich die Bandbreite eines Parallelschwingkreises mit steigender Güte Q?

a Sie wird größer.

b Sie wird kleiner.

c Sie ist immer gleich $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}}$.

12. Ein zunächst ungeladener Kondensator wird durch Schließen des Schalters S über einen Widerstand aufgeladen. Wie verhält sich der Kondensator unendlich lange Zeit nach Beendigung des Schaltvorgangs?



a Wie ein Kurzschluss.

b Wie ein endlicher Widerstand.

c Wie ein unendlich großer Widerstand.

13. Das Typenschild eines Drehstrommotors enthält die Angabe U_N 230/400V. Wie hoch ist die Strangspannung des Motors im Nennbetrieb?

a 230 V

b 400 V

c 690 V

14. Der N-Leiter im Fünfleiter-Drehstromnetz (TN-S-Netz) führt

a nur im Fehlerfall einen Strom

b nur bei unsymmetrischer Belastung einen Strom

c bei unsymmetrischer Belastung maximal ca. 10% des Außenleiterstroms

15. Die typische Leistung eines thermischen Großkraftwerks (z. B. Kern- oder Kohlekraftwerk) beträgt

a 1 GW

b 1 MW

c 100 MWh

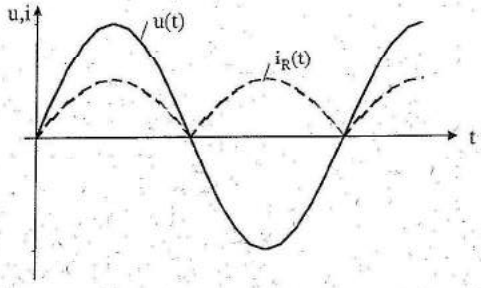
16. In Dioden entsteht bei hoher Sperrspannung ein Strom, der zusehends mehr Ladungsträger freisetzt und dadurch lawinenartig ansteigt. In welchem Bauelement wird dieser Effekt bewusst genutzt?

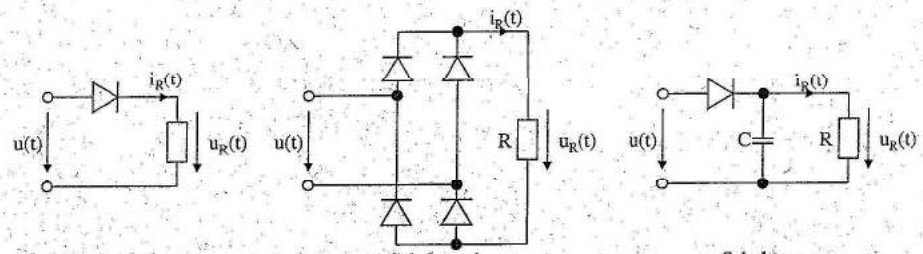
a Laserdiode

b PIN-Diode (Hochspannungsdiode)

c Zenerdiode

17. Welche der drei unten angegebenen Schaltungen erzeugt bei sinusförmiger Eingangsspannung u(t) die eingezeichnete Stromkurvenform $i_R(t)$ im Widerstand R?

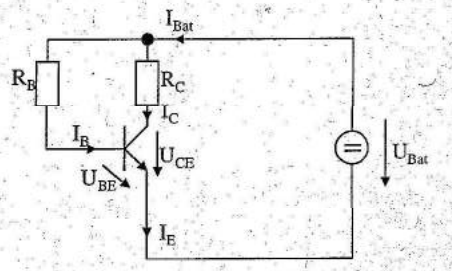




Schaltung a Schaltung b Schaltung c

a Schaltung a
b Schaltung b
c Schaltung c

18. Für eine Transistorschaltung entsprechend der nebenstehenden Skizze soll der Arbeitspunkt eingestellt werden. Die Daten $R_C = 1000\,\Omega$, $B = 100$, $U_{BE} = 0{,}6$ V und $U_{Bat} = 10$ V sind bekannt (der Transistor kann vereinfacht durch die linearisierten Steuer- und Eingangskennlinien beschrieben werden). Wie groß ist R_B zu wählen, damit sich ein sinnvoller Arbeitspunkt als Verstärker mit hoher symmetrischer Aussteuerbarkeit ergibt?

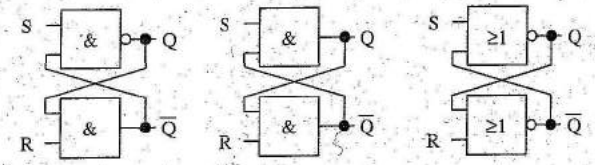


a $R_B = 47\,k\Omega$
b $R_B = 94\,k\Omega$
c $R_B = 188\,k\Omega$

19. Welche Grundschaltung des Bipolartransistors hat immer eine Spannungsverstärkung $|v_U| < 1$?

a Kollektorschaltung
b Basisschaltung
c Emitterschaltung

20. Welche der folgenden Schaltungen realisiert ein RS-Flipflop?



Schaltung a Schaltung b Schaltung c

a Schaltung a
b Schaltung b
c Schaltung c

21. Welche Logiktabelle gehört zur der folgenden Verknüpfung: $C = (A \cdot \overline{B}) + (\overline{A} \cdot B)$?

a

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

b

A	B	C
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

c

A	B	C
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

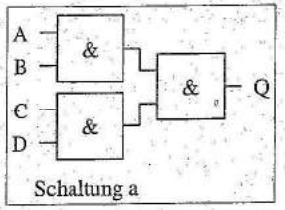
22. Durch das Theorem von de Morgan wird nachgewiesen, dass

a alle denkbaren logischen Verknüpfungen ausschließlich mit NOR-Gattern oder ausschließlich mit NAND-Gattern realisiert werden können.

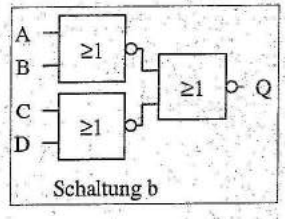
b alle denkbaren logischen Verknüpfungen aus AND- und OR-Gattern realisiert werden können.

c man zur Realisierung aller denkbaren logischen Verknüpfungen mindestens die Gattertypen NOT, AND und NOR oder NOT, OR und NAND benötigt

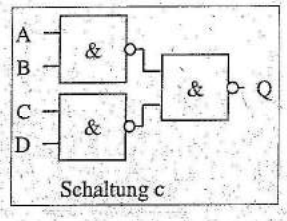
23. Mit welcher digitalen Schaltung wird die logische Verknüpfung $Q = (A+B)\cdot(C+D)$ realisiert? Hinweis: Formen Sie die Gleichung nach dem de Morganschen Theorem um!



Schaltung a



Schaltung b



Schaltung c

a Schaltung a

b Schaltung b

c Schaltung c

24. Welche digitale Schaltungsfamilie wird in verlustarmen komplexen Logikschaltungen (z.B. Mikroprozessoren) eingesetzt?

a TTL-Logik

b CMOS-Logik

c Low-Power-Schottky-Logik

25. Welche logische Schaltung kann als 1-Bit-Speicher genutzt werden?

a D-Flipflop

b AND-Gatter

c Inverter

26. Die ganze 8-Bit-Binärzahl 11000000 entspricht in ganzzahliger Zweierkomplement-Darstellung der Dezimalzahl

a 192

b -64

c -192

27. Die Multiplikation mit der Zahl 4 bedeutet in binärer Darstellung

a eine zweimalige Verschiebung nach links

b eine viermalige Verschiebung nach links

c ein viermalige Verschiebung nach rechts

28. Welcher der folgenden Elektromotoren benötigt einen mechanischen Kommutator?

a Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer

b Universalmotor

c Drehstrom-Asynchronmotor mit Schleifringläufer

29. Welche Frequenz f_A hat der Strom in den Spulen der Ankerwicklung eines rotierenden Gleichstrommotors?

a Beim Gleichstrommotor fließt ein Gleichstrom, also $f_A = 0$.

b Durch Einstreuung tritt die Netzfrequenz im Ankerkreis auf: $f_A = 50\,\mathrm{Hz}$.

c Die Frequenz ist gleich dem Produkt aus Polpaarzahl und Drehzahl: $f_A = p \cdot n$.

30. Die unten genannten Elektromotoren können für die gleiche Nennspannung mit gleichen Abmessungen gebaut werden. Bei welchem der genannten Motoren hat dann die Erregerwicklung die höchste Windungszahl?

a Universalmotor

b Reihenschlussmotor

c Nebenschlussmotor

zu Aufgabe 1:

1. Zweige z = 6; Knoten k = 4; (k - 1) = 3 Knoten- und z - (k - 1) = 3 Maschengleichungen
2. Unter Bezug auf das Potential am unteren Knoten (Verbindung R_2, R_4 und U_{ref}) folgt aufgrund der Spannungsteilerregel:

$$U_{AB} = U_A - U_B = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{ref} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \cdot U_{ref} = U_{ref} \cdot \frac{\Delta R - 2\varepsilon R}{(2R + \Delta R) \cdot (2 + 2\varepsilon)}$$

3. $U_{AB} = 0 \Rightarrow \Delta R = 2\varepsilon \cdot R$

4. nichtinvertierender Verstärker mit Spannungsteiler $\frac{R_1}{R_1 + R_2}$ für U_{ref}:

$$U_{a1} = U_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 + \frac{R_4}{R_3}\right) = (1 + \varepsilon) \cdot U_{ref}$$

5. Differenzverstärker: $U_{a2} = (U_{ref} - U_{a1}) \cdot \frac{R_G}{R_e} = -\varepsilon \cdot U_{ref} \cdot \frac{R_G}{R_e} \quad \Rightarrow \frac{R_G}{R_e} = 1000$

zu Aufgabe 2:

1. $I_0 = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot f_{1N} \cdot (L_{1\sigma} + L_{1h})} = 12{,}38\,\text{A} \qquad n_0 = \frac{f_{1N}}{p} = 1500\,\text{min}^{-1}$

2. $\underline{Z}_N = j\omega_1 L_{1\sigma} + \frac{j\omega_1 L_{1h} \cdot \left(j\omega_1 L_{2\sigma}' + \frac{R_2'}{s_N}\right)}{j\omega_1 \cdot (L_{1h} + L_{2\sigma}') + \frac{R_2'}{s_N}} = 6{,}234\,\Omega \cdot e^{j32{,}8°}$

$$\underline{I}_N = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_{1N}} = \frac{U_{1Str}}{j\omega_1 L_{1\sigma} + \frac{j\omega_1 L_{1h} \cdot \left(j\omega_1 L_{2\sigma}' + \frac{R_2'}{s_N}\right)}{j\omega_1 \cdot (L_{1h} + L_{2\sigma}') + \frac{R_2'}{s_N}}} = \frac{\frac{400\,\text{V}}{\sqrt{3}}}{6{,}234\,\Omega \cdot e^{j32{,}8°}} = 37\,\text{A} \cdot e^{-j32{,}8°}$$

3. $P_{elN} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos\varphi_N = 21{,}6\,\text{kW}$ bzw. $P_{elN} = \sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_N \cdot \cos\varphi_N = 42{,}0\,\text{kW}$

$M_N = \frac{P_{1N}}{2\pi n_0} = 137.5\,\text{Nm}$ bzw. $M_N = \frac{40\,\text{kW}}{2\pi \cdot 1500\,\text{min}^{-1}} = 267\,\text{Nm}$

4. $f_{1b} = \frac{n_0'}{n_0} \cdot f_{1N} = 40\,\text{Hz}$

5. $U_{1b} = \frac{n_0'}{n_0} \cdot U_{1N} = 320\,\text{V}$

$f_{2b} = f_{2N} = f_{1N} \cdot s_N = 1\,\text{Hz} \quad n_N = (1 - s_N) \cdot n_0 = 1470\,\text{min}^{-1}$

$n_{Nb} = n_{0b} - p \cdot f_{2b} = 1170\,\text{min}^{-1}$

zu Aufgabe 3:

1b	11b	21b
2c	12c	22a
3b	13a	23c
4b	14b	24b
5a	15a	25a
6a	16c	26b
7c	17b	27a
8a	18c	28b
9b	19a	29c
10b	20c	30c

Herbst 2005

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

Aufgabe 1:

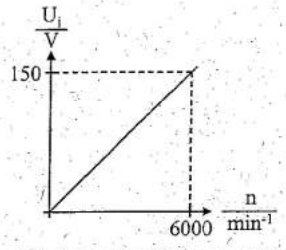
- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Eine Gleichstrommaschine wird als Tachogenerator zur Drehzahlmessung und -überwachung in einem Antriebssystem eingesetzt. Sie hat folgende Nenndaten:

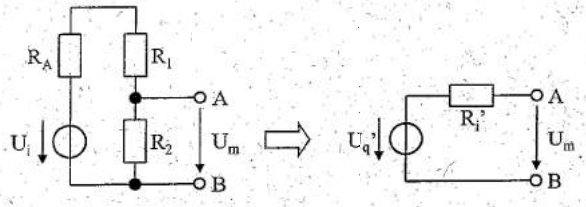
Induzierte Spannung: $U_i = 150$ V bei 6000 min^{-1}

Ankerwiderstand: $R_A = 100\ \Omega$

Die Verluste der Maschine dürfen mit Ausnahme der Kupferverluste im Ankerwiderstand vernachlässigt werden.

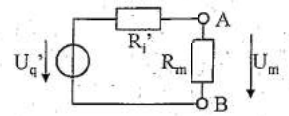


Das Tachosignal soll für Messzwecke elektronisch weiterverarbeitet werden. Daher muss die Spannung des Generators reduziert werden. Dazu wird ein Spannungsteiler mit den Widerständen R_1 und R_2 benutzt.



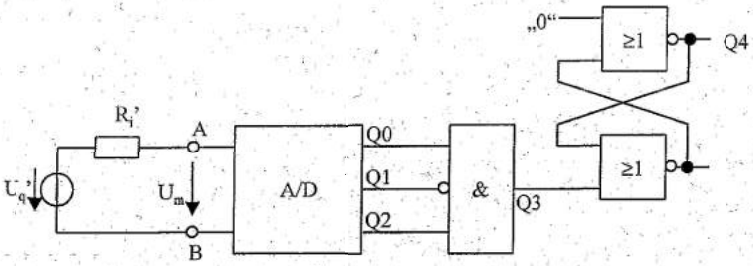
1. Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_2 so, dass bezüglich der Klemmen A - B eine Ersatzspannungsquelle entsteht, die bei 6000 min^{-1} genau $U_q' = 10$ V mit einem Innenwiderstand von $R_i' = 10\ \Omega$ liefert!
2. Welche mechanische Leistung wird für die Messung bei 6000 min^{-1} benötigt, wenn die Klemmen A - B offen bleiben? (Hinweis: die gesamte mechanische Leistung wird hier in den Widerständen in Wärme umgesetzt!)

An die Klemmen A - B wird nun ein verlustbehafteter Spannungsmesser geschaltet.

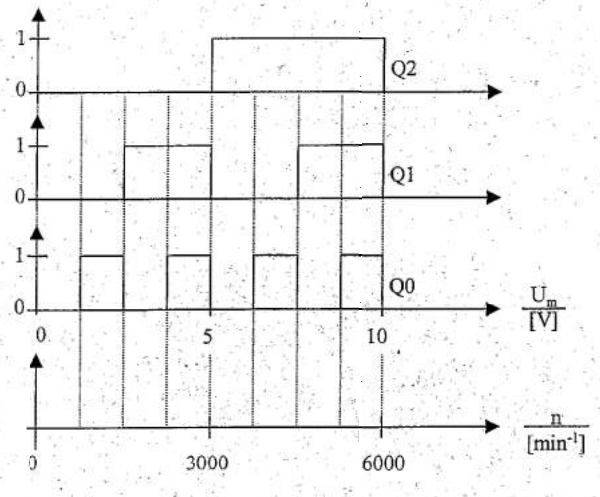


3. Wie groß wird die angezeigte Spannung U_m bei 6000 min^{-1}, wenn an den Klemmen A - B ein Spannungsmesser mit dem Innenwiderstand von $R_m = 1000\ \Omega$ angeschlossen wird?

Der Spannungsmesser wird nun entfernt und durch einen 3-Bit-Analog-Digitalwandler mit den Ausgängen Q2, Q1 und Q0 und einer logischen Auswerteschaltung mit den zusätzlichen Ausgängen Q3 und Q4 ersetzt. Der Eingangswiderstand des Wandlers ist so groß, dass näherungsweise $U_q' \approx U_m$ angenommen werden kann.

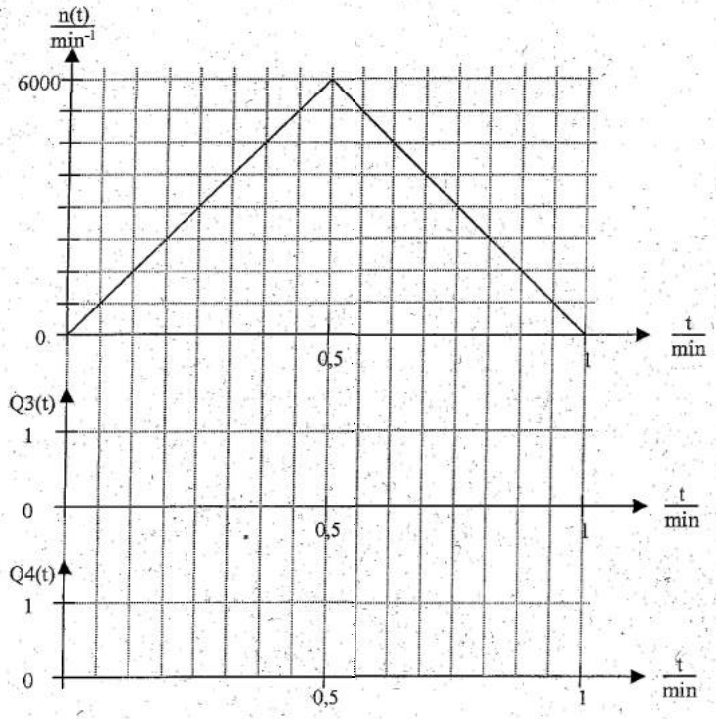


Die digitalen Ausgänge Q0 bis Q2 des Analog-Digital-Wandlers sind in der nachfolgenden Skizze beschrieben.



Die Drehzahl wird nun in einer Minute einmal bis 6000 min^{-1} linear hochgefahren und dann wieder linear auf Null abgebremst (s. Diagramm S. 3).

4. Tragen Sie im untenstehenden Diagramm den zeitlichen Verlauf von Q3(t) ein!
5. Tragen Sie im untenstehenden Diagramm den zeitlichen Verlauf von Q4(t) ein!



Aufgabe 2:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar

Ein Drehstrom-Asynchronmotor hat folgende Nenndaten lt. Typenschild:

Nenn-Leistung an der Welle:	$P_N = 30\,kW$
Nenn-Spannung:	$U_N = 690\,V$
Nenn-Strom:	$I_N = 32\,A$
Nenn-Leistungsfaktor:	$\cos\varphi_N = 0{,}85$
Nenn-Drehzahl:	$n_N = 1450\,min^{-1}$
Nennfrequenz:	$f_{1N} = 50\,Hz$
Schaltung:	Y

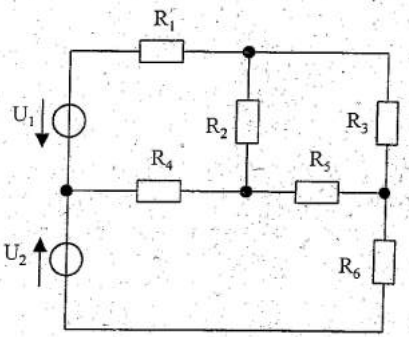
1. Berechnen Sie die Impedanz Z_N eines Motorstrangs im Nennpunkt! Wie groß ist die Strang-Spannung U_{UN} im Nennbetrieb?
2. Welche Polpaarzahl p hat der Motor (Begründung erforderlich)? Wie groß ist der Wirkungsgrad η_N im Nennbetrieb?
3. Beim Betrieb am 690 V-Netz soll zur Eliminierung der Blindleistungsaufnahme eine Kompensationsschaltung installiert werden. Wie groß sind die Kondensatoren zu wählen, wenn eine Sternschaltung gewählt wird?
4. Der Motor soll nun an einem 400 V / 50 Hz - Drehstromnetz betrieben werden (Hinweis: $690V/400V \approx \sqrt{3}$). Welche schaltungstechnische Änderung ist erforderlich, damit der Motor weiterhin dauernd Nennleistung liefern kann? Wie groß wird der Leiter-Strom I_{L1} bei Nennleistung?
5. Die Spannung des 400 V-Netzes sinkt kurzzeitig auf 90% des Nennwerts. Die Drehzahl des Motors soll weiterhin der Nenndrehzahl entsprechen. Wie groß wird die Motorleistung P_{90}, wenn näherungsweise angenommen wird, dass der Wirkungsgrad gleich bleibt?

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Falsche Antworten werden als 0 Punkte gewertet.
- Die Punkte werden addiert und von der Summe pauschal 10 Punkte für zufällig richtige Antworten abgezogen, d.h. es können maximal 20 Punkte erreicht werden. Negative Gesamtpunktzahlen werden als 0 Punkte gewertet.
- Kreuzen Sie daher zu jeder Frage genau eine Antwort a, b oder c an (z.B. ✕)!

Fragen:

1. Gegeben sei das nebenstehende Schaltungsnetzwerk. Die Spannungen U_1 und U_2 sowie die Widerstände R_1 bis R_6 seien bekannt. Wieviele Knoten- und Maschengleichungen werden für die Berechnung aller Ströme im Netzwerk benötigt?

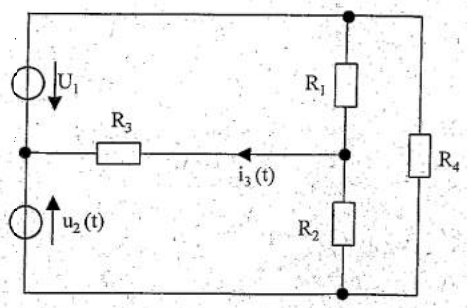


a 4 Maschengleichungen und 2 Knotengleichungen

b 3 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

c 2 Maschengleichungen und 4 Knotengleichungen

2. Das nebenstehende Schaltungsnetzwerk besteht aus einer Gleich- und einer Wechselspannungsquelle U_1 und $u_2(t)$ und den Widerständen R_1 bis R_4. Es soll der Strom $i_3(t)$ bestimmt werden. Welches der folgenden Verfahren führt mit dem geringsten Rechenaufwand zum Ziel?



a Aufstellen und Lösen aller Maschen- und Knotengleichungen

b Berechnung einer Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen von R_3

c Anwendung des Helmholtz'schen Überlagerungssatzes und der Stromteilerregel

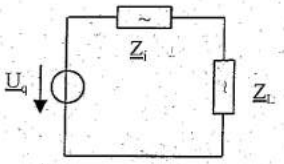
3. Welcher Stoff wird als Isolator in großen Transformatoren verwendet?

a PVC

b Schwefelhexafluorid (SF_6)

c Öl

4. Eine Lastimpedanz $\underline{Z}_L$ wird von einer realen Wechselspannungsquelle mit der Leerlaufspannung $\underline{U}_q$ und der Innenimpedanz $\underline{Z}_i$ gespeist. Wie muss $\underline{Z}_L$ dimensioniert werden, um die maximal mögliche Leistung an $\underline{Z}_L$ zu erreichen (Leistungsanpassung)?

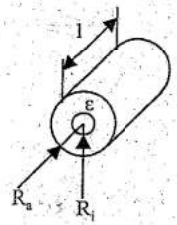


a $\underline{Z}_L = \underline{Z}_i^*$

b $\underline{Z}_L = \underline{Z}_i$

c $\underline{Z}_L \to 0$

5. Nach welcher Formel kann die Kapazität eines Koaxialkabels der Länge l mit dem Innenleiterdurchmesser R_i und dem Außenleiterdurchmesser R_a berechnet werden?

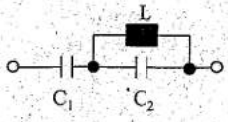


a $C = \dfrac{2\pi \cdot \varepsilon \cdot l}{\ln\left(\dfrac{R_a}{R_i}\right)}$

b $C = 2\pi \cdot \varepsilon \cdot l \cdot \sin\left(\dfrac{R_a}{R_i}\right)$

c $C = \varepsilon \cdot \dfrac{\pi \cdot \left(R_a^2 - R_i^2\right)}{l}$

6. Der nebenstehende Resonanzkreis aus den Kondensatoren C_1 und C_2 und der Induktivität L hat

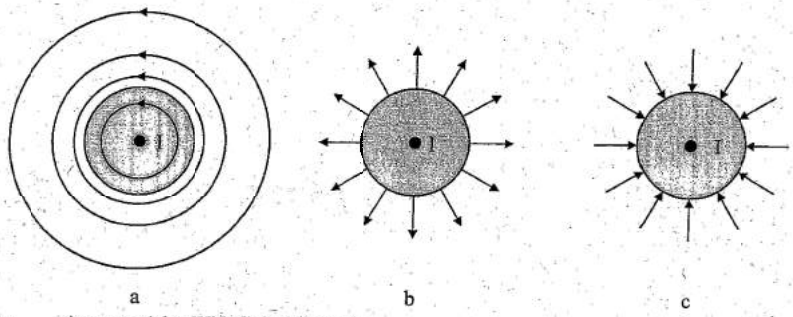


a nur eine Serienresonanz ($Z(\omega_S) = 0$)

b immer eine Serienresonanz ($Z(\omega_S) = 0$) und eine Parallelresonanz ($Z(\omega_P) \to \infty$) nur für $C_2 > C_1$

c immer eine Serien- und eine Parallelresonanz ($Z(\omega_S) = 0$, $Z(\omega_P) \to \infty$)

7. Die magnetischen Feldlinien eines langen, stromführenden Leiters im ansonsten stromlosen und homogenen Raum verlaufen



a b c

a in tangentialen Wirbeln im Innen- und Außenraum des Leiters

b in radialer Richtung nach außen

c in radialer Richtung nach innen

8. Wodurch wird die Energiedichte in magnetischen Kreisen begrenzt, deren Feldlinien im Wesentlichen durch Weicheisen verlaufen?

a Koerzitivfeldstärke H_C

b Sättigungsinduktion B_S

c Durchschlagsfeldstärke E_D

9. Verzweigte magnetische Kreise können nach den Regeln der Netzwerktheorie berechnet werden, wenn folgende Entsprechungen zwischen elektrischen und magnetischen Größen beachtet werden:

a $I \Leftrightarrow \Phi, U \Leftrightarrow \Theta, R \Leftrightarrow R_m$

b $I \Leftrightarrow \Theta, U \Leftrightarrow \Phi, R \Leftrightarrow L$

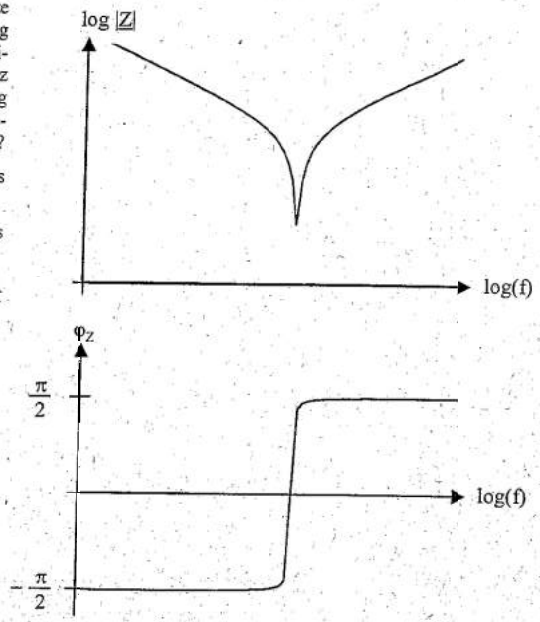
c $I \Leftrightarrow \Theta, U \Leftrightarrow \frac{d\Psi}{dt}, R \Leftrightarrow L, G \Leftrightarrow C$

10. Die nebenstehende Skizze gibt den Frequenzgang von Betrag und Phase einer komplexen Impedanz an. Mit welcher Schaltung kann ein solcher Frequenzgang erzielt werden?

a Parallelschwingkreis aus R, L und C

b Reihenschwingkreis aus R, L und C

c Reihenschaltung aus R und C



11. Wie ist die Bandbreite eines Parallelschwingkreises festgelegt?

a Die Bandbreite beschreibt die Differenz der beiden Frequenzen, bei denen der Betrag der Impedanz Z um den Faktor $1/\sqrt{2}$ unter dem Maximalwert liegt.

b Die Bandbreite beschreibt die Differenz der beiden Frequenzen, bei denen der Betrag der Impedanz Z um den Faktor 2 über dem Minimalwert liegt.

c Sie beschreibt die Differenz der beiden Frequenzen, bei denen der Phasenwinkel $\varphi_{Zo} = +\pi/2$ bzw $\varphi_{Zu} = -\pi/2$ beträgt.

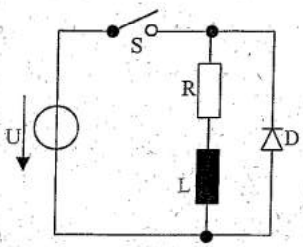
12. Der Strangstrom I_U eines im Dreieck geschalteten symmetrischen Verbrauchers im Drehstromnetz beträgt bezogen auf den Leiterstrom I_L

a $I_U = I_L$

b $I_U = I_L \cdot \sqrt{3}$

c $I_U = I_L / \sqrt{3}$

13. Warum werden geschalteten induktiven Verbrauchern in Gleichstromkreisen (z.B. Spule eines Gleichstromrelais) Dioden parallelgeschaltet?



a Um den Strom in der Induktivität nach dem Betätigen des Schalters zu übernehmen und damit die Spannung am Schalter zu minimieren

b Um fehlerhafte negative Spannungen von der Spule fernzuhalten

c Um die Induktivität durch die Zenerwirkung der Diode gegen zu hohe Spannungen zu schützen

14. Welcher Querschnitt ist für den N-Leiter im Fünfleiter-Drehstromnetz (TN-S-Netz) vorzusehen? (Hinweis: Beachten Sie den maximal möglichen Strom bei unsymmetrischer Belastung)

a etwa 10% des Querschnitts der L1, L2 und L3-Leiter

b ein etwa dreimal größerer Querschnitt wie für die L1, L2 und L3-Leiter

c derselbe Querschnitt wie für die L1, L2 und L3-Leiter

15. Die großräumige Energieübertragung im europäischen Verbundnetz erfolgt

a auf der Hochspannungsebene (100 kV..400 kV)

b auf der Mittelspannungsebene (10 kV..30 kV)

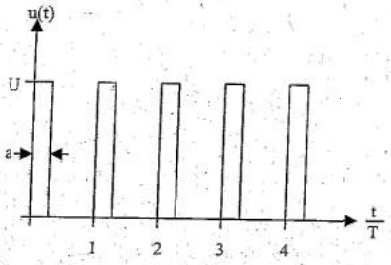
c auf der Niederspannungsebene (400..690 V)

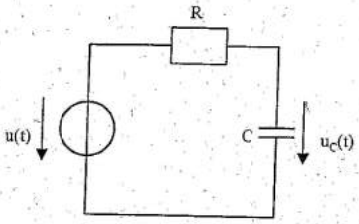
16. Die Durchlassspannung einer PN-Siliziumdiode beträgt etwa

a 1,2 V

b 0,7 V

c 0,3 V





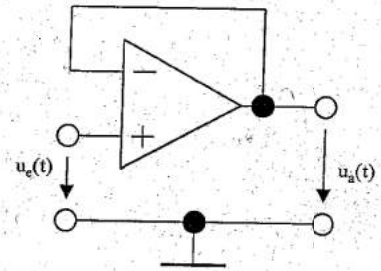
17. Die obenstehende Schaltung wird mit der pulsbreitenmodulierten Spannung u(t) der Breite aT, der Periode T und der Amplitude U gespeist. Wie groß ist die mittlere Spannung am Kondensator $\bar{u}_C$, wenn RC >> T gilt und ein eingeschwungener Zustand erreicht ist?

a $\bar{u}_C = \sqrt{a} \cdot U$

b $\bar{u}_C = \frac{U}{a}$

c $\bar{u}_C = a \cdot U$

18. Die nebenstehende Schaltung eines Operationsverstärkers wird auch als Spannungsfolger bezeichnet. Sie kann eingesetzt werden zur



a Phasenverschiebung um 180° (Invertierung)

b Stromverstärkung ($v_i >> 1$)

c Spannungsverstärkung ($v_U >> 1$)

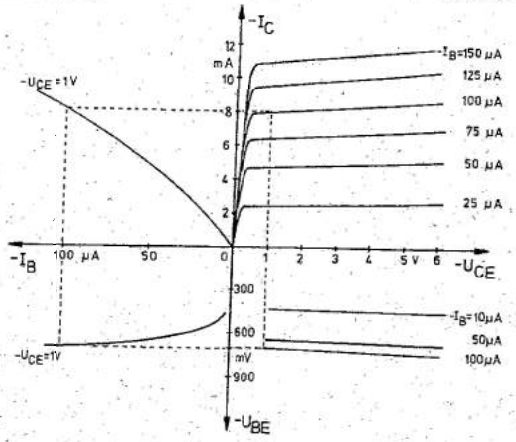
19. Welche Grundschaltung des Bipolartransistors hat immer eine Stromverstärkung $|v| < 1$?

a Kollektorschaltung

b Basisschaltung

c Emitterschaltung

20. Nebenstehend ist das Kennlinienfeld eines PNP-Bipolar-Transistors gezeigt. Wie groß ist die Stromverstärkung B im gestrichelt eingezeichneten Arbeitspunkt? (Hinweis: Sie benötigen nur einen Quadranten des Kennlinienfelds!)

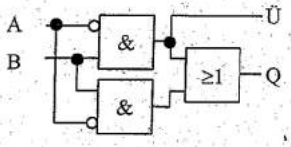


a B = 50

b B = 80

c B = 150

21. Welche Logiktabelle gehört zur nebenstehenden Schaltung?



a

A	B	Q	Ü
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

b

A	B	Q	Ü
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

c

A	B	Q	Ü
0	0	0	1
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	0

22. Aus welchen logischen Grundschaltungen werden elektronische Zähler aufgebaut?

a Addierer

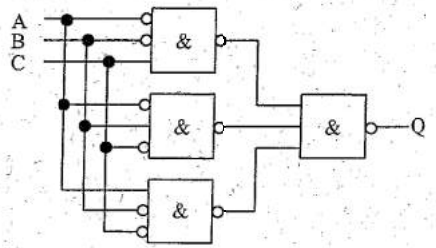
b Flipflops

c Dividierer

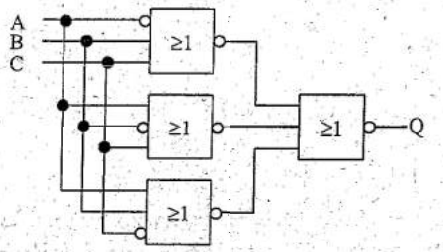
23. Welche der drei Schaltungen realisiert folgende logische Gleichung:

$Q = \overline{A} \cdot \overline{B} \cdot C + \overline{A} \cdot B \cdot \overline{C} + A \cdot \overline{B} \cdot \overline{C}$. Beachten Sie die De Morganschen Theoreme!

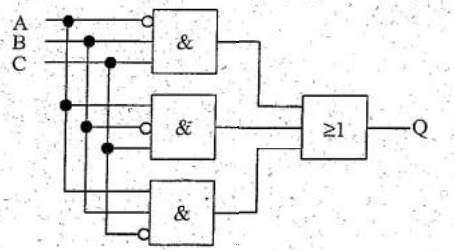
a



b



c



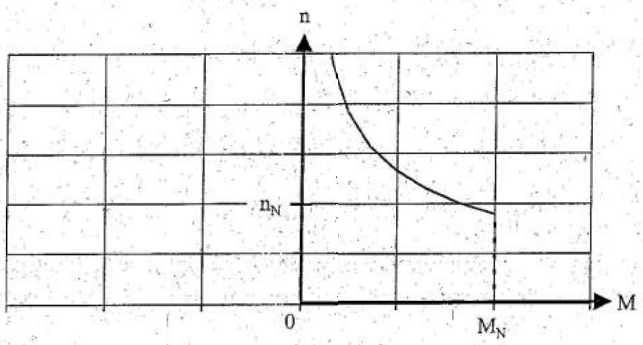
24. Wie lautet die Dezimalzahl -100_D in binärer 8-Bit-Zweikomplement-Darstellung

a 0110 0100

b 1001 1011

c 1001 1100

25. Eine elektrische Maschine hat beim Betrieb an konstanter Spannung die untenstehende stationäre Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie. Um welchen Maschinentyp kann es sich handeln?



a Gleichstrom-Nebenschlussmaschine

b Gleichstrom-Reihenschlussmaschine

c fremderregte Gleichstrommaschine

26. Welche mechanische Größe ist - bei Vernachlässigung aller Verluste - direkt proportional dem Ankerstrom eines fremderregten Gleichstrommotors?

a das Drehmoment

b die Drehzahl

c das Trägheitsmoment

27. Welcher der folgenden Elektromotoren benötigt keine Bürsten?

a Gleichstrommotor

b Universalmotor

c Drehstrom-Asynchronmotor mit Käfigläufer

28. Wie groß ist der Schlupf s eines Asynchronmotors im Stillstand?

a $s = 0$

b $s \approx 0{,}05$

c $s = 1$

29. Welche Frequenz f_2 hat der Strom in den Spulen der Läuferwicklung eines mit der Drehzahl n rotierenden 2p-poligen Asynchronmotors, der mit einer Ständerspannung der Frequenz f_1 gespeist wird?

a $f_2 = f_1 + p \cdot n$

b $f_2 = p \cdot n - f_1$

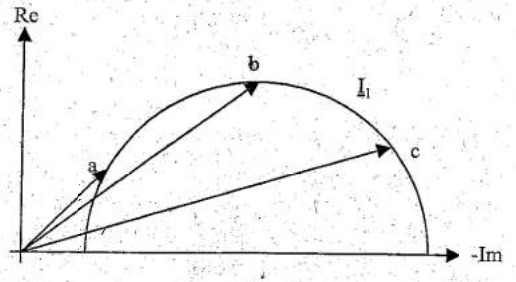
c $f_2 = f_1 - p \cdot n$

30. Gegeben sei die untenstehende Ortskurve des Ständerstroms eines Asynchronmotors. In welchem der eingezeichneten Punkte gibt der Motor das höchste Drehmoment ab?

a Punkt a

b Punkt b

c Punkt c



Lösung Aufgabe 1:

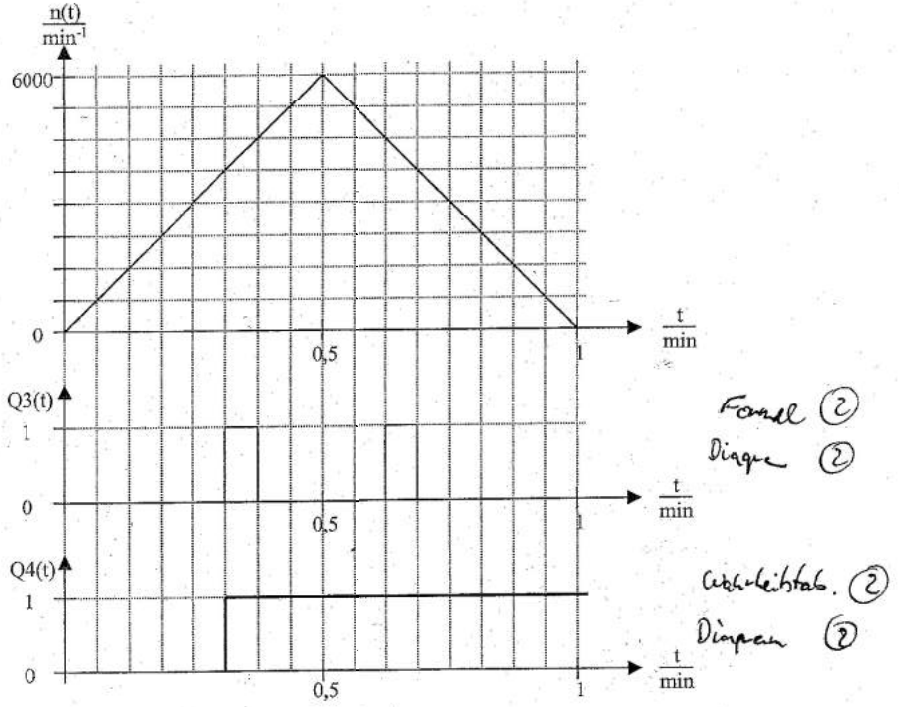
1. $U_q' = \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_A} \cdot U_i$ ① $\Rightarrow$ $R_2 = \frac{R_1 + R_A}{\frac{U_i}{U_q'} - 1} = 10{,}7\Omega$ ①

$R_i' = \frac{R_2 \cdot (R_1 + R_A)}{R_1 + R_2 + R_A}$ ① $\Rightarrow$ $R_1 = \frac{U_i}{U_q'} R_i' - R_A = 50\Omega$ ①

2. $P = \frac{U_i^2}{R_A + R_1 + R_2} = 140\text{W}$ ② Formel ② Zahlenwert

3. $U_m = U_q' \cdot \frac{R_m}{R_1' + R_m} = 9{,}9\text{V}$ ② Formel ② Zahlenwert

4.,5.:



Formel ②
Diagramm ②

Schaltzeitstab. ②
Diagramm ②

Lösung Aufgabe 2:

1. $\underline{Z}_N = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_N} \cdot e^{j\varphi_N} = 12{,}45\Omega \cdot e^{j31{,}8°}$

$U_{UN} = \frac{U_N}{\sqrt{3}} = 400\text{V}$

je ① Formel, Zahlenwert

je ① Formel, Zahlenwert

2. für p = 2 ergibt sich $s_N = 3{,}33\%$

$\eta_N = \frac{P_N}{\sqrt{3} U_N \cdot I_N \cdot \cos\varphi_N} = 92{,}3\%$

Schlupf ①, Polpaarzahl ①

Formel für η ① Zahlenwert ①

3. $I_{bN} = I_N \cdot \sqrt{1 - (\cos\varphi_N)^2} = 16{,}86\text{A}$

3 Kondensatoren à $C = \frac{1}{2\pi \cdot 50\text{Hz}} \cdot \frac{I_{bN} \cdot \sqrt{3}}{U_N} = 135\mu\text{F}$

Formel Blindstrom ① Zahlenwert ①

Formel Kondensator ① Zahlenwert ①

4. Der Motor muss im Dreieck geschaltet werden

$I_{L1} = \sqrt{3} \cdot I_U = 55{,}4\text{A}$

Dreieck ②

Formel I_{L1} ① Zahlenwert I_{L1} ①

5. $P \sim U^2 \Rightarrow P_{e)} = P_N \cdot 0{,}9^2 = 24{,}3\text{kW}$

Formel ②
Zahlenwert ②

Lösung Aufgabe 3:

1b	11a	~~21a~~
2c	12c	22b
3c	13a	23a
4a	14c	24c
5a	15a	25b
6c	16b	26a
7a	17c	27c
8b	18b	28c
9a	19b	29c
10b	20b	30b

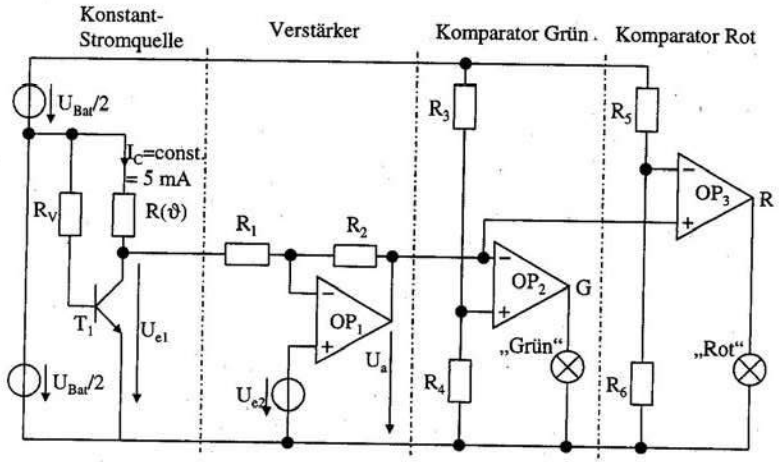
Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

Aufgabe 1:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar. Hinweis: Die einzelnen Fragen können unabhängig voneinander beantwortet werden!

Ein temperaturabhängiger Widerstand $R(\vartheta) = 100\Omega \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20°C}{150K}\right)$ soll zur Temperaturmessung im Bereich von 20 °C bis 170 °C eingesetzt werden. Der Widerstand wird von einer Konstantstromquelle mit Bipolartransistor gespeist (s. Bild). In einer zweiten Stufe wird das Temperatursignal verstärkt. In der dritten Stufe wird das Signal digitalisiert. Die Versorgungsspannung des Mess-Systems beträgt $U_{Bat} = 15$ V mit einer Mittelanzapfung bei $U_{Bat}/2$.



Fragen:

1. Der Strom der mit $U_{Bat}/2$ versorgten Konstantstromquelle soll $I_C = 5$ mA betragen. Bei welcher Temperatur tritt die höchste Verlustleistung im Messwiderstand $R(\vartheta)$ auf, und wie groß ist diese Verlustleistung?
2. Der Bipolartransistor T_1 kann hinreichend durch die Stromverstärkung $B = 100$ und die Basis-Emitter-Spannung $U_{BE0} = 0{,}65$ V beschrieben werden. Der Basis-Bahnwiderstand darf mit $R_{BE} \approx 0$ vernachlässigt werden. Wie groß ist der Widerstand R_V für den angegebenen Strom von $I_C = 5$ mA zu wählen?

Aufgabe 2:

- pro richtig beantworteter Frage sind 4 Punkte erreichbar. Hinweis: Die einzelnen Fragen können unabhängig voneinander beantwortet werden!

Ein Kraftfahrzeug-Lüfter wird von einem permanenterregten Gleichstrommotor angetrieben. Der Motor hat die Nenndaten:

$U_N = 12$ V

$I_N = 20$ A

$M_N = 1$ Nm

$\eta_N = 65$ %

Alle Verluste außer den Anker-Kupferverlusten im Ankerwiderstand R_a dürfen vernachlässigt werden. Aufgrund der Permanenterregung ist $k\Phi = k\Phi_N$ immer konstant.

Fragen:

1. Wie groß ist die Nennleistung P_N des Motors?
2. Wie groß ist der Ankerwiderstand R_a des Motors?
3. Wie groß ist das Anfahrdrehmoment M_A des Motors bei der Drehzahl $n = 0$ und der Nennspannung $U_a = U_N = 12$ V (Hinweis: Wenn Sie Frage 2. nicht gelöst haben, nehmen Sie $R_a = 0{,}2\ \Omega$ an)?

Im Teillastbetrieb soll der Lüfter zur Geräuschreduktion mit 80 % der Nenndrehzahl und 64 % der Nennleistung betrieben werden.

Fragen:

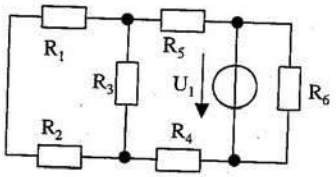
4. Welches Drehmoment und welcher Ankerstrom müssen eingestellt werden?
5. Welche Ankerspannung muss eingestellt werden? Wie groß muss der Modulationsgrad a gewählt werden, wenn die Ankerspannung über einen Tiefsetzsteller aus dem 12 V - Netz erzeugt wird? (Hinweis: Wenn Sie den Ankerstrom in Frage 4. nicht ermittelt haben, nehmen Sie $I_a = 15$ A an).

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Falsche Antworten werden als 0 Punkte gewertet.
- Die Punkte werden addiert und pauschal 10 Punkte für zufällig richtige Antworten abgezogen, d.h. es können maximal 20 Punkte erreicht werden. Negative Gesamtergebnisse werden als 0 Punkte gewertet.
- Kreuzen Sie daher zu jeder Frage eine Antwort a, b oder c an (z.B. ☒)!

Fragen:

1. Gegeben sei das nebenstehende Netzwerk. Die Spannung U_1 sowie die Widerstände R_1 bis R_6 seien bekannt. Wieviele Knoten- und Maschengleichungen werden für die Berechnung aller Ströme im Netzwerk benötigt?

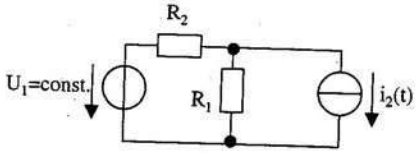


a 2 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

b 4 Maschengleichungen und 2 Knotengleichungen

c 3 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

2. Welches Verfahren ist besonders zur vollständigen Lösung von Netzwerken mit mehreren Quellen wie z. B. in der nebenstehenden Skizze geeignet?



a Ersatzspannungsquelle

b Ersatzstromquelle

c Helmholtz'scher Überlagerungssatz

3. Aus welchem Material werden Leuchtdioden gefertigt?

a III-V-Halbleiter (z. B. GaAs)

b Gasentladungsgefäße mit Edelgasen in einer isolierenden Glashülle

c Wolfram

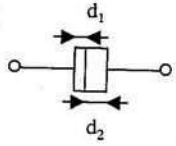
4. Wie groß ist die Admittanz einer Induktivität mit dem Blindwiderstand X_L?

a $\underline{Y}_L = j\,X_L$

b $\underline{Y}_L = j\omega\,X_L$

c $\underline{Y}_L = -j / X_L$

5. Ein Plattenkondensator mit den Plattenflächen A und dem Plattenabstand $d_1 + d_2$ (s. nebenstehende Skizze) enthält im Inneren ein Dielektrikum mit ε_1 und der Dicke d_1 und ein zweites Dielektrikum mit ε_2 und der Dicke d_2. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

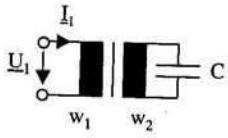


a $C = \left(\frac{\varepsilon_1}{d_1} + \frac{\varepsilon_2}{d_2}\right) \cdot A$

b $C = \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2}{\varepsilon_1 \cdot d_2 + \varepsilon_2 \cdot d_1} \cdot A$

c $C = \frac{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}{d_1 + d_2} \cdot A$

6. Ein Kondensator C wird an die Sekundärseite eines idealen Transformators mit dem Übersetzungsverhältnis w_1/w_2 angeschlossen. Welche Impedanz $\underline{Z}_1 = \underline{U}_1/\underline{I}_1$ wird an den Primärklemmen des Transformators gemessen?



a $\underline{Z}_1 = \frac{1}{j\omega C} \cdot \left(\frac{w_1^2}{w_2^2}\right)$

b $\underline{Z}_1 = \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{w_1}{w_2}$

c $\underline{Z}_1 = \frac{1}{j\omega C} \cdot \frac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$

7. Ein Koaxialkabel (s. Querschnitt in der nebenstehenden Skizze) führt im Mittelleiter betragsmäßig denselben Strom wie im Rückleiter. Die Stromrichtung ist jedoch unterschiedlich. Wie verlaufen die magnetischen Feldlinien?

a) 

b) 

c) 

a radial im Innern des Kabels

b in konzentrischen Kreisen um den Mitteleiter

c radial im Innern und Äußeren des Kabels

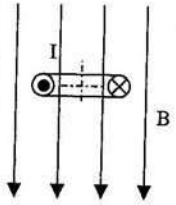
8. Welches Material weist bei Raumtemperatur die größte Leitfähigkeit für den elektrischen Strom auf?

a Ein Gemisch aus Kobalt und Eisen

b Silber

c Bariumtitanat

9. Eine von einem positiven Strom I durchflossene Spule mit rechteckförmigem Querschnitt befindet sich wie in der nebenstehenden Skizze eingezeichnet in einem homogenen Magnetfeld B. In welche Richtung wirkt ein Drehmoment um die eingezeichnete Achse aufgrund der magnetischen Kräfte auf die Spule?

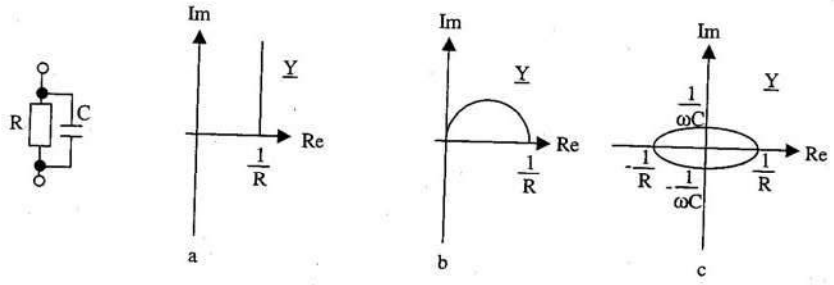


a mathematisch rechtsherum

b mathematisch linksherum

c das Drehmoment ist Null

10. Die Ortskurve der Admittanz $\underline{Y}(\omega)$ einer Parallelschaltung eines Ohmschen Widerstands R und eines Kondensators C beschreibt in der Gaußschen Zahlenebene



a eine Halbgerade, die auf der reellen Achse einen Endpunkt hat

b einen Halbkreis durch den Ursprung

c eine vollständige Ellipse um den Ursprung

11. Was bedeutet Blindleistungskompensation in Wechselstromkreisen mit rein sinusförmigen Strömen und Spannungen?

a Parallelschaltung eines Kondensators zu einem ohmsch-induktiven Verbraucher, so dass der Leistungsfaktor $\cos\varphi = 1$ wird

b Reihenschaltung eines Kondensators mit einem ohmsch-induktiven Verbraucher, so dass der Leistungsfaktor $\cos\varphi = 1$ wird

c Einstellung des Erregerstroms des Generators, so dass die Spannung an den Verbraucherklemmen gleich der Nennspannung ist

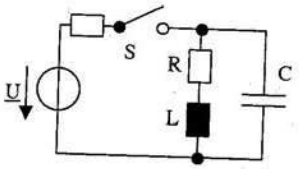
12. Ein Drehstrom-Induktions-Ofen trägt das Typenschild $U_N = 400$ V, $S_N = 100$ kVA, $\cos\varphi_N = 0{,}4$. Wie groß ist der Leiterstrom des Ofens im Nennbetrieb?

a 100 A

b 144 A

c 361 A

13. In der nebenstehenden Schaltung ist ein ohmsch-induktiver Verbraucher (R, L; z. B. Motor) eingezeichnet, der an einem Wechselstromnetz mit der Versorgungsspannung U betrieben wird. Warum wird der Kondensator C parallel zum Verbraucher geschaltet?



a um den Verbraucher nach Öffnen des Schalters S noch etwas nachlaufen zu lassen

b um den Verbraucher beim Schließen des Schalters S nicht schlagartig zu bestromen

c um den Schalter S vor Schaltüberschlägen beim Ausschalten zu schützen, in dem der Strom der Induktivität über den Kondensator geleitet wird

14. In welchen Anwendungsbereichen sind Zusatzschutzmaßnahmen (Fehlerstrom-Schutzschalter) üblich?

a in besonders empfindlichen Bereichen (z. B. Feuchträume)

b in Hochspannungsnetzen

c bei Verbrauchern in Dreieckschaltung

15. Die typische Spannung einer elektrochemischen Zelle (z. B. Uhrenbatterie) beträgt

a unter 10 mV

b wenige V

c einige kV

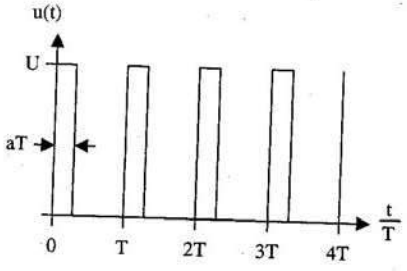
16. Durch Bestrahlung mit Licht werden in Halbleiter-Dioden Ladungsträger freisetzt. In welchem Bauelement wird dieser Effekt bewusst genutzt?

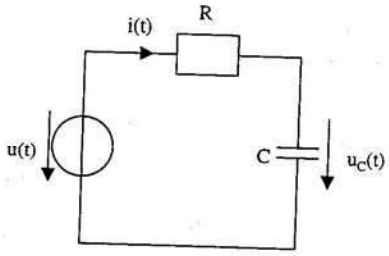
a Solarzelle

b Leuchtdiode

c Kapazitätsdiode

17. In der untenstehenden Schaltung wird ein RC-Glied von einer pulsbreiten-modulierten Spannung u(t) versorgt. Wie groß ist der mittlere Strom $\bar{i}$ im eingeschwungenen Zustand?





a $\bar{i} = \frac{U}{R}$

b $\bar{i} = \frac{a \cdot U}{R}$

c $\bar{i} = \frac{U}{a \cdot R}$

18. Von einem n-Kanal-MOSFET sind die Daten $U_{th} = 2$ V und $S = 100$ mA V^{-2} bekannt. In einem Betriebsspunkt liegen die Spannungen $U_{GS} = 4$ V und $U_{DS} = 10$ V an. In welchem Arbeitsbereich befindet sich der Transistor?

a Sperrbereich

b ohmscher Bereich

c Abschnürbereich

19. Ein Messverstärker hat eine Spannungs-Verstärkung von $v_U = 100$, einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen Ausgangswiderstand von 50 Ω. Er wird mit einer Eingangsspannung von $U_e = 1$ mV gespeist. Am Ausgang liegt ein Spannungsmesser mit einem Innenwiderstand von 450 Ω. Welche Spannung wird angezeigt?

a 100 mV

b 90 mV

c 50 mV

20. Wie werden in parallelen Analog-Digital-Wandlern (Flash-Wandler) die Vergleichs-Teilspannungen erzeugt?

a durch Transformatoren mit mehreren Wicklungen

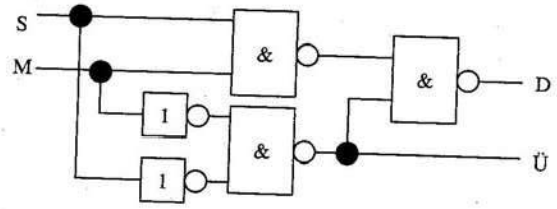
b durch kapazitive Spannungsteiler

c durch Spannungsteiler aus gleich großen Widerständen

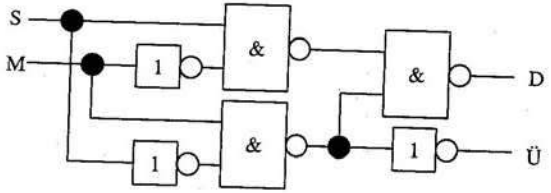
21. Welche der folgenden *Schaltungen realisiert* einen 1-Bit-Subtrahierer entsprechend der folgenden Wahrheitstabelle?

Minuend M	Subtrahend S	Differenz D	Übertrag Ü
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	1	0
1	1	0	0

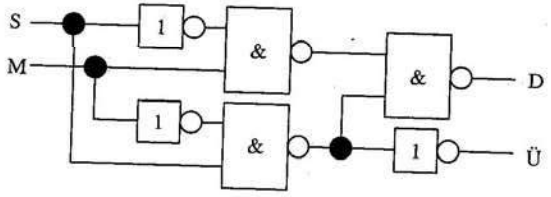
a



b



c



22. Wo werden Schieberegister eingesetzt?

a Multiplizierer

b RAM-Speicher

c Addierer

23. Welche der folgenden logischen Gleichungen ist richtig?

a $A+B=\overline{\overline{A}\cdot\overline{B}}$

b $\overline{A}+B=A+\overline{B}$

c $A\cdot B=\overline{A}+\overline{B}$

24. Wie groß ist das Zweierkomplement der binären 8-Bit-Zahl 0101 0101?

a 1010 1010

b 1010 1011

c 0101 0110

25. Wodurch unterscheiden sich Mikrokontroller von Mikroprozessoren?

a Mikrokontroller benötigen externe Programmzähler

b Mikrokontroller beinhalten neben dem Mikroprozessor noch zusätzliche Elemente wie Ein-/Ausgabefunktionen

c Mikrocontroller enthalten immer Parallelmultiplizierer

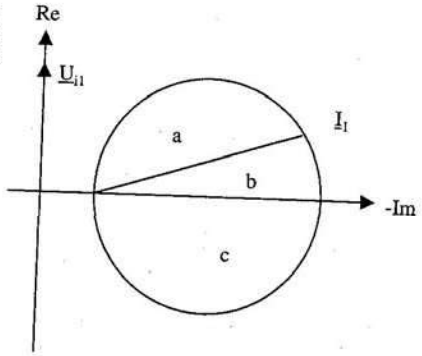
26. Eine Wechselstromkommutatormaschine (Universalmotor) wird am Niederspannungs-Wechselstromnetz betrieben. Welche Aussage über das Drehmoment ist richtig?

a Ein konstantes Drehmoment wird nur bei der Synchrondrehzahl $n_0 = f/p$ entwickelt

b Das Drehmoment schwingt mit der doppelten Netzfrequenz zwischen Null und einem Maximalwert

c Das Drehmoment schwingt mit Netzfrequenz um einen zeitlichen Mittelwert von Null

27. Gegeben sei die nebenstehende Ortskurve des Ständerstroms einer Asynchronmaschine. In welchem Bereich arbeitet die Maschine als Generator?



a

b

c

28. Welche Aussage bezüglich der Statorströme im Leerlauf I_{10}, im Nennpunkt I_{1N} und im Kipp-Punkt I_{1Kipp} ist bei einer normal ausgeführten Asynchronmaschine richtig?

a $0 = I_{10} < I_{1N} \approx 10\ I_{1Kipp}$

b $I_{10} < I_{1N} < I_{1Kipp}$

c $I_{10} < I_{1Kipp} < I_{1N}$

29. In einer Anlage wird ein Drehstrom-Asynchronmotor mit Kurzschlussläufer als Pumpenantrieb eingesetzt. Bei Teillast soll die Drehzahl des Motors zur Energieeinsparung einstellbar sein. Welche Massnahme ist geeignet?

a Verwendung eines Frequenzumrichters zwischen Netz und Motor

b Einsatz eines Tiefsetzstellers

c Einsatz eines Vorwiderstands

30. Wovon hängt die Drehzahl eines (nicht überlasteteten) Synchronmotors ab?

a von der Frequenz des speisenden Netzes und der Polzahl

b vom Schlupf und der Polzahl

c vom Polradwinkel und der Frequenz des speisenden Netzes

Musterlösung Einführung in die ET 1/2 F 2006

Aufgabe 1:

1.

$R_{max} = R(170°) = 200\Omega$

$P_{max} = I_C^2 \cdot R_{max} = (5mA)^2 \cdot 200\Omega = 5mW$

2.

Masche links unten (Basiskreis):

$-U_{Bat}/2 + I_B \cdot R_V + U_{BE0} = 0$

$R_V = \frac{U_{bat}/2 - U_{BE0}}{I_C/B} = 137k\Omega$

3.

$U_{e1,20} = U_{Bat}/2 - I_C \cdot R(20°C) = 7V$

$U_{e1,70} = U_{Bat}/2 - I_C \cdot R(170°C) = 6,5V$

$v_U = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_{e1}} = \frac{10V - 5V}{6,5V - 7V} = -10$

$v_{U,invertierend} = -\frac{R_2}{R_1} \Rightarrow R_2 = 100k\Omega$

für 20°C gilt:

$U_{a,20} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot U_{e2} - \frac{R_2}{R_1} \cdot U_{e1,20} \Rightarrow U_{e2} = 6,82V$

4.

Grün: $U_{Grün} = 5V \cdot \left(1 + \frac{95°C - 20°C}{150K}\right) = 7,5V$

$\frac{R_4}{R_3 + R_4} = \frac{U_{Grün}}{U_{Bat}} \Rightarrow R_3 = R_4 = 5k\Omega$

Rot: $U_{Rot} = 5V \cdot \left(1 + \frac{140°C - 20°C}{150K}\right) = 9V$

$\frac{R_6}{R_5 + R_6} = \frac{U_{Rot}}{U_{Bat}} \Rightarrow R_5 = 4k\Omega; R_6 = 6k\Omega$

5.

$GELB = \overline{ROT + GRÜN}$: NOR

Aufgabe 2:

1.

$$P_N = U_N \cdot I_N \cdot \eta_N = 12V \cdot 20A \cdot \frac{65}{100} = 156W$$

2.

$$R_a = \frac{U_N}{I_N} \cdot (1 - \eta_N) = \frac{12V}{20A} \cdot \left(1 - \frac{65}{100}\right) = 0{,}21\Omega$$

3.

$$I_A = \frac{U_N}{R_a} = \frac{12V}{0{,}21\Omega} = 57{,}1A \ (60A)$$

$$M_A = M_N \cdot \frac{I_A}{I_N} = 1Nm \cdot \frac{57{,}1A}{20A} = 2{,}86Nm \ (3Nm)$$

4.

$$\cancel{2\pi \cdot \frac{64}{100}} \cdot 2\pi \cdot n_N \cdot M_N = 2\pi \cdot \frac{80}{100} \cdot n_N \cdot M \Rightarrow M = 0{,}8 \cdot M_N = 0{,}8Nm$$

$$I_a = 0{,}8 \cdot I_{aN} = 16A$$

5.

$$U_{iN} = U_N \cdot \cancel{(1 - \eta_N)} = 12V \cdot \frac{65}{100} = 7{,}8V$$

$$U_i = U_{iN} \cdot \frac{80}{100} = 6{,}24V$$

$U_a = U_i + R_a \cdot I_a = 6{,}24V + 0{,}21\Omega \cdot 16A = 9{,}6V$ (9,39V mit 15A, 0,21Ω; 9,24V mit 15A, 0,2Ω; 9,44V mit 16A, 0,2Ω)

$$a = \frac{U_a}{U_N} = \frac{9{,}6V}{12V} = 0{,}8$$

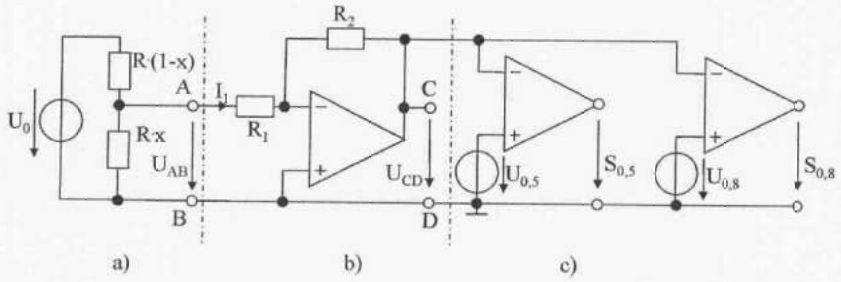
Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

Aufgabe 1:

- pro Frage sind 4 Punkte erreichbar. Hinweis: Die Fragen 1 bis 4 können unabhängig voneinander beantwortet werden!

Der Flüssigkeitsstand in einem Behälter wird mit Hilfe eines Schwimmers und eines daran befestigten Schiebewiderstands gemessen und elektronisch ausgewertet (siehe nachfolgendes Schaltbild).



Fragen:

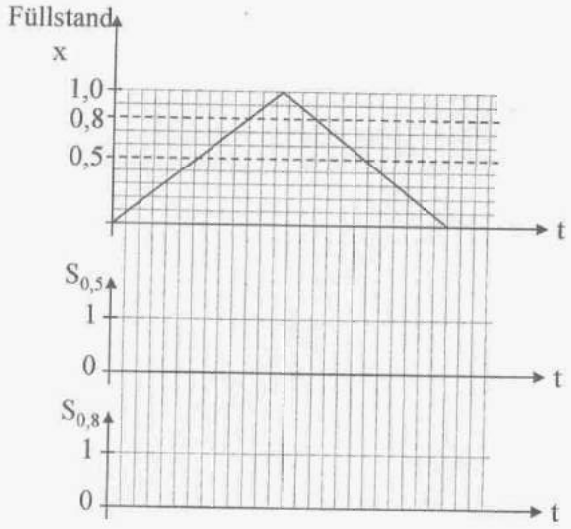
1. Im Schaltungsteil a) verändern sich die Teilwiderstände abhängig vom Füllstand x, $0 \le x \le 1$. Geben Sie die Größen $U_q(x)$ und $R_i(x)$ der Ersatzspannungsquelle für den Schaltungsteil a) bezüglich der Klemmen A und B an, wenn $R = 10\,k\Omega$ und $U_0 = 1\,V$ betragen.

Die Spannung $U_{AB}(x)$ soll nun mit einem idealen Operationsverstärker verstärkt werden (Schaltungsteil b). Die Widerstandswerte betragen $R_1 = 10\,k\Omega$ und $R_2 = 100\,k\Omega$.

2. Wie groß sind der Eingangswiderstand $R_E = \frac{\Delta U_{AB}}{\Delta I_1}$ und die Spannungsverstärkung $v = \frac{\Delta U_{CD}}{\Delta U_{AB}}$ des Schaltungsteils b)?

3. Wie groß wird die Ausgangsspannung $U_{CD}(x)$ bei den Füllständen $x = 0,5$ und $x = 0,8$? (Hinweis: Wenn Sie den Eingangswiderstand R_E aus Frage 2 nicht bestimmt haben nehmen Sie für $R_E = 15\,k\Omega$ und für die Verstärkung $v = -8$ an).

Die Spannungen werden nun mit Hilfe einer Komparatorschaltung digitalisiert (Schaltungsteil c). Die Spannungen $U_{0,5} = U_{CD}(x = 0,5)$ und $U_{0,8} = U_{CD}(x = 0,8)$ entsprechen den in Frage 3 berechneten Werten. Der zeitliche Verlauf des Füllstandes soll dabei wie im unten stehenden Diagramm angegeben verlaufen. (Hinweis: Wenn Sie die Spannungen aus Frage 3 nicht bestimmt haben nehmen Sie folgende Ersatzwerte zur Beantwortung der nachfolgenden Fragen an: $U_{0,5} = -4\,V$ und $U_{0,8} = -7\,V$).



4. Zeichnen Sie in das obige Diagramm die zeitlichen Verläufe der binären Komparator-Ausgangssignale $S_{0,5}$ und $S_{0,8}$ ein (positive Spannung entspricht $S = 1$, negative Spannung entspricht $S = 0$).

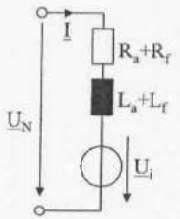
5. Aus den binären Signalen $S_{0,5}$ und $S_{0,8}$ kann ein Signal S_{mittel} für den Flüssigkeitsstand zwischen $x = 0,5$ und $x = 0,8$ erzeugt werden. Geben Sie die logische Gleichung für das Signal S_{mittel} an. Wie kann diese logische Schaltung mit genau zwei invertierenden Logikgattern (NOT, NAND, NOR) realisiert werden? Geben Sie diese Schaltung als Blockdiagramm aus Logikgattern an.

Aufgabe 2:

- pro Frage sind 4 Punkte erreichbar. Hinweis: Die einzelnen Fragen können unabhängig voneinander beantwortet werden!

Ein Universalmotor für eine Bohrmaschine (siehe nachfolgendes Ersatzschaltbild) hat folgende Nenndaten:

Nennspannung	$U_N = 230$ V
Nennfrequenz	$f_N = 50$ Hz
Leistungsfaktor im Nennbetrieb	$\cos\varphi_N = 0{,}8$
Nenndrehzahl	$n_N = 4000$ min^{-1}
Elektrische Leistung im Nennbetrieb	$P_{el,N} = 650$ W
Mechanische Leistung im Nennbetrieb	$P_N = 400$ W



Vereinfachend darf angenommen werden, dass der Erregerfluss proportional dem Erregerstrom ist, d. h. keine Sättigung auftritt.

In den Fragen 1 bis 4 ist die Reibung vernachlässigbar.

Fragen:

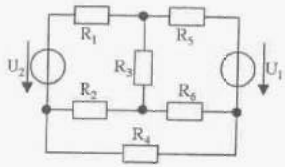
1. Wie groß sind der Motorstrom I_N und das mittlere Drehmoment M_N im Nennbetrieb?
2. Wie groß ist die induzierte Spannung U_{iN} im Nennbetrieb, wenn $\underline{U}_i$ in Phase mit $\underline{I}$ verläuft (Bürsten in Neutralposition)? (Hinweis: Wenn Sie den Strom I_N nicht ermittelt haben, nehmen Sie $I_N = 3$ A an!)
3. Wie groß ist die Summe R_a+R_f aus Anker- und Erregerwiderstand und die Summe L_a+L_f aus Anker- und Erregerinduktivität? (Hinweis: Wenn Sie U_{iN} nicht bestimmt haben, nehmen Sie $U_{iN} = 120$ V an!)
4. Wie groß werden der Anfahrstrom I_A bei der Drehzahl Null und das Anfahrdrehmoment M_A, wenn die Speisespannung gleich der Nennspannung bleibt? (Hinweis: Wenn Sie die vorigen Teilfragen nicht gelöst haben, nehmen Sie $(R_a+R_f) = 25\ \Omega$, $(L_a+L_f) = 0{,}1$ H und $M_N = 1{,}2$ Nm an!)
5. Das Reibungsmoment in der Maschine beträgt nun 30 % des Nenndrehmoments. Wie groß wird der Ankerstrom I_0 bei Leerlaufdrehzahl, d. h. ohne weiteres Lastmoment? Wie groß ist die sich einstellende Leerlaufdrehzahl n_0?

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Falsche Antworten werden als 0 Punkte gewertet.
- Die Punkte werden addiert und pauschal 10 Punkte für zufällig richtige Antworten abgezogen, d.h. es können maximal 20 Punkte erreicht werden. Negative Gesamtergebnisse werden als 0 Punkte gewertet.
- Kreuzen Sie daher zu jeder Frage eine Antwort a, b oder c an (z.B. X)!

Fragen:

1. Gegeben sei das nebenstehende Netzwerk. Die Spannung U_1 und U_2 sowie die Widerstände R_1 bis R_6 seien bekannt. Wieviele Knoten- und Maschengleichungen werden für die Berechnung aller Zweigströme im Netzwerk benötigt?

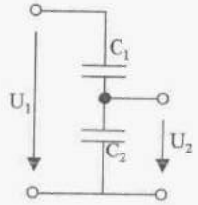


a 2 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

b 4 Maschengleichungen und 2 Knotengleichungen

c 3 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

2. Gegeben ist ein kapazitiver Spannungsteiler gemäß der nebenstehenden Skizze. Wie groß muss die Kapazität des Kondensators C_2 gewählt werden, damit $U_1/U_2 = 100$ beträgt?



a $C_2 = 99 \cdot C_1$

b $C_2 = 101 \cdot C_1$

c $C_2 = \frac{C_1}{99}$

3. Aus welchem Material werden Leuchtstoffröhren gefertigt?

a III-V-Halbleiter (z. B. GaAs)

b Gasentladungsgefäße mit Edelgasen in einer isolierenden Glashülle

c Wolframfäden in einer isolierenden Glashülle

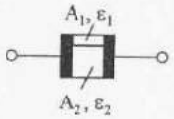
4. Wie groß ist die Admittanz einer Kapazität C mit dem Blindwiderstand X_C?

a $\underline{Y}_C = j\,X_C$

b $\underline{Y}_C = j\omega\,X_C$

c $\underline{Y}_C = j / X_C$

5. Ein Plattenkondensator mit der Plattenfläche A und dem Plattenabstand d (siehe nebenstehende Skizze) enthält im Inneren ein Dielektrikum mit ε_1 und der Teilfläche A_1 sowie ein zweites Dielektrikum mit ε_2 und der Teilfläche A_2. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators, wenn ein homogenes E-Feld vorausgesetzt wird?



a $C = \dfrac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2)\cdot(A_1 + A_2)}{d}$

b $C = \dfrac{\varepsilon_1 \cdot A_1 + \varepsilon_2 \cdot A_2}{d}$

c $C = \dfrac{\varepsilon_1 \cdot A_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A_2}{d \cdot (\varepsilon_1 \cdot A_1 + \varepsilon_2 \cdot A_2)}$

6. Ein Kondensator C wird an die Sekundärseite eines idealen Transformators mit dem Übersetzungsverhältnis w_1/w_2 angeschlossen. Welche Admittanz $\underline{Y}_1 = \underline{I}_1/\underline{U}_1$ wird an den Primärklemmen des Transformators gemessen?



a $\underline{Y}_1 = j\omega C \cdot \left(\dfrac{w_2^2}{w_1^2}\right)$

b $\underline{Y}_1 = j\omega C \cdot \left(\dfrac{w_1^2}{w_2^2}\right)$

c $\underline{Y}_1 = j\omega C \cdot \dfrac{w_1 \cdot w_2}{w_1 + w_2}$

7. Ein Koaxialkabel (siehe Querschnitt in der nebenstehenden Skizze) wird mit einer elektrischen Spannung zwischen Außen- und Innenleiter beaufschlagt. Wie verlaufen die elektrischen Feldlinien?

a) 

a radial im Innern des Kabels

b) 

b in konzentrischen Kreisen um den Mitteleiter

c radial im Innern und Äußeren des Kabels

c) 

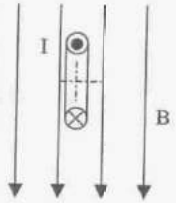
8. Welches Material weist bei Raumtemperatur die größte Dielektrizitätskonstante auf?

a Ein Gemisch aus Kobalt und Eisen

b Silber

c Bariumtitanat

9. Eine von einem positiven Strom I durchflossene Spule mit rechteckförmigem Querschnitt befindet sich wie in der nebenstehenden Skizze eingezeichnet in einem homogenen Magnetfeld B. In welche Richtung wirkt ein Drehmoment um die eingezeichnete Achse aufgrund der magnetischen Kräfte auf die Spule?

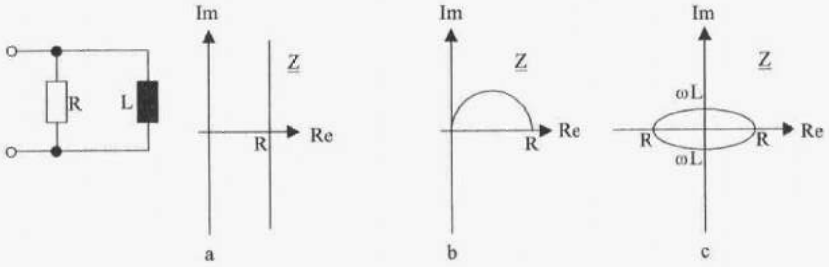


a im Uhrzeigersinn, d.h. in mathematisch negativer Drehrichtung

b in mathematisch positiver Drehrichtung

c das Drehmoment ist Null

10. Die Ortskurve der Impedanz $\underline{Z}(\omega)$ einer Parallelschaltung eines ohmschen Widerstands R und einer Induktivität L beschreibt in der Gaußschen Zahlenebene



a eine Halbgerade, die auf der reellen Achse einen Schnittpunkt hat

b einen Halbkreis durch den Ursprung

c eine vollständige Ellipse um den Ursprung

11. Was bedeutet Resonanz in einer RLC-Reihenschaltung?

a bei Resonanz kompensieren sich induktive und kapazitive Reaktanz, so dass eine rein reelle Impedanz gemessen wird

b bei Resonanz steigt der kapazitive Blindstrom auf ein Mehrfaches des Stroms im Widerstand

c bei Resonanz entsteht eine ungedämpfte Schwingung im Schwingkreis

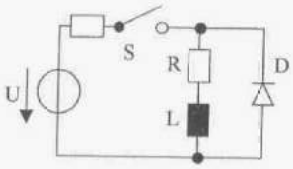
12. Ein Drehstrom-Motor trägt u. A. die Typenschilddaten $U_N = 400$ V, $P_N = 5{,}5$ kW, $\cos\varphi_N = 0{,}85$, $I_N = 11$ A. Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung P_{el} im Nennbetrieb?

a 5,5 kW

b 6,5 kW

c 7,6 kW

13. In der nebenstehenden Schaltung ist ein ohmsch-induktiver Verbraucher (RL-Serienschaltung; z. B. Motor) eingezeichnet, der an einem Gleichstromnetz mit der Versorgungsspannung U betrieben wird. Warum wird die Diode D parallel zum Verbraucher geschaltet?



a um den Verbraucher nach Öffnen des Schalters S noch etwas nachlaufen zu lassen

b um den Verbraucher beim Schließen des Schalters S nicht schlagartig zu bestromen

c um den Schalter S vor Schaltüberschlägen beim Ausschalten zu schützen, indem der Strom der Induktivität über die Diode geleitet wird

14. In welchen Anwendungsbereichen ist ein Fünf-Leiter-Drehstrom-Netz (TN-S-Netz) vorgeschrieben?

a in Niederspannungsnetzen mit Kabelquerschnitt kleiner 10 mm^2

b in Hochspannungsnetzen

c bei Verbrauchern in Sternschaltung

15. Die typische Spannung eines Generators in einem Großkraftwerk beträgt

a einige 100 V

b 10 kV bis 20 kV

c 110 kV bis 400 kV

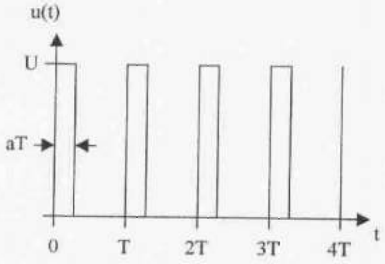
16. Durch Anlegen einer Sperrspannung wird in Halbleiter-Dioden die Sperrschicht-Breite erhöht. In welchem Bauelement wird dieser Effekt bewusst genutzt?

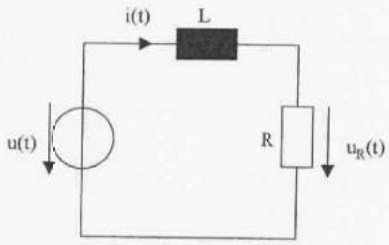
a Solarzelle

b Leuchtdiode

c Kapazitätsdiode

17. In der untenstehenden Schaltung wird ein RL-Glied von einer pulsbreiten-modulierten Spannung u(t) versorgt. Wie groß ist die mittlere Spannung $\bar{u}_R$ im eingeschwungenen Zustand?





a $\bar{u}_R = U$

b $\bar{u}_R = a \cdot U$

c $\bar{u}_R = \frac{U}{a}$

18. Von einem n-Kanal-MOSFET sind die Daten $U_{th} = 2$ V und $S = 100$ mAV^{-2} bekannt. In einem Betriebspunkt liegen die Spannungen $U_{GS} = 4$ V und $U_{DS} = 0{,}5$ V an. In welchem Arbeitsbereich befindet sich der Transistor?

a Sperrbereich

b ohmscher Bereich

c Abschnürbereich

19. Ein Messverstärker hat eine Spannungs-Verstärkung von $v_U = 100$, einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen Ausgangswiderstand von 50 Ω. Der Messverstärker wird mit einer Eingangsspannung von $U_e = 1$ mV gespeist. Am Ausgang wird ein Oszilloskop angeschlossen, das zur Störunterdrückung einen Eingangswiderstand von 50 Ω aufweist. Welche Spannung wird am Oszilloskop angezeigt?

a 100 mV

b 90 mV

c 50 mV

20. Wie kann mit Hilfe eines PWM-Ausgangs eines Mikrocontrollers eine analoge Spannung erzeugt werden?

a durch einen Operationsverstärker als Spannungsfolger zur Anpassung des Ausgangswiderstands

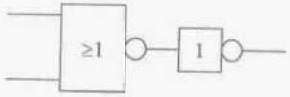
b durch einen Frequenzzähler

c durch Nachschalten eines RC-Gliedes zur Glättung des Signals

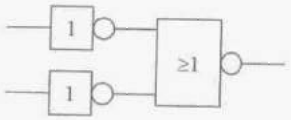
21. Welche der folgenden Schaltungen realisiert einen 1-Bit-Multiplizierer entsprechend der folgenden Wahrheitstabelle?

Faktor 1	Faktor 2	Produkt
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

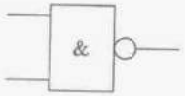
a



b



c



22. Wo werden rückgekoppelte Verstärker als Oszillatoren eingesetzt?

a Rundfunksender
b RAM-Speicher
c Analog-Addierer

23. Welche der folgenden logischen Gleichungen ist richtig?

a $A \cdot B = \overline{\overline{A} + \overline{B}}$
b $\overline{A} \cdot B = A + \overline{B}$
c $A = A + \overline{B} + B$

24. Wie lautet der negative Wert der 8-Bit-Zahl 0010 1010 in Zweierkomplement-Darstellung?

a 1101 0101
b 1010 1011
c 1101 0110

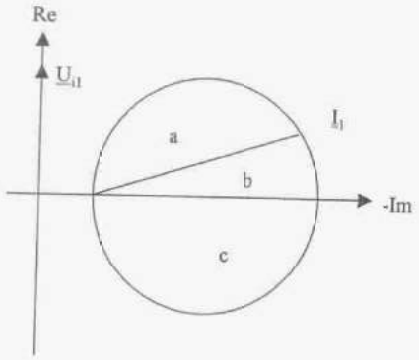
25. Welche Aussage für digitale Schaltungen trifft zu?

a Parallelmultiplizierer für große Wortbreiten sind schnell und kostenintensiv
b Serielle Multiplizierer für große Wortbreiten sind langsam und ungenau
c Parallelmultiplizierer sind immer ungenauer als serielle Multiplizierer

26. Eine permanenterregte Gleichstrom-Maschine wird an einem Akkumulator betrieben. Welche Aussage über das innere Drehmoment der Maschine ist richtig?

a ein konstantes Drehmoment wird nur bei der Synchrondrehzahl $n_0 = f/p$ entwickelt
b das Drehmoment ist drehzahlabhängig
c das Drehmoment schwingt mit Netzfrequenz um einen zeitlichen Mittelwert von Null

27. Gegeben sei die nebenstehende Ortskurve des Ständerstroms einer Asynchronmaschine. In welchem Bereich arbeitet die Maschine als (Gegenstrom)bremse?



a
b
c

28. Welcher Statorstrom ist bei einer normal ausgeführten Asynchronmaschine am größten?

a Leerlaufstrom I_{10}
b Nennstrom I_{1N}
c Kipp-Strom I_{1Kipp}

29. In einem Roboter wird ein permanenterregter Gleichstrommotor als Antrieb eingesetzt. Bei Teillast soll das Drehmoment des Motors unabhängig von der Drehzahl schnell verstellbar sein. Welche Maßnahme ist geeignet?

a Verwendung eines Frequenzumrichters zwischen Netz und Motor
b Einsatz eines Vierquadrantenstellers
c Einsatz eines Vorwiderstands

30. Wo werden Synchronmaschinen vorzugsweise eingesetzt?

a als Generatoren in Kraftwerken
b als selbstanlaufende Pumpenantriebe
c als Antriebe für Hausgeräte mit variabler Drehzahl wie Staubsauger

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Bitte in Blockbuchstaben ausfüllen!

Aufgabe 1:

- Pro Teilaufgabe können 4 Punkte erreicht werden.
- Hinweis: Die Teilaufgaben können unabhängig voneinander beantwortet werden!
- Kennzeichnen Sie es in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen bzw. weiterführen müssen!

Von einem fremderregten Gleichstrommotor sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{AN} = 220$ V
Ankernennstrom	$I_{AN} = 50$ A
Maximal zulässiger Ankerstrom	$I_{Amax} = 100$ A
Nenndrehzahl	$n_N = 2000$ 1/min
Nennerregerstrom	$I_{fN} = 1$ A
Maximal zulässiger Erregerstrom	$I_{fmax} = 1{,}5$ A
Widerstand der Erregerwicklung	$R_f = 100\ \Omega$
Ankerwiderstand	$R_A = 0{,}5\ \Omega$

Eisenverluste können stets vernachlässigt werden. Reibungsverluste können, außer bei Teilaufgabe d), immer vernachlässigt werden. Es treten keine Eisensättigungserscheinungen auf.

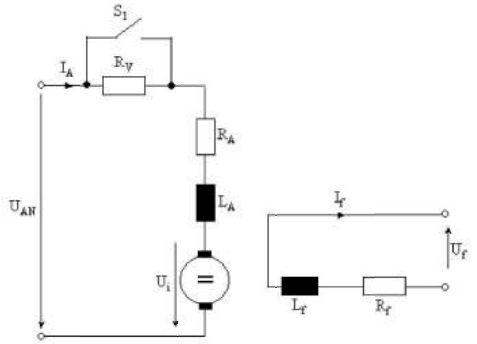


Bild 1: Ersatzschaltbild der fremderregten Gleichstrommaschine mit Vorwiderstand

a) Die Maschine soll in unbelastetem Zustand bei U_{AN} und Nennerregung angelassen werden. Wie groß wäre der Anlaufstrom $I_{A,Anl}$ ohne Vorwiderstand R_V? Wie groß muss der Ankervorwiderstand R_V gewählt werden, wenn der maximal zulässige Ankerstrom nicht überschritten werden darf? Wie groß ist der Ankerstrom I_A nach erfolgtem Hochlauf der unbelasteten Maschine über den Vorwiderstand R_V? Ändert sich der Ankerstrom, wenn nach erfolgtem Hochlauf der unbelasteten Maschine der Vorwiderstand R_V durch Schließen des Schalters S_1 überbrückt wird (Begründung)?

b) Nun wird die mit Nennerregung und Nennspannung betriebene Maschine belastet, bis sie ihre Nenndrehzahl erreicht. Bestimmen Sie die Nennleistung P_N, das Nenndrehmoment M_N, die Gesamtverluste P_{VN} sowie den Wirkungsgrad η_N der Maschine im Nennbetrieb. (Hinweis: der Anlasswiderstand wurde bereits überbrückt, d.h. es ist $R_V = 0$).

c) Wie groß ist die ideale Leerlaufdrehzahl (kein Reibungsmoment) n_{0N} in 1/min der bei Nennerregung und Nennspannung betriebenen Maschine? Wie groß sind die Gesamtverluste P_{V0} und der Wirkungsgrad η_0 der Maschine im Leerlauf?

d) Um wie viele Umdrehungen pro Minute geht die reale Leerlaufdrehzahl (mit Reibungsmoment) gegenüber der idealen Leerlaufdrehzahl (ohne Reibungsmoment) der bei Nennerregung und Nennspannung betriebenen Maschine zurück, wenn durch die Lagerreibung und den Lüfter der Maschine ein Reibungsmoment von $M_R = 1{,}5$ Nm wirkt?

e) Durch die alleinige Veränderung des Erregerstromes I_f wird erreicht, dass die Maschine (kein Reibungsmoment!) bei der Drehzahl $n = 1800$ 1/min ein Drehmoment von $M = 30$ Nm abgibt. Wie groß ist die mechanisch abgegebene Leistung $P = P_{mech}$ der Maschine in diesem Betriebspunkt? Wie groß ist die induzierte Spannung U_i in diesem Betriebspunkt? (Hinweis: wählen Sie aus den möglichen Lösungen die Spannung aus, bei der die Maschine einen akzeptablen Ankerstrom aufnimmt)! Wie groß ist der einzustellende Erregerstrom und auf welchen Wert muss somit die Erregerspannung eingestellt werden? Welche Leerlaufdrehzahl stellt sich ein, wenn die Maschine plötzlich entlastet wird?

Aufgabe 2:

- Pro Teilaufgabe können 4 Punkte erreicht werden.
- Hinweis: Die Teilaufgaben können, bis auf Teilaufgabe e), unabhängig voneinander beantwortet werden!
- Kennzeichnen Sie es in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen bzw. weiterführen müssen!

An einem Maschinen-Prüfstand wird mittels eines piezoelektrischen Kraftsensors das Drehmoment einer Gleichstrommaschine erfasst. Die Messung erfolgt mittels einer Bremsmaschine, deren Stator drehbar gelagert ist und an dem ein starr befestigter Hebelarm der Gesamtlänge $L = 10$ cm für die Kraftübertragung auf den Drucksensor sorgt. Der Sensor gibt proportional zu der auf ihn ausgeübten Kraft F die Spannung $u_c = U_c = k \cdot F$ aus (siehe Bild 2).

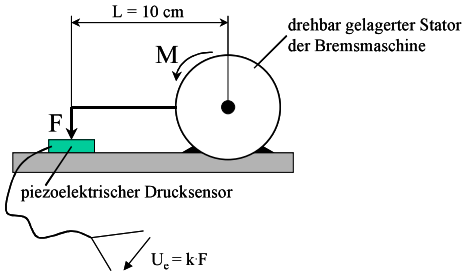


Bild 2: Drehmomentmessung mit einem piezoelektrischen Drucksensor

Das elektrische Ersatzschaltbild des Sensors ist in Bild 3 im gestrichelt eingerahmten Teil dargestellt; es besteht aus einer Spannungsquelle mit der eingeprägten Spannung $u_e = U_e$ und dem Innenwiderstand R_e. Der restliche Teil der in Bild 3 dargestellten Schaltung sorgt für die Signalverstärkung und Drehmomentüberwachung. Im Folgenden soll nun die Schaltung gemäß Bild 3 schrittweise analysiert und dimensioniert werden.

Daten des Gesamtsystems:

Empfindlichkeit k des Drucksensors	$k = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ V/N
Maximal zulässige Kraft F_{max}	$F_{max} = 1000$ N
Signalspannung $u_e = U_e$	$U_e = k \cdot F$
Innenwiderstand R_e der Sensor-Ersatzschaltung	$R_e = 10^7\ \Omega$
Gesamtlänge L des Hebelarms	L = 10 cm
Nenndrehmoment der Gleichstrommaschine	$M_N = 40$ Nm
Versorgungsspannung U_{Bat}	$U_{Bat} = 12$ V

Sämtliche Operationsverstärker (OP_1 bis OP_3) dürfen als ideal betrachtet werden!

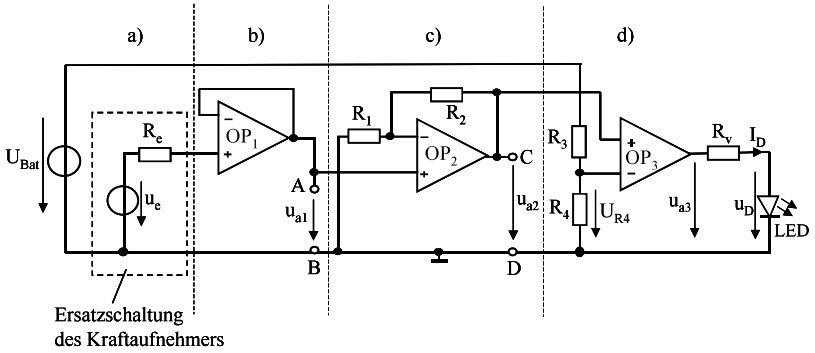


Bild 3: Messschaltung zur Signalverstärkung und Anzeige bei Überschreitung des maximal zulässigen Drehmomentes

Fragen:

Durch den im Schaltungsteil b) dargestellten Spannungsfolger erfolgt zunächst eine Anpassung des Sensors (Sensor-Ersatzdarstellung durch $u_e = U_e$ und R_e) an die nachfolgende Verstärkerstufe.

a) Wie groß ist die Sensorspannung $u_e = u_e(40\text{ Nm})$ bei einem Nenndrehmoment von $M_N = 40$ Nm? Wie groß ist dann die Spannung $u_{a1} = u_{a1}(40\text{ Nm})$ am Ausgang des Spannungsfolgers (Schaltungsteil b)? Wie groß ist der Ausgangwiderstand des Spannungsfolgers (Schaltungsteil b)?

Die Spannung u_{a1} soll nun im Schaltungsteil c) so verstärkt werden, dass die Ausgangsspannung u_{a2} beim Nenndrehmoment $M_N = 40$ Nm die Spannung $u_{a2}(40\text{ Nm}) = 5$ V erreicht.
[Ersatzwert: $u_{a1}(40\text{ Nm}) = 0{,}4$ V]

b) Wie groß ist der Widerstand R_2 zu wählen, wenn $R_1 = 5\ k\Omega$ beträgt? Wie groß ist die Spannungsverstärkung $v_U = u_{a2}/u_{a1}$ des Schaltungsteils c)?

Im folgenden Schaltungsteil d) soll nun das Drehmoment überwacht werden. Beim Erreichen von $M = 1{,}5 \cdot M_N = 60$ Nm soll die Leuchtdiode (LED) zu leuchten beginnen.
[Ersatzwert: $u_{a2}(60\text{ Nm}) = 6{,}0$ V]

c) Wie groß muss die Spannung U_{R4} an R_4 sein, damit der OP_3 bei $M = 1{,}5 \cdot M_N$ umschaltet und die Leuchtdiode (LED) zu leuchten beginnt? Wie sind die Widerstände R_3 und R_4 zu dimensionieren, wenn $R_3 + R_4 = 30\ k\Omega$ betragen soll?

Beim Erreichen von $M = 1{,}5 \cdot M_N = 60$ Nm nimmt die Spannung u_{a3} den Wert $u_{a3} = U_{Bat}$ an.
Bei der LED handelt es sich um eine besonders helle weiße Leuchtdiode. Die Diodenkennlinie ist im nachfolgenden Bild 4 dargestellt.

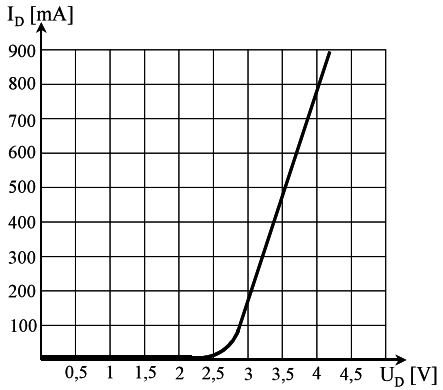


Bild 4: Kennlinie der verwendeten LED

d) Wie groß muss der Vorwiderstand R_V gewählt werden, damit durch die Diode beim Erreichen von $M = 1{,}5 \cdot M_N = 60$ Nm ein Strom $I_D = 0{,}4$ A fließt? Tragen Sie den Arbeitspunkt der Diode im Kennlinienfeld Bild 4 ein. Kann die Diode in diesem Arbeitspunkt betrieben werden, wenn ihre maximal zulässige Verlustleistung $P_{tot} = 2$ W beträgt (Rechnung und Begründung!)?

e) Vervollständigen Sie das Diagramm in Bild 5 für den vorgegebenen zeitlichen Verlauf der Kraft F(t). Der Zustand der LED soll durch die binäre Variable S = {0,1} – LED leuchtet entspricht S = 1, LED leuchtet nicht entspricht S = 0 – repräsentiert werden.

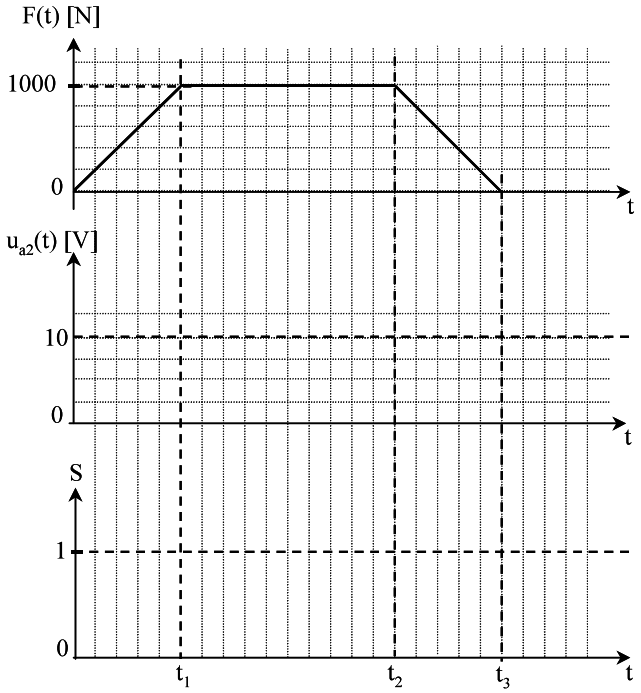


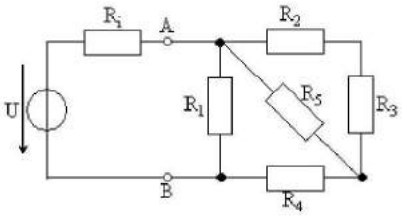
Bild 5: Zeitliche Verläufe von $u_{a2}(t)$ und der binären Variable S für den vorgegebenen Verlauf der Kraft F(t)

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Falsche Antworten werden als 0 Punkte gewertet. Nicht bearbeitete Fragen werden ebenfalls mit 0 Punkten bewertet.
- Von der Gesamtpunktzahl werden 10 Punkte für zufällig richtige Antworten abgezogen, d.h. es können bei 30 bearbeiteten Teilfragen maximal 20 Punkte erreicht werden. Negative Gesamtergebnisse werden als 0 Punkte gewertet.
- Kreuzen Sie daher zu jeder Frage eine Antwort a, b oder c an (z.B. ☒)!
- Kennzeichnen Sie Ihre Lösung eindeutig!

Fragen:

1. Gegeben sei das nebenstehende Netzwerk. Die Spannung U und der Innenwiderstand R_i der Spannungsquelle sowie die Widerstände R_1 bis R_5 seien bekannt. Wieviele unabhängige Knoten- und Maschengleichungen können für das Netzwerk aufgestellt werden?

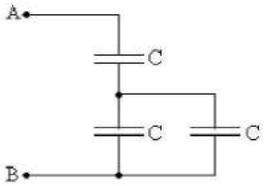


a 2 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

b 3 Maschengleichungen und 2 Knotengleichungen

c 3 Maschengleichungen und 3 Knotengleichungen

2. Gegeben ist die nebenstehende Schaltung bestehend aus drei identischen Kondensatoren mit den Kapazitätswerten C. Welche Gesamtkapazität C_{AB} hat die Schaltung bezüglich des Klemmenpaares A-B?

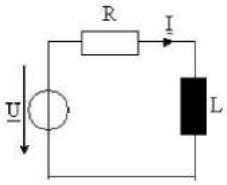


a $C_{AB} = \frac{3}{2} \cdot C$

b $C_{AB} = \frac{2}{3} \cdot C$

c $C_{AB} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot C$

3. Ein R-L-Glied wird an einer Spannungsquelle mit der eingeprägten Spannung $\underline{U}$ und der Kreisfrequenz ω betrieben. Wie groß ist der Betrag I des Stromes $\underline{I}$?



a $$I = \frac{U^2}{\sqrt{R^2 + (j \cdot \omega \cdot L)^2}}$$

b $$I = \frac{U}{R}$$

c $$I = \frac{U}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}}$$

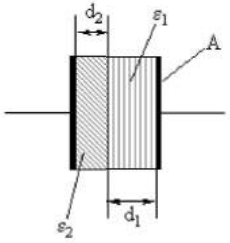
4. Wird ein Plattenkondensator an die Spannung U angeschlossen, so entsteht zwischen den Platten des voll aufgeladenen Kondensators

a ein nahezu homogenes magnetisches Feld der Feldstärke H

b ein nahezu homogenes elektrisches Feld der Feldstärke E

c zunächst ein elektrisches Feld, welches aber dann für $t \to \infty$ verschwindet

5. Ein Plattenkondensator mit der Plattenfläche A enthält im Inneren ein geschichtetes Dielektrikum mit ε_1 und der Dicke d_1 sowie ein zweites Dielektrikum mit ε_2 und der Dicke d_2 (siehe nebenstehende Skizze). Wie groß ist die Kapazität des Kondensators, wenn ein homogenes E-Feld vorausgesetzt wird?



a $$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \cdot A}{d_1 + d_2}$$

b $$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A}{d_1 + d_2}$$

c $$C = \varepsilon_0 \cdot \frac{\varepsilon_1 \cdot \varepsilon_2 \cdot A}{d_2 \cdot \varepsilon_1 + d_1 \cdot \varepsilon_2}$$

6. Warum werden für die Energieübertragung Transformatoren eingesetzt?

a da sie aus Einphasenwechselstrom ein symmetrisches Drehstromsystem erzeugen

b aus Gründen der wirtschaftlichen, d.h. verlustarmen Energieübertragung

c damit bei Lastschwankungen die Energie im magnetischen Feld kurzzeitig zwischengespeichert werden kann

7. Wie berechnet man die komplexe Impedanz einer Kapazität C in Abhängigkeit von der Frequenz f?

a $$\underline{Z}_C = \frac{j}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

b $$\underline{Z}_C = \frac{j \cdot f \cdot C}{2\pi}$$

c $$\underline{Z}_C = \frac{1}{j \cdot 2\pi \cdot f \cdot C}$$

8. Was bedeutet Resonanz in einer RLC-Reihenschaltung?

a bei Resonanz kompensieren sich induktive und kapazitive Reaktanz, so dass sich der RLC-Schwingkreis wie eine rein reelle Impedanz verhält

b bei Resonanz steigt der kapazitive Blindstrom auf ein Vielfaches des Stroms im Widerstand

c bei Resonanz entsteht eine ungedämpfte Schwingung im Schwingkreis

9. Wie wird die komplexe Einphasen-Scheinleistung berechnet?

a $$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}$$

b $$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^*$$

c $$\underline{S}^* = \underline{U}^* \cdot \underline{I}^*$$

10. In welchem Bereich des Kennlinienfeldes wird ein n-Kanal MOSFET betrieben, wenn er in einer Verstärkerschaltung verwendet wird?

a Sperrbereich

b ohmscher Bereich

c Abschnürbereich

11. Die Einphasen-Wechselstrom Leistung

a ist in jedem Augenblick konstant und gleich der übertragenen Wirkleistung

b pulsiert immer mit doppelter Frequenz des speisenden Systems

c pulsiert mit 50 Hz, wenn der Verbraucher induktiv ist

12. Wozu wird die Blindleistungskompensation angewandt?

a damit am Verbraucher die zulässige Spannung nicht überschritten wird

b damit der Wirkungsgrad des Verbrauchers verbessert wird

c damit die Netzzuleitungen möglichst gering belastet werden

13. Bei einem symmetrischen Drehstromverbraucher in Sternschaltung gilt:

a der Phasenverschiebungswinkel zwischen der Strangspannung und dem Strangstrom beträgt immer 120°

b der Strangstrom ist gleich dem Leiterstrom und die Strangspannung beträgt das $\frac{1}{\sqrt{3}}$-fache der Leiterspannung

c die Strangspannung ist gleich der Leiterspannung und der Leiterstrom beträgt das $\sqrt{3}$-fache des Strangstromes

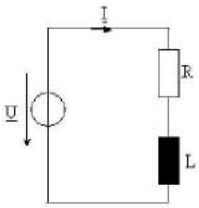
14. Welche der Aussagen ist richtig?

a im Drehstromsystem pulsiert die momentane Wirkleistung p(t) mit $\frac{2\cdot\pi}{3}\cdot 50\ \text{Hz}$

b im Drehstromsystem ist die momentane Leistung p(t) unabhängig von der Last

c im Drehstromsystem ist die momentane Leistung p(t) konstant

15. In der nebenstehenden Schaltung ist R = 20 Ω, L = 80 mH, $\underline{U} = U = 100\ \text{V}$ und die Frequenz $f = 50\ \text{Hz}$. Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

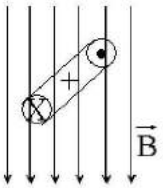


a die Schaltung wirkt induktiv, der Phasenwinkel beträgt $\varphi = 38{,}51°$, $S = 350\ \text{VA}$, $P = 273{,}88\ \text{W}$

b es ist $\varphi = 38{,}51°$, $I = 2{,}22\ \text{A}$, $P = 98{,}57\ \text{W}$

c es ist $S = 310{,}67\ \text{VA}$, $P = 193{,}44\ \text{W}$, $Q = 243{,}09\ \text{VAr}$ und $\cos(\varphi) = 0{,}623$

16. Eine von einem Strom I durchflossene Spule mit rechteckförmigem Querschnitt befindet sich wie in der nebenstehenden Skizze eingezeichnet in einem homogenen Magnetfeld mit der magnetischen Induktion B. In welche Richtung wirkt ein Drehmoment um die eingezeichnete Achse (+) aufgrund der magnetischen Kräfte auf die Spule? (Symbolik für die Stromrichtung entsprechend der in der Vorlesung eingeführten Konvention).



a im Uhrzeigersinn

b entgegen dem Uhrzeigersinn

c die beiden Kräfte heben sich auf, das Drehmoment ist somit Null

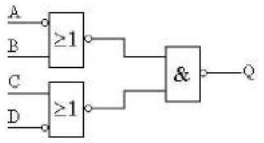
17. Welche der Aussagen ist richtig?

a der Überlagerungssatz kann immer angewendet werden

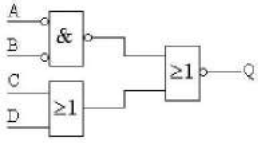
b der Überlagerungssatz gilt nur im Fall von linearen Netzwerken

c der Überlagerungssatz gilt nur für Schaltungen mit maximal zwei Quellen

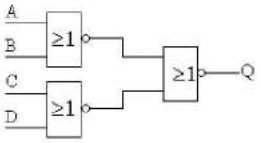
18. Welche der digitalen Schaltungen gehört zu der logischen Gleichung $Q = (A + B)\cdot(C + D)$?



a



b



c

19. Welche Aussage stimmt?

a am idealen Kondensator eilt die Spannung dem Strom um 90° voraus
b am idealen Kondensator eilt der Strom der Spannung um 90° nach
c am idealen Kondensator eilt die Spannung dem Strom um 90° nach

20. Ein RS-Flipflop ist

a eine digitale Schaltung mit welcher eine Speicherfunktion realisiert wird
b eine digitale Schaltung zur Entkopplung nachgeschalteter Logikgatter
c eine digitale Schaltung zur Invertierung einer parallelen Bitfolge

21. Die Funktionsweise einer Gleichstrommaschine beruht auf dem Prinzip

a Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im Magnetfeld (B-Feld)
b Kraft auf stromdurchflossenen Leiter im elektrischen Feld (E-Feld)
c Spannungsinduktion eines bewegten Leiters im elektrischen Feld (E-Feld)

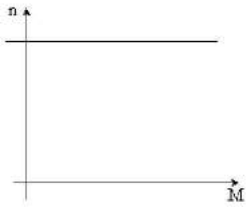
22. Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine steigt, wenn

a die Ankerspannung U_a durch einen Vorwiderstand R_{Va} vermindert wird
b der Erregerstrom I_f durch einen Vorwiderstand R_{Vf} vermindert wird
c der Erregerstrom I_f durch Erhöhung der Erregerspannung U_f vergrößert wird

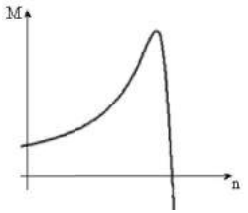
23. Der Anlauf einer Gleichstrommaschine ist im Allgemeinen

a unproblematisch, da im Stillstand die induzierte Spannung null ist
b problematisch, da der Anlaufstrom bei Gleichstrommaschinen großer Leistung ein Vielfaches des Nennstromes betragen kann
c unproblematisch, wenn die Maschine am Frequenzumrichter angelassen wird

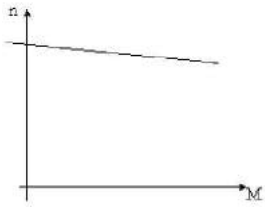
24. Welche der unten abgebildeten Drehzahl-Drehmoment Kennlinien gehört zu einer permanentmagneterregten Gleichstrommaschine?



a



b



c

25. Bei zunehmender Belastung einer permanenterregten Gleichstrommaschine

a nimmt die induzierte Spannung und der Ankerstrom ab
b nimmt die induzierte Spannung ab und der Ankerstrom zu
c wird die Drehzahl geringer, alle anderen Größen bleiben aber konstant

26. Weshalb ist das Ankerblechpaket einer Gleichstrommaschine geblecht ausgeführt?

a weil sich durch die Blechung thermische Ausdehnungen weniger stark auswirken und der ohnehin geringe Luftspalt der Maschine erhalten bleibt
b weil durch die Blechung die Eisenverluste im Ankerblechpaket reduziert werden und dadurch der Wirkungsgrad der Maschine steigt
c weil durch die Blechung eine gute Dynamik der Maschine erreicht wird

27. Wovon hängt die Leerlaufdrehzahl einer Asynchronmaschine ab?

a von der Höhe der Ständerspannung
b von der Frequenz des speisenden Netzes
c von der Schaltung der Ständerwicklungen (Stern oder Dreieck)

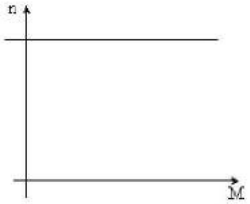
28. Wie ist der Schlupf definiert?

a $s = \frac{n}{n_0} - \frac{n_0}{n}$

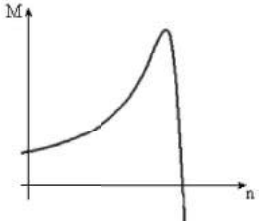
b $s = \frac{n}{n} - \frac{n_0}{n}$

c $s = \frac{n_0 - n}{n_0}$

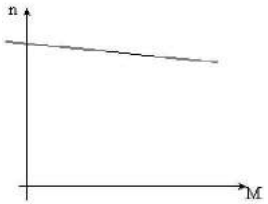
29. Welche der unten angegebenen Drehzahl-Drehmoment-Kennlinien passt zu einer Asynchronmaschine?



a



b



c

30. Welche Aussage ist richtig?

a die Asynchronmaschine ist ein robuster, wartungsarmer Antrieb und daher als Antriebsmaschine weit verbreitet

b die Asynchronmaschine hat nur geringe Anwendung, da weder die Drehzahl noch der Leistungsfaktor konstant sind

c Asynchronmaschinen sind für die Energieerzeugung sehr wichtig, als Antriebsmaschinen jedoch eher unbedeutend

Universität Stuttgart

Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe
ILEA
Abt. Elektrische Energiewandlung
Dr.-Ing. N. Parspour

Bitte in Blockschrift ausfüllen! **13.09.2007**

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Aufgabe 1:

- Pro Teilaufgabe können 4 Punkte erreicht werden.
- Die Teilaufgaben können unabhängig voneinander beantwortet werden!
- Kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen!

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GM) wird als Antriebsmotor verwendet (siehe Bild 1). Es soll nun das Anlauf- sowie das stationäre Betriebsverhalten der GM untersucht werden.

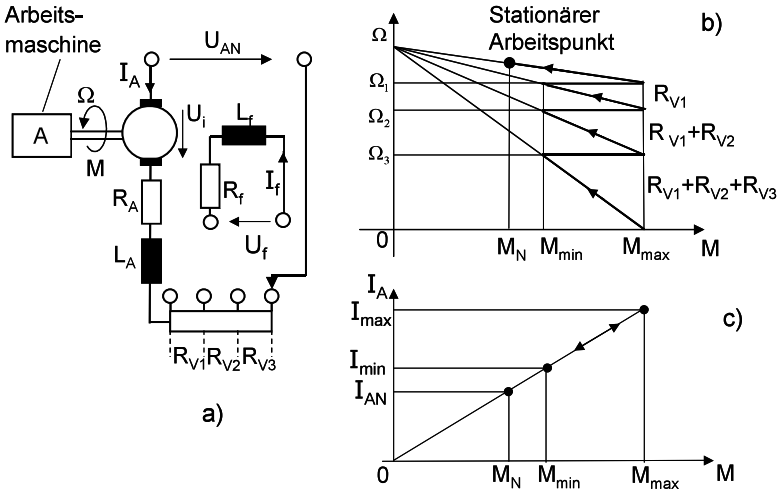


Bild 1 Ersatzschaltbild der fremderregten GM mit Widerstandanlasser:
a) Schaltung; b) Hochlaufvorgang im Ω-M-Diagramm;
c) $I_A(M)$-Abhängigkeit

Von der fremderregten GM sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung:	U_{AN} = 220 V
Ankernennstrom:	I_{AN} = 21,0 A
Nennleistung:	P_N = 4,0 kW
Nenndrehzahl	n_N = 1500 min^{-1}
Erregerspannung	U_f = 220 V
Erregerstrom	I_f = 1,14 A

Für den Hochlauf gilt: Minimaler Ankerstrom $I_{min} = 1,29 \cdot I_{AN}$

Maximaler Ankerstrom $I_{max} = 2 \cdot I_{AN}$

Eisenverluste und Reibungsverluste können stets vernachlässigt werden. Es treten keine Eisensättigungserscheinungen auf. Beim Hochlaufvorgang der Gleichstrommaschine mit Nennlast ändert sich das Moment der Maschine zwischen M_{max} und M_{min} (siehe Bild 1 b) bzw. der Ankerstrom zwischen I_{max} und I_{min} (siehe Bild 1 c).

Fragen:

1. Bestimmen Sie die aufgenommene elektrische Leistung P_1 der GM im Nennbetrieb. Wie groß sind die Verluste und der Wirkungsgrad der GM im Nennbetrieb?
2. Wie groß ist der Ankerwiderstand R_A und die induzierte Spannung U_{iN} im Nennbetrieb?
3. Wie groß ist die ideale Leerlaufdrehzahl n_0 bei Ankernennspannung und das Nenndrehmoment M_N der Gleichstrommaschine? [Hinweis: falls erforderlich, rechnen Sie mit folgenden Ersatzwerten: R_A = 1,6 Ω; U_{iN} = 186,4 V].
4. Der Anlauf der GM erfolgt mit einem Widerstandanlasser (Bild 1 a) bestehend aus drei Vorwiderständen R_{V1}, R_{V2} und R_{V3}, sodass beim Hochlauf der Gleichstrommaschine entsprechend Bild 1 b und Bild 1 c der

maximale und minimale Strom im Anker in den gegebenen Grenzen liegt. Wie groß sind die Vorwiderstände R_{V1}, R_{V2} und R_{V3} entsprechend diesen Randbedingungen zu wählen? [Hinweis: Falls erforderlich, rechnen Sie mit dem Ersatzwert $R_A = 1{,}6\ \Omega$ und verwenden Sie für die Ankerstromgrenzwerte $I_{min} = 1{,}35 \cdot I_{AN}$ und $I_{max} = 2 \cdot I_{AN}$].

5. Wie groß sind die Stufendrehzahlen n_1, n_2 und n_3 in min^{-1} des Ankers, bei denen die entsprechenden Vorwiderstände umgeschaltet werden? [Hinweis: Falls erforderlich, rechnen Sie mit folgenden Ersatzwerten: $U_{iN} = 186{,}4$ V, $R_A = 1{,}6\ \Omega$, $R_{V1} = 0{,}78\ \Omega$, $R_{V2} = 1{,}15\ \Omega$, $R_{V3} = 1{,}71\ \Omega$].

Aufgabe 2:

- Pro Teilaufgabe können 4 Punkte erreicht werden.
- Die Teilaufgaben können unabhängig voneinander beantwortet werden!
- Kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen!

Ein zweistufiger Kleinsignalverstärker besteht aus einem n-Kanal-MOSFET in Source-Schaltung und einem Bipolartransistor in Emitterschaltung (siehe Bild 2).

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungspannung	$U_{Bat} = 24$ V

Source-Schaltung mit n-Kanal-MOSFET (Bild 2 a):

Schwellspannung	$U_{th} = 1{,}6$ V
Steilheitskoeffizient	$S = 30$ mA/V^2
Arbeitspunkt	$U_{DS} = U_{BAT}/2 = 12$ V und $I_D = 10$ mA
Gate-Source-Kapazität	$C_{GS} = 0$ F

Bipolartransistor in Emitterschaltung (Bild 2 b):

Basiswiderstand	$R_B = 200\ \Omega$
Schleussenspannung	$U_{BE0} = 0{,}56$ V
Stromverstärkung	$B = \beta = 160$
Arbeitspunkt	$U_{CE} = U_{BAT}/2 = 12$ V und $I_C = 240$ mA
Kollektor-Basis-Kapazität	$C_{CB} = 0$ F
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} = \infty\ \Omega$

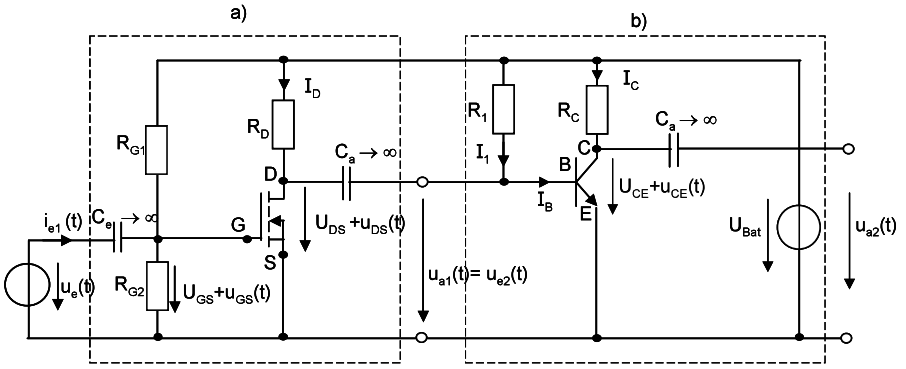


Bild 2 Grundschaltung eines Verstärkers aus einem n-Kanal-MOSFET - Schaltungsteil a) und eines Bipolartransistors in Emitterschaltung - Schaltungsteil b)

Fragen:

1. Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild für den Schaltungsteil a) aus Bild 2. Wie groß ist der Widerstand R_D und die Gate-Source-Spannung U_{GS} für den angegebenen Arbeitspunkt zu wählen?

2. Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild für den Schaltungsteil a) aus Bild 2. Wie groß werden die Widerstände R_{G1} und R_{G2}, wenn der Eingangswiderstand R_{e1} der ersten Stufe des Verstärkers $R_{e1} = 0{,}3$ MΩ ist? Ermitteln Sie die Steilheit G_S des MOSFET. [Hinweis: Falls erforderlich, rechnen Sie mit folgendem Ersatzwert: $U_{GS} = 2{,}5$ V]

3. Ermitteln Sie die Leerlauf-Spannungsverstärkung v_{u1} der Gate-Source-Stufe. Wie groß ist der Ausgangswiderstand R_{a1} dieses Schaltungsteils?

(Hinweis: Der Ausgang sei unbelastet, d.h. der Eingangswiderstand der zweiten Stufe wird hier nicht berücksichtigt). [Hinweis: Falls erforderlich, rechnen Sie mit folgenden Ersatzwerten: R_D = 1,25 kΩ, G_S = 25 mS].

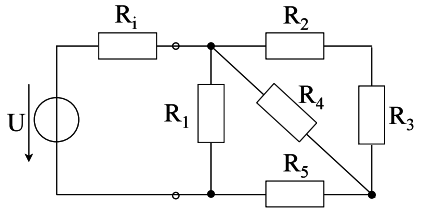
4. Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild für die Stufe mit dem Bipolartransistor (Schaltungsteil Bild 2 b). Ermitteln Sie die Widerstände R_C und R_1 zur Einstellung des Arbeitspunktes und berechnen Sie zwei Punkte der Arbeitsgeraden (für U_{CE} = 0 und U_{CE} = U_{Bat}).

5. Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild für den Schaltungsteil b) aus Bild 2. Wie groß ist der Eingangswiderstand R_{e2} dieses Schaltungsteils? Wie groß sind Strom-, Spannungs- und Leistungsverstärkung v_{i2}, v_{u2} bzw. v_{p2} der Bipolartransistorstufe bei mittlerer Frequenz? [Hinweis: Falls erforderlich, rechnen Sie mit folgenden Ersatzwerten: R_C = 45 Ω, R_1 = 15,5 kΩ].

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist nur eine einzige Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Für falsche Antworten wird jeweils ein Punkt abgezogen. Nicht bearbeitete und ungültig beantwortete Fragen werden mit 0 Punkten bewertet. Eine negative Gesamtpunktzahl in Aufgabe 3 wird mit 0 Punkten gewertet.
- Kennzeichnen Sie Ihre Lösung eindeutig durch ein „X"!

3.1 Wieviele unabhängige Knoten- und Maschengleichungen können für die unten angegebene Schaltung aufgestellt werden?



a) 3 Knoten- und 3 Maschengleichungen
b) 2 Knoten- und 3 Maschengleichungen
c) 2 Knoten- und 4 Maschengleichungen

3.2 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Es gilt folgende Aussage:

a) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.
b) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht im Allgemeinen nicht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.
c) Die Leistungen sind nur im Leerlauf gleich.

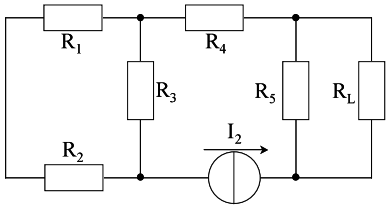
3.3 Der Ersatzleitwert von k parallel geschalteten ohmschen Widerständen ist

a) die arithmetische Summe der k Widerstände.
b) der Kehrwert der Summe der k Widerstände.
c) die Summe der Kehrwerte der k Widerstände.

3.4 Der Überlagerungssatz kann nur dann angewendet werden, wenn

a) es sich um ein lineares bzw. linearisiertes Netzwerk handelt.
b) es sich um ein Gleichstromnetzwerk mit genau zwei Quellen handelt.
c) im Netzwerk nur sinusförmige Spannungen und Ströme auftreten.

3.5 Wie groß ist die umgesetzte Wirkleistung im Lastwiderstand R_L?



a) $P_L = \frac{R_L \cdot R_5}{R_L + R_5} \cdot I_2^2$

b) $P_L = R_L \cdot \left(\frac{(R_4 + R_3) \cdot R_5}{R_4 + R_3 + R_5} \cdot I_2 \right)^2$

c) $P_L = R_L \cdot \left(\frac{I_2 \cdot R_5}{R_5 + R_L} \right)^2$

3.6 Der Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom und Spannung an einer R-L-Reihenschaltung ist

a) stets kleiner Null.
b) nur bei der Resonanzfrequenz identisch gleich Null.
c) abhängig von R und L stets zwischen Null und + 90°.

3.7 Im Arbeitsbereich einer realen Diode mit steigendem Diodenstrom

a) nimmt der differentielle Widerstand zu.
b) bleibt der differentielle Widerstand praktisch konstant.
c) bleibt der statische Widerstand praktisch konstant.

3.8 Im Resonanzfall eines R-L-C-Serienschwingkreises hoher Güte an der eingeprägten Spannung U gilt:

a) $|\underline{U}_L| = |\underline{U}_C| = \frac{U}{2}$ und $\varphi = +\frac{\pi}{4}$

b) $|\underline{U}_R| > |\underline{U}_L| > |\underline{U}_C| > U$

c) $|\underline{U}_R| = U$ und $|\underline{U}_L| = |\underline{U}_C| >> U$ und $\varphi = 0$

3.9 Ein idealer Transformator ist dadurch gekennzeichnet dass

a) $\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{w_1}{w_2}$

b) er keinerlei ohmsche Verluste aufweist.
c) die Ausgangsscheinleistung das $\sqrt{2}$-fache der Eingangsnennscheinleistung beträgt.

3.10 Ein symmetrisches Drehstromsystem hat folgende Eigenschaften

a) $f_1 = f_2 = f_3 = f$ $U_1 = U_2 = U_3 = U$ $\underline{Z}_1 = \underline{Z}_2 = \underline{Z}_3 = \underline{Z}$

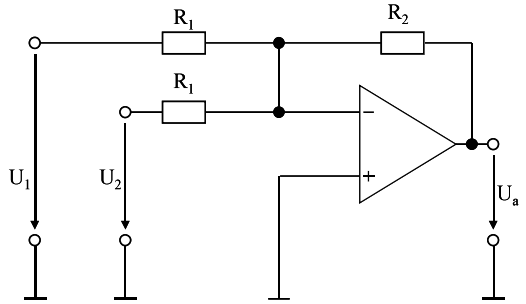
b) $U_S = \sqrt{3} \cdot U_L$ $I_L = \sqrt{3} \cdot I_S$ $Z_1 = Z_2 = Z_3 = Z$

c) $\underline{S} = \sqrt{3} \cdot \underline{U}_S \cdot \underline{I}_S^*$ $p_1(t) = p_2(t) = p_3(t) = P$

3.11 Welche Aussage stimmt?

a) Das Ersatzschaltbild eines Bipolartransistor enthält eine stromgesteuerte Spannungsquelle.
b) Das Ersatzschaltbild eines MOSFET enthält eine stromgesteuerte Stromquelle.
c) Das Ersatzschaltbild eines Operationsverstärkers enthält eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

3.12 Wie groß ist die Ausgangsspannung U_a der folgenden Operationsverstärkerschaltung in Abhängigkeit von den Eingangsspannungen U_1 und U_2?



a) $U_a = (U_1 - U_2) \cdot \frac{R_2}{R_1}$

b) $U_a = -(U_1 + U_2) \cdot \frac{R_2}{R_1}$

c) $U_a = U_1 \cdot \frac{R_2}{R_1} - U_2 \cdot \frac{R_1}{R_2}$

3.13 Was bewirkt die Rückkopplung bei einer Operationsverstärkerschaltung?

a) Die Verstärkung v_U kann auf einen endlich großen Wert eingestellt werden.

b) Dadurch wird der Arbeitspunkt der Schaltung eingestellt.

c) Der Verstärker kann nicht mehr übersteuert werden.

3.14 Auf dem Typenschild eines Drehstrommotors ist die Angabe U_N = 230/400V angegeben. Der Motor kann betrieben werden:

a) am 230 V Drehstromnetz in Stern- und am 400 V Drehstromnetz in Dreieckschaltung.

b) am 230 V Drehstromnetz in Dreieck- und am 400 V Drehstromnetz in Sternschaltung.

c) sowohl am 230 V Wechselstromnetz und am 400 V Drehstromnetz unabhängig von der Schaltung.

3.15 Bei der Fernübertragung elektrischer Energie wird Drehstrom benutzt:

a) wegen der magnetischen Ausnutzung der induktiv wirkenden Leitungen.

b) wegen dem um Faktor $\sqrt{3}$ größeren Leistungsfaktor.

c) wegen der im symmetrischen Fall konstanten momentanen Leistung.

3.16 Eine Spannung wird induziert wenn

a) eine ruhende Leiterschleife von einem elektrischen Wechselfeld durchsetzt wird.

b) sich eine ruhende Leiterschleife in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet.

c) eine Leiterschleife von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt wird.

3.17 Ein Kondensator ist auf die Spannung U aufgeladen und trägt die Ladung Q. Die gespeicherte elektrische Energie beträgt:

a) $W = \frac{Q \cdot U^2}{2 \cdot C}$

b) $W = \frac{C \cdot U}{2 \cdot Q}$

c) $W = \frac{C \cdot U^2}{2}$

3.18 Die Gesamtkapazität von n in Reihe geschalteten Kondensatoren beträgt

a) $C = \sum_{k=1}^{n} C_k$

b) $C = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n} \frac{1}{C_k}}$

c) $C = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot ... \cdot C_n}{C_1 + C_2 + C_3 + ... + C_n}$

3.19 Bei Zunahme der Belastung einer fremderregten Gleichstrommaschine bei konstanter Ankerspannung und konstanter Erregung

a) nimmt der Anker- und der Erregerstrom zu.

b) nimmt die induzierte Spannung U_i im Anker ab.

c) geht die Drehzahl und das Drehmoment zurück.

3.20 Die Leerlaufdrehzahl einer Drehstrom-Asynchronmaschine hängt

a) quadratisch von der Spannung des speisenden Netzes ab.

b) vom Produkt aus Spannungsquadrat und Frequenz ab.

c) alleinig linear von der Frequenz ab.

Bitte in Blockschrift ausfüllen! **13.03.2008**

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Für die Aufgaben 1 und 2 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Die Teilaufgaben können unabhängig voneinander beantwortet werden!
- Kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen!

Aufgabe 1:

Als Antrieb für den Scheibenwischer eines Kraftfahrzeuges wird eine permanentmagneterregte (Fluss ϕ = konstant) Gleichstrommaschine verwendet. Zur Drehzahlverstellung kann die Maschine über einen Vorwiderstand $R_V = 0{,}47\ \Omega$ betrieben werden (siehe Bild 1). Als Spannungsquelle steht die Batterie des Kraftfahrzeuges mit $U_{Bat} = 12$ V zur Verfügung. Das elektrische Ersatzschaltbild des Antriebs ist im Bild 1 dargestellt.

Schalter in Stellung 1: Betrieb mit Vorwiderstand R_V

Schalter in Stellung 2: Nennbetrieb der Maschine (ohne R_V)

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Nenndaten bekannt:

Nennankerspannung:	$U_{AN} = 12$ V
Nennankerstrom:	$I_{AN} = 8$ A
Nenndrehzahl:	$n_N = 3600\ \text{min}^{-1}$
Wirkungsgrad im Nennbetrieb:	$\eta_N = 62{,}5$ %

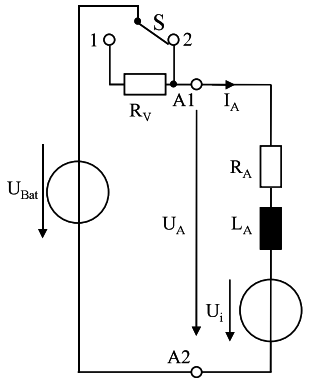


Bild 1

Ersatzschaltbild des permanentmagneterregten Gleichstrommotors mit Vorwiderstand R_V und Spannungsquelle U_{Bat} (Batterie)

Eisen- und Reibungsverluste in der Gleichstrommaschine dürfen vernachlässigt werden. Aufgrund der Permanentmagneterregung ist $c\,\phi = c\,\phi_N$ stets konstant!

Fragen:

A) Schalter S in Stellung 2 (Nennbetrieb)

1.1 Berechnen Sie die elektrisch aufgenommene Leistung $P_{auf,N}$ und die Nennleistung $P_{ab,N}$ des Motors im Nennbetrieb.

1.2 Berechnen Sie die Verluste P_{VN} im Nennbetrieb und den Ankerwiderstand R_A des Gleichstrommotors. Wie groß ist die induzierte Spannung U_{iN} und das Nenndrehmoment M_N des Motors im Nennbetrieb?

1.3 Wie groß sind der Ankerstrom $I_A = I_{A2}$ und das Anlaufdrehmoment $M = M_{A2}$ des Motors bei der Drehzahl $n = 0$ (Stillstand)? Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_{02} in min^{-1}? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 0{,}5\ \Omega$ und $c\,\phi_N = 0{,}02$ Vs]

B) Schalter S in Stellung 1 (Betrieb mit Vorwiderstand R_V)

1.4 Welche Drehzahl $n = n_1$ in min^{-1} erreicht der Motor, wenn das Drehmoment $M = M_1$ in diesem Betrieb gleich dem Nenndrehmoment M_N angenommen wird, d.h. es gilt $M_1 = M_N$? Wie groß ist der Wirkungsgrad η_1 des Motors mit Vorwiderstand R_V? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 0{,}5\ \Omega$, $c\,\phi_N = 0{,}02$ Vs und $M_N = 0{,}16$ Nm]

1.5 Wie groß wird der Ankerstrom $I_A = I_{A1}$ und das Anlaufdrehmoment $M = M_{A1}$ des Motors bei der Drehzahl $n = 0$ (Stillstand)? Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_{01} in min^{-1} im Betrieb mit Vorwiderstand R_V?
[Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 0{,}5\ \Omega$, $c\,\phi_N = 0{,}02$ Vs]

Aufgabe 2:

Die Sicherheitsbeleuchtung von zwei Treppenstufen im Eingangsbereich eines Grundstücks erfolgt durch Leuchtdioden (LED), welche versenkt in die Frontseiten der Treppenstufen eingebaut sind. Pro Treppenstufe werden 2 in Reihe geschaltete LED verwendet. Damit die Beleuchtung nur bei Dunkelheit in Betrieb ist, wird eine elektronische Schaltung (Dämmerungsschalter) eingesetzt, die die LED erst bei Beginn der Dämmerung einschaltet (siehe Bild 2). Als Sensor zur Helligkeitsmessung wird ein Fotowiderstand (**L**ight **D**ependend **R**esistor, R_{LDR}) eingesetzt. Der Fotowiderstand R_{LDR} kann als von der Beleuchtungsstärke E (E wird in Lux = lx gemessen) abhängiger ohmscher Widerstand betrachtet werden. Im Bild 3 ist der interessierende Teil der Beleuchtungs-Widerstands-Kennlinie $R_{LDR} = f(E)$ dargestellt. Im Bild 4 ist die Strom-Spannungs-Kennlinie der Leuchtdioden (LED) angegeben. Nachfolgend soll die Dämmerungsschaltung nun sukzessive so dimensioniert werden, dass die LED bei $E < 10$ lx eingeschaltet werden und nur für $E < 10$ lx ständig leuchten.

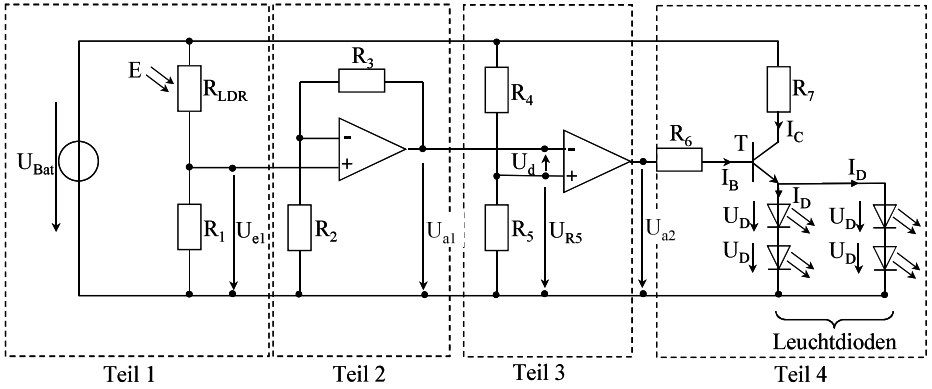


Bild 2 Dämmerungsschaltung mit lichtempfindlichem Fotowiderstand R_{LDR} und lichtstarken Leuchtdioden (LED) zur Beleuchtung von Treppenstufen bei einsetzender Dunkelheit

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Versorgungsspannung:	$U_{Bat} = 12$ V		
Widerstände:	$R_1 = 10\ M\Omega$	$R_2 = 20\ k\Omega$	$R_3 = 80\ k\Omega$
Transistor T:	$R_{BE} = 0\ \Omega$	B = 130	$U_{BE0} = 0{,}6$ V

Sämtliche Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden! In der Vorlesung und/oder im Seminar abgeleitete Beziehungen für bekannte Schaltungen dürfen ohne erneute Herleitung unter Angabe der Quelle (Vorlesung, Seminar) verwendet werden! Bitte beachten Sie, dass die Versorgungsspannungen der OP's ($\pm U_{Bat}$) im Bild 2 nicht eingetragen sind.

Die Daten des Fotowiderstandes R_{LDR} und der Leuchtdioden (LED) sind in Form der folgenden Kennlinien gegeben:

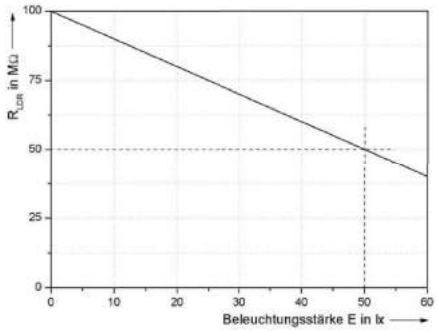


Bild 3

Abschnitt der Kennlinie des lichtempfindlichen Fotowiderstands R_{LDR} im Bereich von $0\ \text{lx} \le E \le 60\ \text{lx}$

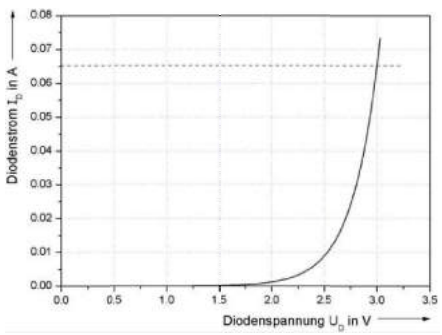


Bild 4

Strom-Spannungs-Kennlinie einer der verwendeten Leuchtdioden (LED)

Fragen:

Zunächst wird nur der Schaltungsteil „Teil 1" betrachtet!

2.1 Geben Sie die Geradengleichung $R_{LDR} = f(E)$ anhand der in Bild 3 gegebenen Kennlinie für den interessierenden Bereich $0\ \text{lx} \le E \le 60\ \text{lx}$ in analytischer Form an. Berechnen Sie den Widerstandswert $R_{LDR} = R_{LDR}(10\ \text{lx})$ des Fotowiderstands bei der Beleuchtungsstärke von $E = 10\ \text{lx}$? Wie groß ist die Teilspannung $U_{e1} = U_{e1}(10\ \text{lx})$ am Widerstand R_1 bei einer Beleuchtungsstärke von $E = 10\ \text{lx}$?

Nun wird der Schaltungsteil „Teil 2" betrachtet!

2.2 Um was für eine OP-Schaltung handelt es sich hier? Geben Sie die Beziehung zwischen der Spannung U_{a1} und U_{e1} an. Wie groß ist die Spannungsverstärkung $v_U = U_{a1}/U_{e1}$ in Abhängigkeit von den Widerständen R_2 und R_3? Welche Spannung $U_{a1} = U_{a1}(10\ \text{lx})$ stellt sich bei einer Beleuchtungsstärke $E = 10\ \text{lx}$ ein? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgenden Ersatzwert: $U_{e1}(10\ \text{lx}) = 1{,}2\ \text{V}$]

Nun wird der Schaltungsteil „Teil 3" betrachtet.

2.3 Um was für eine OP-Schaltung handelt es sich hier? Geben Sie die Differenzspannung U_d in Abhängigkeit der Spannungen U_{R5} und U_{a1} an. Geben Sie das Verhalten der Schaltung an, indem Sie den Wert der Ausgangsspannung U_{a2} nach Betrag und Polarität für $U_d > 0$, $U_d = 0$ und $U_d < 0$ ermitteln; nehmen Sie dazu an, dass ein OP, der in Begrenzung geht, am Ausgang betragsmäßig seine Versorgungsspannung (hier U_{Bat}) liefert!

Wie groß muss die Spannung U_{R5} am Widerstand R_5 sein, damit der Ausgang des OPs für $U_{a1} = U_{a1}(E < 10\ \text{lx})$ die Spannung $U_{a2} = U_{Bat}$ annimmt? Dimensionieren Sie für diesen Fall den aus R_4 und R_5 bestehenden Spannungsteiler unter der Maßgabe, dass $R_4 + R_5 = 250\ \text{k}\Omega$ betragen soll. [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgenden Ersatzwert: $U_{a1}(10\ \text{lx}) = 6\ \text{V}$]

Nun wird der Schaltungsteil „Teil 4" betrachtet. Der Transistor T wird hier als Schalter eingesetzt. Es wird angenommen, dass für Beleuchtungsstärken $E < 10\ \text{lx}$ die Spannung $U_{a2} = U_{Bat}$ ist und der Transistor sich im leitenden Zustand befindet, sodass $U_{CE} = 0$ angenommen werden darf!

2.4 Bestimmen Sie den Kollektorstrom I_C und die Spannung am Widerstand R_7 für $E < 10\ \text{lx}$, wenn durch die Leuchtdioden ein Strom von $I_D = 65\ \text{mA}$ fließt (der Basisstrom I_B darf dabei gegenüber dem viel größeren Kollektorstrom I_C vernachlässigt werden!). Wie groß muss für diesen Arbeitspunkt der Widerstand R_7 sein? Wie groß ist der Basisstrom I_B in diesem Arbeitspunkt und wie groß muss dafür der Basisvorwiderstand R_6 sein? Welche Bedingung muss erfüllt sein, damit die Leuchtdioden wieder ausgehen (Begründung in 1 bis 2 Sätzen)?

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist genau eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Für falsche Antworten wird jeweils ein Punkt abgezogen. Nicht bearbeitete Fragen werden mit 0 Punkten bewertet. Eine negative Gesamtpunktzahl in Aufgabe 3 wird mit 0 Punkten gewertet.
- Kennzeichnen Sie Ihre Lösung eindeutig (z.B. ☒)!

3.1 Wie berechnet man die Blindleistung Q im einphasigen Wechselstromfall?

a) $Q = U \cdot I \cdot \sin(\frac{\pi}{2} - \varphi)$

b) $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$

c) $Q = U \cdot I \cdot \sin(\frac{\omega \cdot t}{2 \cdot \pi} - \varphi)$

3.2 Bei einer R-L-Reihenschaltung gilt folgende Aussage:

a) Der Strom eilt der Spannung um den Winkel $\varphi = \arctan\left(\frac{R}{\omega \cdot L}\right)$ nach.

b) Der Strom eilt der Spannung um den Winkel $\varphi = \arctan\left(\frac{\omega \cdot L}{R}\right)$ nach.

c) Der Strom eilt der Spannung um den Winkel $\varphi = \arctan\left(\frac{\omega \cdot L}{R}\right)$ vor.

3.3 Welches Verfahren bietet sich zur Berechnung eines linearen elektrischen Netzwerks mit mehreren Stromquellen besonders an?

a) Das Verfahren der Ersatzstromquelle.

b) Das Verfahren der Ersatzspannungsquelle.

c) Der Überlagerungssatz.

3.4 Bei einem ohmsch-induktiven einphasigen Wechselstromverbraucher, der am 50 Hz-Netz betrieben wird, gilt:

a) Die Momentanleistungen sind zeitlich konstant.

b) Die Wirkleistung ist zeitlich konstant.

c) Die Scheinleistung schwingt zeitlich mit 50 Hz.

3.5 Der Effektivwert I eines beliebigen aber T-periodischen Stromes i(t) berechnet sich zu:

a) $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$

b) $I = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T i^2(t) \cdot dt}$

c) $I = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T i(t) \cdot dt$

3.6 Die Blindstromkompensation eines Wechselstromverbrauchers wird aus folgendem Grund angewandt:

a) Zur Verbesserung des Leistungsfaktors cos(φ) des Verbrauchers.

b) Zur Verbesserung des Wirkungsgrades η des Verbrauchers.

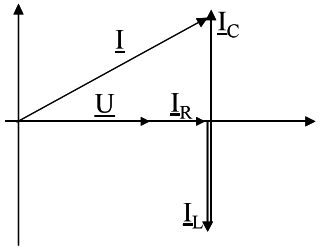
c) Zur Verminderung des Effektivwertes des Stromes in den Zuleitungen zum Verbraucher.

3.7 Zu was für einer Schaltung gehört das nebenstehende Zeigerdiagramm?

a) Zu einer R-L-C-Dreieckschaltung.

b) Zu einer R-L-C-Parallelschaltung.

c) Zu einer R-L-C-Reihenschaltung.



3.8 Ein ungeladener Kondensator C wird über einen ohmschen Serienwiderstand R zum Zeitpunkt t = 0 an eine Gleichspannungsquelle U angeschlossen. Welche Aussage stimmt?

a) Der Kondensator wird aufgeladen. Der Ladevorgang läuft mit der Zeitkonstante $\tau = \frac{1}{\sqrt{R \cdot C}}$ ab.

b) Der Ladestrom erreicht den Endwert $I = \frac{U}{R}$ theoretisch erst nach unendlich langer Zeit.

c) Im Einschaltzeitpunkt springt die Spannung U_R am ohmschen Widerstand R auf den Wert U.

3.9 Welche Aussage bezüglich einer Induktivität (Spule) L stimmt?

a) Der Spulenstrom i_L kann nicht springen.

b) Die Spannung u_L an der Spule kann nicht springen.

c) Weder i_L noch u_L können springen.

3.10 Das Dielektrikum eines Kondensators besteht aus

a) einem elektrisch sehr gut leitenden Material.

b) einem elektrisch halbleitenden Material.

c) einem elektrisch sehr gut isolierenden Material.

3.11 Das elektrische Ersatzschaltbild eines Bipolartransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Stromquelle.

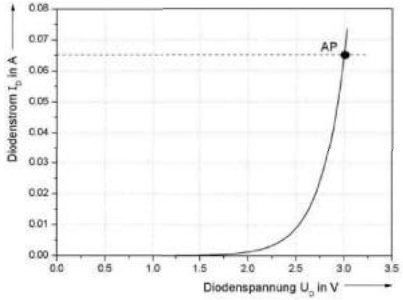
c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

3.12 Eine Diode wird in dem im folgenden Bild dargestellten Arbeitspunkt AP der U_D-I_D-Diodenkennlinie betrieben. Welche Aussage bezüglich des dynamischen Widerstandes R_d und des statischen Widerstandes R_s gilt im eingestellten Arbeitspunkt AP?

a) $R_d = R_s$

b) $R_s > R_d$

c) $R_d > R_s$



3.13 Das elektrische Ersatzschaltbild eines Feldeffekttransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Stromquelle.

c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

3.14 Ein idealer Operationsverstärker ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

a) Der Eingangswiderstand ist unendlich klein, die Open-Loop-Verstärkung ist unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastunabhängig.

b) Der Eingangswiderstand ist unendlich klein, die Open-Loop-Verstärkung ist unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastabhängig.

c) Der Eingangswiderstand und die Open-Loop-Verstärkung sind unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastunabhängig.

3.15 Weshalb verwendet man für die Übertragung von elektrischer Energie über weite Strecken Transformatoren?

a) Da die Leitungsverluste bei höheren Spannungen geringer sind.

b) Da die Leitungsverluste bei höheren Strömen geringer sind.

c) Da die Leitungsverluste bei galvanischer Trennung der elektrischen Systeme geringer sind.

3.16 Wodurch ist ein stabiler Arbeitspunkt eines Antriebssystems, bestehend aus einem Motor und einer Arbeitsmaschine, gekennzeichnet?

a) Wenn von dem Arbeitspunkt ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das Lastmoment überwiegt und in Richtung der niedrigeren Drehzahlen das elektrische Drehmoment überwiegt.

b) Wenn von dem Arbeitspunkt ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das elektrische Drehmoment überwiegt und in Richtung der niedrigeren Drehzahlen das Lastmoment überwiegt.

c) Die Steigungen der Last-Kennlinie und der Motorkennlinie spielen hierbei keine Rolle.

3.17 Der Betriebsbereich eines Antriebssystems mit einer Asynchronmaschine als Motor sollte so gewählt werden, dass

a) die Winkelgeschwindigkeit des Arbeitspunkts genau der Kippwinkelgeschwindigkeit entspricht.

b) die Winkelgeschwindigkeit des Arbeitspunkts zwischen der synchronen Winkelgeschwindigkeit und der Kippwinkelgeschwindigkeit liegt.

c) die Winkelgeschwindigkeit des Arbeitspunkts zwischen der Kippwinkelgeschwindigkeit und der Winkelgeschwindigkeit $\Omega = 0$ liegt.

3.18 Als Ankerrückwirkung bei der Gleichstrommaschine wird

a) das durch die Ankerströme verursachte Bremsdrehmoment bezeichnet.

b) die Verzerrung des Hauptmagnetfelds durch das Ankerquerfeld bezeichnet.

c) die Geräuschentwicklung in der Maschine durch die Kohlebürsten am Anker bezeichnet.

3.19 Die synchrone Drehzahl n_{sync} des Drehfelds einer zweipoligen Asynchronmaschine, die am 50 Hz Netz betrieben wird, beträgt:

a) $n_{sync} = 3000\ min^{-1}$

b) $n_{sync} = 1500\ min^{-1}$

c) $n_{sync} = 750\ min^{-1}$

3.20 Das Drehfeld einer dreiphasigen und zweipoligen Asynchronmaschine wird von drei Wicklungen (U, V, W) erzeugt,

a) die mit einem geometrischen Versatz von 120° zueinander angeordnet sind und durch welche Ströme mit einer elektrischen Phasenverschiebung von 120° zueinander fließen.

b) die mit einem geometrischen Versatz von 120° zueinander angeordnet sind und durch welche gleichphasige Ströme fließen.

c) die mit einem geometrischen Versatz von 90° zueinander angeordnet sind und durch welche gleichphasige Ströme fließen.

Bitte in Blockschrift ausfüllen. **11.09.2008**

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Für die Aufgaben 1 und 2 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Die Teilaufgaben können unabhängig voneinander beantwortet werden.
- Kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.

Aufgabe 1:

Eine fremderregte Gleichstrommaschine wird als Antriebsmotor für eine Werkzeugmaschine verwendet. Das elektrische Ersatzschaltbild des Antriebs ist im Bild 1 dargestellt. Der maximale Ankerstrom I_A und das Anlaufmoment M_{An} können durch den Vorwiderstand R_V begrenzt werden. Die Ankerspannung beträgt stets $U_A = U_{AN}$. Der Erregerkreis ist fest mit der Versorgungsspannung $U_F = 220$ V verbunden ($c \cdot \phi_N$ = konstant). Eisen- und Reibungsverluste in der Gleichstrommaschine sollen vernachlässigt werden.

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Nenndaten bekannt:

Nennankerspannung:	$U_{AN} = 220$ V
Nennankerstrom:	$I_{AN} = 4$ A
Erregerspannung:	$U_F = 220$ V
Erregerstrom:	$I_F = 0{,}3$ A
Nenndrehzahl:	$n_N = 1800\ \text{min}^{-1}$
Wirkungsgrad im Nennbetrieb:	$\eta_N = 0{,}7$

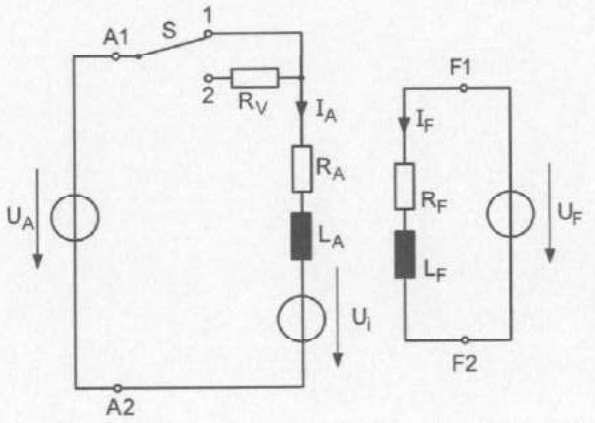


Bild 1

Ersatzschaltbild der fremderregten Gleichstrommaschine

Schalter in Stellung 1: Nennbetrieb der Maschine (ohne Vorwiderstand R_V)

Schalter in Stellung 2: Betrieb mit Vorwiderstand R_V

Fragen:

A) Schalter S in Stellung 1 (Nennbetrieb)

1.1 Berechnen Sie die elektrisch aufgenommene Leistung $P_{auf,N}$ und die abgegebene Leistung $P_{ab,N}$ des Motors im Nennbetrieb.

1.2 Berechnen Sie die Verluste $P_{VN\,(Anker)}$ in der Ankerwicklung und $P_{VN\,(Stator)}$ in der Erregerwicklung im Nennbetrieb. Bestimmen Sie den Ankerwiderstand R_A und den Erregerwiderstand R_F. Wie groß ist die induzierte Spannung U_{iN} und das Drehmoment M_N des Motors im Nennbetrieb? Berechnen Sie das Produkt aus Motorkonstante und Fluss $c \cdot \phi_N$. [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $P_{auf,N} = 944$ W, $P_{ab,N} = 660$ W]

1.3 Wie groß sind der Ankerstrom $I_A = I_{A1}$ und das Anlaufdrehmoment $M = M_{An1}$ des Motors bei der Drehzahl n = 0 (Stillstand)? Wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_{01} in min^{-1}? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 14\ \Omega$ und $c \cdot \phi_N = 0{,}9$ Vs]

B) Schalter S in Stellung 2 (Betrieb mit Vorwiderstand R_V)

1.4 Um die Werkzeug- und die Gleichstrommaschine nicht unnötig zu belasten, soll das Anlaufdrehmoment M_{An} mit Hilfe des Vorwiderstands R_V begrenzt werden. Bestimmen Sie den Vorwiderstand R_V so, dass das Anlaufdrehmoment $M = M_{An2} = 8$ Nm beträgt. Wie groß wird der Anlauf-Ankerstrom $I_A = I_{A2}$? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 14\ \Omega$, $c \cdot \phi_N = 0{,}9$ Vs und $n_0 = 2400\ min^{-1}$]

1.5 Bei welcher Drehzahl n kann der Schalter S wieder in Stellung 1 umgeschaltet werden, wenn das Drehmoment im Umschaltzeitpunkt den Wert M = 8 Nm annehmen soll? [Hinweis: Benutzen Sie ggf. folgende Ersatzwerte: $R_A = 14\ \Omega$, $c \cdot \phi_N = 0{,}9$ Vs]

Aufgabe 2:

Für eine vorgegebene (dynamische) Mikrofonkapsel soll ein Kleinsignalverstärker dimensioniert werden. Das Ersatzschaltbild des Mikrofons und der Verstärkerschaltung ist im Bild 2 abgebildet. Die Mikrofonkapsel ist durch eine Ersatzspannungsquelle mit der Wechselspannung $u_e(t)$ und dem Innenwiderstand R_i dargestellt. Die Kapsel liefert bei einem sinusförmig verlaufenden Schalldrucksignal mit der Schalldruckamplitude $\hat{s} = 1$Pa eine ebenfalls sinusförmige Spannung mit der Spannungsamplitude $\hat{u}_e = 1$mV. Die Verstärkerschaltung soll nun so dimensioniert werden, dass bei einer Schalldruck-

amplitude $\hat{s} = 1$Pa die Spannungsamplitude des Ausgangswechselspannungssignals $\hat{u}_{a3} = 750$ mV beträgt.

Am Ausgang des Kleinsignalverstärkters wird ein Mischpult mit einem Eingangswiderstand von $R_L = 600\ \Omega$ angeschlossen.

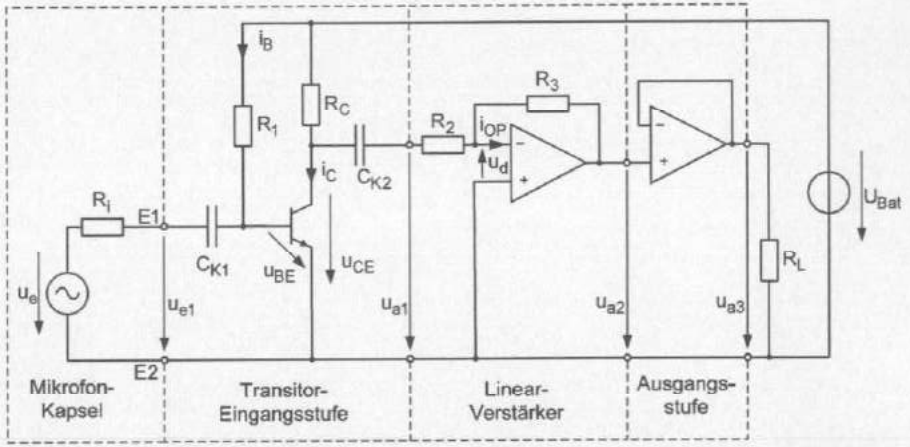


Bild 2 Mehrstufiger Kleinsignalverstärkter mit Ersatzschaltbild der Mikrofonkapsel und der Last R_L am Ausgang

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Versorgungsspannung:	$U_{Bat} = 12$ V	
Widerstände:	$R_i \approx 0\ \Omega$	$R_L = 600\ \Omega$
	$R_3 = 50\ k\Omega$	

Transistor T:

Stromverstärkungen:	$B = \beta = 100$
Basis-Emitter-Widerstand:	$R_{BE} = 500\ \Omega$
Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Diode:	$U_{BE0} = 0{,}6$ V
Arbeitspunkt (AP):	$I_{C(AP)} = 4$ mA, $U_{CE(AP)} = 6$ V

Der Kollektor-Emitter-Widerstand darf stets vernachlässigt werden, d. h. es gilt $R_{CE} \to \infty$. Die Basis-Emitter-Kapazität C_{BE} und die Basis-Kollektor-Kapazität C_{BC} dürfen ebenfalls stets vernachlässigt werden.
Sämtliche Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.

In der Vorlesung und/oder im Seminar abgeleitete Beziehungen für bekannte Schaltungen dürfen ohne erneute Herleitung verwendet werden.

Fragen:

Zunächst wird der Schaltungsteil „Transistor-Eingangsstufe" betrachtet.

2.1 Erstellen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Transistor-Eingangsstufe und bestimmen Sie die Widerstände R_C und R_1, so dass sich der vorgegebene Arbeitspunkt (AP) einstellt.

2.2 Erstellen Sie nun das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Transistor-Eingangsstufe.

Ergänzen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Transistor-Eingangsstufe um die Ersatzschaltung der Mikrofonkapsel und den Koppelkondensator C_{K1}.

Berechnen Sie die Kapazität C_{K1} des Koppelkondensators so, dass die untere Grenzfrequenz von f_{ug} = 20 Hz beträgt.

Berechnen Sie die Spanungsverstärkung $v_{u1} = \frac{\hat{u}_{a1}}{\hat{u}_{e1}}$ unter der Annahme, dass die Frequenz f des betrachteten Eingangssignals sehr viel größer als die untere Grenzfrequenz ist, d. h. C_{K1} und C_{K2} sollen vernachlässigt werden. Vernachlässigen Sie dabei den Einfluss des Linear-Verstärkers auf die Transistor-Eingangsstufe.

Welche Ausgangsspannungsamplitude $\hat{u}_{a1}$ ergibt sich für $\hat{u}_e = 1\,\text{mV}$?

[Hinweis: Benutzen Sie ggf. den folgenden Ersatzwert: R_C = 1.5kΩ]

Nun wird der Schaltungsteil „Linear-Verstärker" betrachtet.

2.3 Um was für eine OP-Schaltung handelt es sich bei diesem Schaltungsteil? Wie groß ist die Differenzspannung u_d und der Strom i_{OP}?

Berechnen Sie den Widerstand R_2, so dass sich eine Spannungsverstärkung $v_{u12} = \frac{\hat{u}_{a2}}{\hat{u}_{e1}} = 750$ ergibt.

[Hinweis: Benutzen Sie ggf. den folgenden Ersatzwerte: v_{u1} = 300]

Nun wird der Schaltungsteil „Ausgangsstufe" betrachtet.

2.4 Um was für eine OP-Schaltung handelt es sich hier? Nennen Sie zwei charakteristische Eigenschaften dieser Schaltung. Wie groß ist die Spannungsverstärkung $v_{u3} = \frac{\hat{u}_{a3}}{\hat{u}_{a2}}$ der Ausgangsstufe? Welche Leistung P_L wird im Lastwiderstand R_L umgesetzt?

Aufgabe 3:

- Zu jeder Frage ist genau eine Antwort richtig.
- Jede richtige Antwort wird mit 1 Punkt gewertet. Für falsche Antworten wird jeweils ein Punkt abgezogen. Nicht bearbeitete Fragen werden mit 0 Punkten bewertet. Eine negative Gesamtpunktzahl in Aufgabe 3 wird mit 0 Punkten gewertet.
- Kennzeichnen Sie Ihre Lösung eindeutig (z. B. ⊠).
- Sollte eine Korrektur erforderlich sein, markieren Sie bitte alle Lösungen und kennzeichnen Sie die korrigierte Lösung zusätzlich (z. B. ⊠).

3.1 Die Klemmenspannung einer realen Gleichspannungsquelle

a) nimmt bei steigender Belastung ab.

b) ist immer konstant.

c) steigt mit zunehmendem Strom.

3.2 Bei der Wechselstromrechnung mit Amplituden $\hat{u}$, $\hat{i}$ gilt an einem Widerstand R für die mittlere Leistung P:

a) $P = \hat{u}_R \cdot \hat{i}_R$

b) $P = \frac{1}{2} \cdot \hat{u}_R \cdot \hat{i}_R$

c) $P = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \hat{u}_R \cdot \hat{i}_R$

3.3 Bei einer R-C-Parallelschaltung gilt folgende Aussage:

a) Der Gesamtstrom eilt der Spannung um den Winkel $\arctan\left(\frac{R}{\frac{1}{\omega C}}\right)$ nach.

b) Der Gesamtstrom eilt der Spannung um den Winkel $\arctan\left(\frac{\omega \cdot C}{G}\right)$ nach.

c) Der Gesamtstrom eilt der Spannung um den Winkel $\arctan\left(\frac{\omega \cdot C}{G}\right)$ vor.

3.4 Bei der Berechnung eines linearen elektrischen Netzwerks mit zwei Spannungsquellen wird der Überlagerungssatz angewendet. Folgendes ist zu beachten:

a) Die jeweils nicht betrachtete Spannungsquelle wird offen gelassen.

b) Die Leistung an einem Widerstand im Netzwerk kann nicht bestimmt werden, indem man beide Einzelleistungen P_1 und P_2 addiert.

c) Es werden immer zwei Quellen gleichzeitig betrachtet.

3.5 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung ist

a) genau gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

b) im Allgemeinen nicht gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

c) immer doppelt so groß wie die umgesetzte Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

3.6 Der Effektivwert U einer beliebigen aber T-periodischen Spannung u(t) berechnet sich zu:

a) $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$

b) $U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T u^2(t) \cdot dt}$

c) $U = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T u(t) \cdot dt$

3.7 Bei einem gedämpften Reihenschwingkreis (Reihenschaltung von R, C, L) wird der Eingangsstrom I in Resonanz ($f = f_r$)

a) minimal.

b) maximal.

c) imaginär.

3.8 In welchem Bereich des Kennlinienfeldes wird ein n-Kanal MOSFET betrieben, wenn er in einer Verstärkerschaltung verwendet wird?

a) Sperrbereich

b) Ohmscher Bereich

c) Abschnürbereich

3.9 Welche Aussage bezüglich einer Kapazität C stimmt?

a) Der Kondensatorstrom kann nicht springen.

b) Die Spannung am Kondensator kann nicht springen.

c) Weder Strom noch Spannung können springen.

3.10 Die Impedanz eines Serienschwingkreises beträgt:

a) $\underline{Z} = R + j \cdot (\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C})$

b) $\underline{Z} = R + j \cdot (X_L - \frac{1}{X_C})$

c) $\underline{Z} = R + j \cdot (\omega \cdot L + \frac{1}{\omega \cdot C})$

3.11 Das elektrische Ersatzschaltbild eines Bipolartransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Stromquelle.

c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

3.12 Der typische Spannungsabfall in Durchlassrichtung beträgt an einer Siliziumdiode

a) immer genau 1 V.

b) ungefähr 0,7 V.

c) ungefähr 0,3 V.

3.13 Als Ankerrückwirkung bei der Gleichstrommaschine wird

a) das durch die Ankerströme verursachte Bremsdrehmoment bezeichnet.

b) die Verzerrung des Hauptmagnetfelds durch das Ankerquerfeld bezeichnet.

c) die Geräuschentwicklung in der Maschine durch die Kohlebürsten am Anker bezeichnet.

3.14 Das elektrische Ersatzschaltbild eines Feldeffekttransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.
b) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Stromquelle.
c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

3.15 Eine Schaltung mit einem idealen Operationsverstärker ohne Rückkopplung

a) wird den Operationsverstärker beschädigen.
b) wird als Komparator-Schaltung bezeichnet.
c) wird am Ausgang des Operationsverstärkers immer eine Spannung von exakt 0 V liefern.

3.16 Welche der Aussagen ist richtig?

a) Bei der Sternschaltung ist der Leiterstrom gleich dem Strangstrom.
b) Bei der Sternschaltung ist die Leiterspannung gleich der Strangspannung.
c) Bei der Sternschaltung ist der Strom im Neutralleiter immer gleich dem Strangstrom.

3.17 Durch die Erhöhung des Erregerstromes I_F einer fremderregten Gleichstrommaschine wird

a) der Fluss ϕ im Stator vergrößert.
b) die Leerlaufdrehzahl n_0 des Motors erhöht.
c) der Fluss ϕ im Stator verkleinert.

3.18 Eine Spannung wird induziert, wenn

a) eine ruhende Leiterschleife von einem elektrischen Wechselfeld durchsetzt wird.
b) sich eine ruhende Leiterschleife in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet.
c) eine Leiterschleife von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt wird.

3.19 Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine steigt, wenn

a) die Ankerspannung durch einen Ankervorwiderstand vermindert wird
b) der Erregerstrom durch einen Erregervorwiderstand vermindert wird
c) der Erregerstrom durch Erhöhung der Erregerspannung vergrößert wird

3.20 Wie kann die Leerlaufdrehzahl von Asynchonmotoren am Netz beeinflusst werden?

a) Durch die Veränderung der Polpaarzahl p.
b) Durch die Veränderung der Höhe der Netzspannung.
c) Durch die Erhöhung des Kippdrehmomentes.

Universität Stuttgart

Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe

Abt. Elektrische Energiewandlung
Prof. Dr.-Ing. N. Parspour

Bitte in Blockschrift ausfüllen. 19.03.2009

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- In der Vorlesung und/oder im Seminar abgeleitete Beziehungen für bekannte Schaltungen dürfen ohne erneute Herleitung verwendet werden.
- Kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.

Aufgabe 1 Grundgesetze, Netzwerkanalyse, Wechselstrom

Gegeben ist die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung. Sie besteht aus zwei identischen Glühlampen G1 und G2, die jeweils mit in Reihe geschalteter ohmsch-induktiver bzw. ohmsch-kapazitiver Impedanz an der Wechselspannungsquelle $\underline{U}$ mit der Frequenz f betrieben werden. Die Glühlampen zeigen rein ohmsches Verhalten und werden in ihrem Nennpunkt betrieben. Die Schaltung soll nachfolgend nun so dimensioniert werden, dass im einen Zweig die Spannung $\underline{U}_{G1}$ an der Glühlampe G1 der Spannung $\underline{U}$ um 45° nacheilt und im anderen Zweig die Spannung $\underline{U}_{G2}$ an der Glühlampe G2 der Spannung $\underline{U}$ um 45° voreilt.

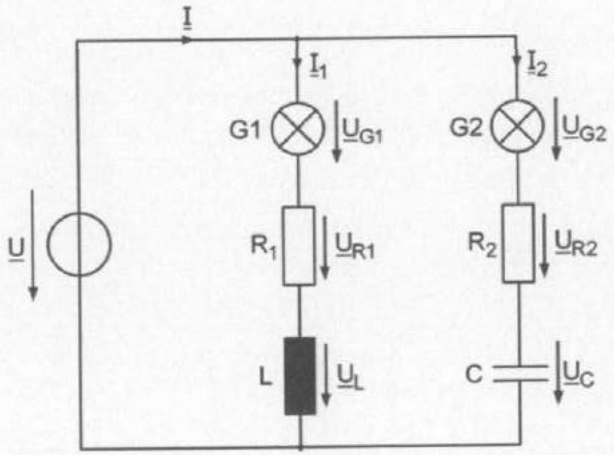


Abbildung 1-1: Wechselstrom-Schaltung mit zwei Glühlampen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle

Spannungseffektivwert	$U = 230\,V$
Frequenz	$f = 50\,Hz$

Glühlampen G1 und G2

Nennspannung	$U_{G1} = U_{G2} = 120\,V$
Nennleistung	$P_{G1} = P_{G2} = 60\,W$

Verhalten:

Die Glühlampen verhalten sich wie ohmsche Widerstände mit R_{G1} und R_{G2} (Lampenwiderstände im Nennbetrieb der Lampen). Es gilt $R_{G1} = R_{G2}$.

Fragen:

1.1 Aufstellung des Gleichungssystems

Aus wie vielen Knoten k und Zweigen z besteht das elektrische Netzwerk?

Wie viele unabhängige Gleichungen n benötigen Sie zur Berechnung der unbekannten Größen? Stellen Sie die entsprechenden Gleichungen auf.

1.2 Zeigerdiagramm

Zeichnen Sie ein nicht maßstäbliches aber winkeltreues Zeigerdiagramm für den Zweig mit der Glühlampe G1.

Zeichnen Sie ein nicht maßstäbliches aber winkeltreues Zeigerdiagramm für den Zweig mit der Glühlampe G2.

Kombinieren Sie die beiden Zeigerdiagramme zum nicht maßstäblichen aber winkeltreuen Zeigerdiagramm der gesamten Schaltung.

Hinweis: Beachten Sie, dass im einen Zweig die Spannung $\underline{U}_{G1}$ an der Glühlampe G1 der Spannung $\underline{U}$ um 45° nacheilen und im anderen Zweig die Spannung $\underline{U}_{G2}$ an der Glühlampe G2 der Spannung $\underline{U}$ um 45° voreilen soll.

1.3 Effektivwerte

Wie groß sind die Effektivwerte (Beträge) der Spannungen $\underline{U}_{G1} + \underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{G2} + \underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_L$ und $\underline{U}_C$?

Wie groß sind die Effektivwerte I_1 und I_2 der Lampenströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$?

1.4 Bestimmung der Bauelemente

Wie groß sind die ohmschen Widerstände R_{G1} und R_{G2} der beiden Lampen im Betrieb?

Bestimmen Sie den Wert der Induktivität L in mH und den Wert der Kapazität C in µF. Wie groß müssen die ohmschen Widerstände R_1 und R_2 gewählt werden?

1.5 Impedanz und Leistung

Bestimmen Sie die Impedanz $\underline{Z}_{ges}$ der gesamten Schaltung. Welche Scheinleistung S nimmt die Schaltung auf? Bestimmen Sie die in der Schaltung umgesetzte Wirkleistung P. Wie groß ist die in der Induktivität L „umgesetzte" Blindleistung Q_L und die in der Kapazität C „umgesetzte" Blindleistung Q_C?

Wirkt die gesamte Schaltung demnach ohmsch, induktiv oder kapazitiv (kurze Begründung)?

Aufgabe 2: Gleichstrommaschine

Eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) in einem Akku-Elektrowerkzeug soll über eine Leistungselektronik (LE) angesteuert werden. Abbildung 2-1 zeigt die prinzipielle Anordnung des Antriebsstrangs.

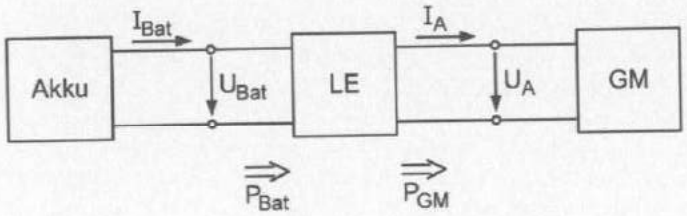


Abbildung 2-1: Antrieb eines Akku-Elektrowerkzeugs

Die Leistungselektronik arbeitet verlustfrei, d. h. die aufgenommene Leistung P_{Bat} und die abgegebene Leistung P_{GM} sind gleich groß ($P_{Bat} = P_{GM}$). Über den Bedienknopf des Werkzeugs kann die Ankerspannung U_A unabhängig von der Akkuspannung U_{Bat} eingestellt werden.

Während der Entwicklung wird für den Akku folgende Kennlinie gemessen:

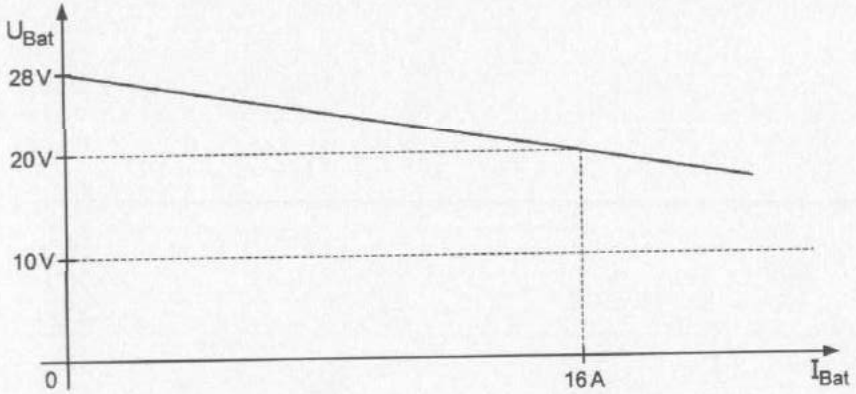


Abbildung 2-2: Kennlinie des Akkus

Von der GM sind folgende Daten bekannt:

Nenndrehzahl	$n_N = 2000\ min^{-1}$
Nennleistung	$P_N = 150\ W$
Nenn-Ankerspannung	$U_{AN} = 24\ V$
Nenn-Ankerstrom	$I_{AN} = 8\ A$

Die GM soll mit Ausnahme der ohmschen Ankerverluste als verlustfrei angenommen werden.

Fragen:

2.1 Ersatzschaltbild des Akkus

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Akkus als reale Spannungsquelle und bestimmen Sie die Leerlaufspannung U_0 und den Innenwiderstand R_i.

Hinweis: Sollten sie Frage 2.1 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $U_0 = 27\,V$ und $R_i = 375\,m\Omega$ weiterarbeiten.

2.2 Klemmenspannung des Akkus

Wie groß ist die Ausgangsspannung U_{Bat} des Akkus in Abhängigkeit des Ausgangsstroms I_{Bat}? Bestimmen Sie die Ausgangsleistung P_{Bat} des Akkus und die im Innenwiderstand R_i umgesetzte Verlustleistung $P_{V,Bat}$ in Abhängigkeit des Ausgangsstroms I_{Bat}.

Hinweis: Sollten sie Frage 2.2 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $P_{Bat} = 27{,}5\,W \cdot \frac{I_{Bat}}{A} - 0{,}4375\,W \cdot \left(\frac{I_{Bat}}{A}\right)^2$ *und*

$P_{V,Bat} = 0{,}4375\,W \cdot \left(\frac{I_{Bat}}{A}\right)^2$ *weiterarbeiten.*

2.3 Ersatzschaltbild der Gleichstrommaschine

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild der Gleichstrommaschine mit dem Ankerwiderstand R_A, der Ankerinduktivität L_A und der induzierten Spannung U_i.

2.4 Nennwerte der Gleichstrommaschine

Berechnen Sie das abgegebene Drehmoment M_N und den Wirkungsgrad η_{MN} der GM im Nennbetrieb. Wie groß ist der Ankerwiderstand R_A? Bestimmen Sie die induzierte Spannung U_{iN} im Nennbetrieb.

Hinweis: Sollten Sie Frage 2.4 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $M_N = 735\ mNm, \eta_{MN} = 80,2\ \%, R_A = 0,59\ \Omega$ und $U_{iN} = 19,2\ V$ weiterarbeiten.

Die GM wird während der Arbeit mit dem Akku-Elektrowerkzeug bei einer Drehzahl von $n_1 = 1500\ min^{-1}$ mit einem Drehmoment von $M_1 = 500\ mNm$ belastet.

2.5 Betrieb unter Last

Bestimmen Sie für diesen Arbeitspunkt die induzierte Spannung U_{i1}, den Ankerstrom I_{A1} und die Ankerspannung U_{A1}. Welche elektrische Leistung P_{el} nimmt die GM in diesem Arbeitspunkt auf? Bestimmen Sie die insgesamt im Akku-Elektrowerkzeug auftretenden Verluste P_{V1}.

Aufgabe 3:

Die Biegebelastung eines Stahlträgers wird mit Dehnungsmessstreifen gemessen. Für die vorgegebenen Dehnungsmessstreifen soll ein Messverstärker dimensioniert werden. Abbildung 3-1 zeigt die vollständige Schaltung aus Dehnungsmessstreifen und Messverstärker. Es sind insgesamt 4 einzelne Dehnungsmessstreifen in Brückenschaltung angeordnet. Sie sind so angeordnet, dass zwei von ihnen bei Biegebelastung gestreckt (R_1 und R_3) und die beiden anderen gestaucht (R_2 und R_4) werden. Alle vier Dehnungsmessstreifen, R_1, R_2, R_3 und R_4, haben jeweils die gleichen Abmessungen und den gleichen Nenn-Widerstand von 1 kΩ, wenn sie nicht gestreckt oder gestaucht werden. Der exakte Widerstand $R(\varepsilon)$ der vier gleichen Dehnungsmessstreifen ist abhängig von der relativen Längenänderung

$$\varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell}.$$

Die Biegebelastung des Stahlträgers ändert sich so langsam, dass alle elektrischen Größen als Gleich-Größen betrachtet werden können.

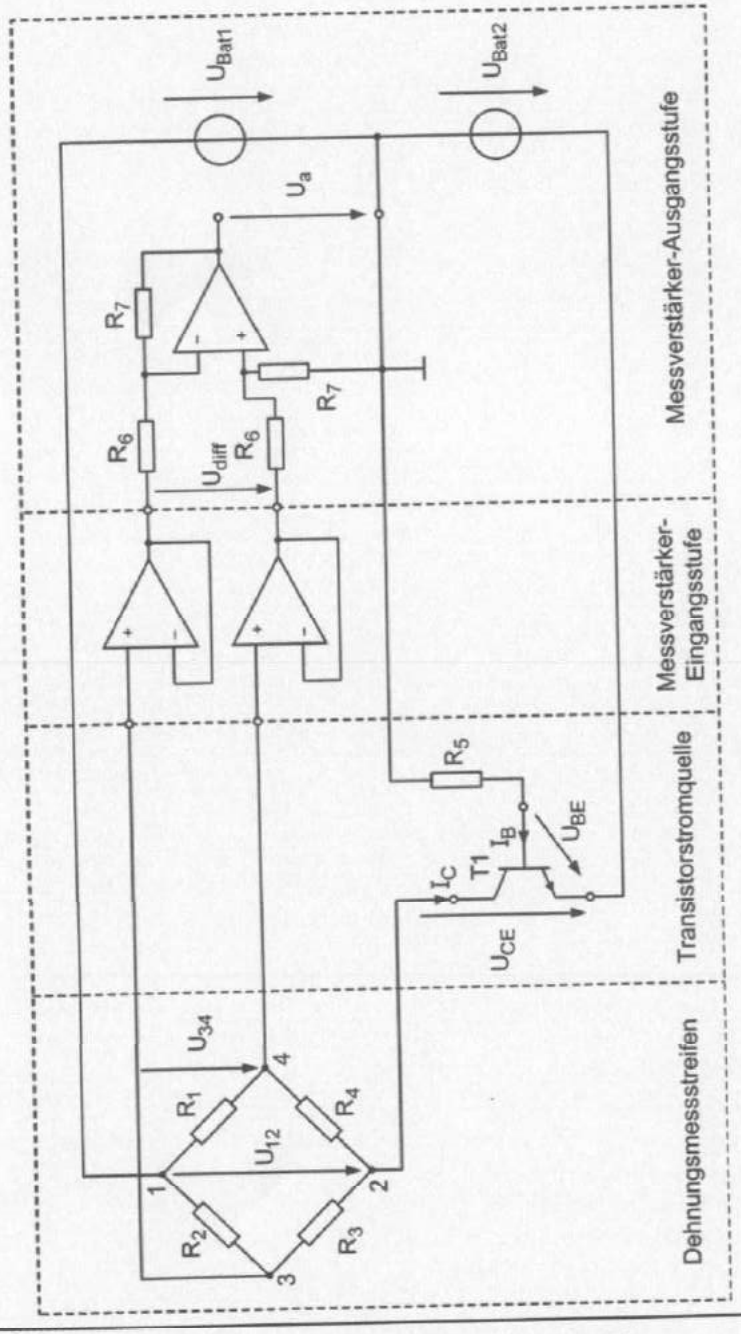


Abbildung 3-1: Dehnungsmessstreifen mit Messverstärker und Transistor für die Gleichstromversorgung

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Versorgungsspannungen $U_{Bat1} = U_{Bat2} = 15\,V$

Widerstände der vier Dehnungsmessstreifen

$$R_1(\varepsilon) = R_3(\varepsilon) = 1k\Omega \cdot (1 + 100 \cdot \varepsilon_1)$$
$$R_2(\varepsilon) = R_4(\varepsilon) = 1k\Omega \cdot (1 + 100 \cdot \varepsilon_2)$$

Relative Längenänderungen der Dehnungsmessstreifen bei maximal zulässiger Biegebelastung $\varepsilon_1 = +0{,}02\,\%$

Abhängigkeit zwischen den relativen Längenänderungen $\varepsilon_2 = -\varepsilon_1$

Transistor T1:

Stromverstärkungen $B = 100$

Basis-Emitter-Widerstand $R_{BE} = 500\,\Omega$

Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Diode $U_{BE0} = 0{,}75\,V$

Kollektor-Emitter-Widerstand $R_{CE} = 3k\Omega$

Arbeitspunkt (AP) $I_{C(AP)} = 15\,mA$, $U_{CE(AP)} = 15\,V$

Messverstärker-Schaltungen:

Widerstände $R_6 = 1k\Omega$

Sämtliche Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.

Fragen:

Zunächst wird der Schaltungsteil „Dehnungsmessstreifen" betrachtet.

3.1 Betrachtung der Dehnungsmessstreifen

Ermitteln Sie zuerst den auf die Klemmen 1 und 2 bezogenen Gesamtwiderstand R_{ges} der Brückenschaltung aus den vier Dehnungsmessstreifen R_1, R_2, R_3, R_4.

Die Brückenschaltung aus den Dehnungsmesstreifen soll nach Vorgabe des Herstellers mit einem konstanten Strom von $I_C = 15\,mA$ betrieben werden.

Wie groß ist der Spannungsabfall U_{12} bei einem Betrieb mit $I_C = 15\,mA$?

Hinweis: Sollten Sie Frage 3.1 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $U_{12} = 13{,}5\,V$ und $R_{ges} = 900\,\Omega$ weiterarbeiten.

3.2 Belasteter Stahlträger

Bestimmen Sie die Spannung U_{34} zwischen den Dehnungsmessstreifen bei maximal zulässiger Biegebelastung F_{max}.

Nun werden die Schaltungsteile „Dehnungsmessstreifen" und „Transistorstromquelle" gemeinsam betrachtet.

3.3 Gleichstrom-Ersatzschaltbild

Erstellen Sie das vollständige Transistor-Gleichstrom-Ersatzschaltbild der Schaltungsteile „Dehnungsmessstreifen" und „Transistor-Stromquelle".

Das Gleichstrom-Ersatzschaltbild soll alle relevanten Spannungsquellen sowie die vier Widerstände der Dehnungsmessstreifen enthalten. Tragen sie die Spannung U_{12} ein.

3.4 Arbeitspunkteinstellung

Bestimmen Sie den Basisvorwiderstand R_5 so, dass sich der vorgegebene Arbeitspunkt (AP) bei $I_C = 15\,mA$ einstellt.

Weiter wird der Schaltungsteil „Messverstärker-Eingangsstufe" betrachtet.

3.5 Messverstärker-Eingangsstufe

Welche OP-Grundschaltung wird im Schaltungsteil Messverstärker-Eingangsstufe verwendet?

Wie groß ist die Spannung U_{diff} am Ausgang der Messverstärker-Eingangsstufe in Abhängigkeit von der Spannung U_{34}?

Hinweis: Sollten Sie Frage 3.5 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit $U_{diff}\,(F_{max}) = 0{,}5\,V$ weiterarbeiten.

Es wird der Schaltungsteil „Messverstärker-Ausgangsstufe" betrachtet.

3.6 Messverstärker-Ausgangsstufe

Um was für eine OP-Schaltung handelt es sich beim Schaltungsteil Messverstärker-Ausgangsstufe?

Berechnen Sie die Widerstände R_7 so, dass sich bei der maximal zulässigen Biegebelastung F_{max} eine Ausgangsspannung von $U_a = -10\,V$ einstellt.

Für Aufgabe 4 gilt:

- Pro Frage ist genau *eine* Antwort richtig.
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.

  Richtige Antwort: 1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt

Aufgabe 4:

Block 1: Grundlagen

4.1 Die elektrische Stromstärke I ist definiert als

a) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ und hat die Einheit Ampere.

b) $I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$ und hat die Einheit Ampere/Sekunde.

c) $I = U \cdot R$ und hat die Einheit Ampere.

4.2 Der Effektivwert I des Stromes $i(t) = \hat{i} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi_i)$ berechnet sich zu:

a) $I = \hat{i} \cdot \sin(\varphi_i)$

b) $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{2}}$

c) $I = \frac{\hat{i}}{\sqrt{3}}$

4.3 Bei einer realen Spannungsquelle

a) ist die Klemmenspannung unabhängig vom Klemmenstrom immer konstant.

b) sinkt die Klemmenspannung mit steigendem Klemmenstrom.

c) sinkt die Klemmenspannung mit abnehmendem Klemmenstrom.

4.4 Ein sinusförmiger elektrischer Strom durch eine Induktivität eilt der Spannung an der Induktivität um

a) $\frac{\pi}{2}$ vor.

b) $\frac{\pi}{4}$ vor.

c) $\frac{\pi}{2}$ nach.

4.5 An einem Kondensator mit der Kapazität C gilt:

a) $i_C(t) = C \cdot u_C(t)$

b) $u_C(t) = C \cdot \frac{di_C(t)}{dt}$

c) $i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt}$

4.6 In einem RLC-Reihenschwingkreis ist bei Resonanz

a) sowohl der Effektivwert des Stroms als auch der Scheinwiderstand der Schaltung maximal.

b) der Effektivwert der Spannung an dem Widerstand R maximal und der Scheinwiderstand der Schaltung minimal.

c) sowohl der Effektivwert des Stroms als auch der Scheinwiderstand der Schaltung minimal.

4.7 In einer Wechselstromschaltung gelten:

a) Wirkleistung $P = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$ und Scheinleistung $S = I \cdot U \cdot \cos(\varphi)$

b) Scheinleistung $S = I \cdot U$ und Blindleistung $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$

c) Blindleistung $Q = U \cdot I$ und Scheinleistung $S = I \cdot U \cdot \sin(\varphi)$

4.8 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet.

Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung ist

a) genau gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

b) im Allgemeinen nicht gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

c) immer doppelt so groß wie die umgesetzte Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

Block 2: Halbleitertechnik

4.9 Die Energiedifferenz zwischen dem Leitungsband und dem Valenzband ist bei den

a) Halbleitern nicht vorhanden.

b) Nichtleitern sehr groß.

c) Leitern sehr groß.

4.10 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

a) im gesamten Bereich der Strom-Spannungskennlinie der Diode.

b) nur für spezielle Diodentypen.

c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.11 Welche Aussage stimmt?

a) Eigenleitung ist die Fähigkeit des reinen Halbleiterkristalls durch Energiezuführung leitend zu werden.

b) Durch den Einbau von Fremdatomen der 5. und 3. Hauptgruppe sinkt die Leitfähigkeit des Silizium-Kristalls.

c) Der Einbau von Akzeptoren (Atome der 3. Hauptgruppe) führt beim Silizium-Kristall zu einem Elektronenüberschuss.

4.12 Sowohl das Gleichstrom- als auch das Wechselstrom-Ersatzschaltbild eines Bipolartransistors enthält

a) eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) eine stromgesteuerte Stromquelle.

c) eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

4.13 Ein Komparator ist

a) ein Operationsverstärker ohne Gegenkopplung und wird zur Multiplikation von zwei Spannungen benutzt.

b) ein Operationsverstärker mit Gegenkopplung und wird als Inverter eingesetzt.

c) ein Operationsverstärker ohne Gegenkopplung und wird zum Vergleich von zwei Spannungen benutzt.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker ist durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

a) Der Eingangswiderstand ist unendlich klein, die Open-Loop-Verstärkung ist unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastunabhängig.

b) Der Eingangswiderstand ist unendlich klein, die Open-Loop-Verstärkung ist unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastabhängig.

c) Der Eingangswiderstand und die Open-Loop-Verstärkung sind unendlich groß und die Ausgangsspannung ist lastunabhängig.

Block 3: Elektrische Maschinen

4.15 In einer Leiterschleife wird eine Spannung induziert, wenn sich die Leiterschleife

a) in einem zeitlich wechselnden Magnetfeld befindet und ruht.

b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet und ruht.

c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Ein stabiler Arbeitspunkt in einem Antriebssystem

a) ist gegeben, wenn von dem Arbeitspunkt ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das Lastmoment und in Richtung der niedrigeren Drehzahlen das elektrische Drehmoment überwiegt.

b) ist gegeben, wenn von dem Arbeitspunkt ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das elektrische Drehmoment und in Richtung der niedrigeren Drehzahlen das Lastmoment überwiegt.

c) hängt nicht von den Steigungen der Last- bzw. der Motorkennlinie ab.

4.17 Die ideale Leerlaufdrehzahl der fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

a) der Strom I_F in der Feldwicklung sinkt.

b) der Stom I_F in der Feldwicklung steigt.

c) Ankervorwiderstände zugeschaltet werden.

4.18 Als Ankerrückwirkung bei der Gleichstrommaschine wird

a) das durch die Ankerströme verursachte Bremsdrehmoment bezeichnet.

b) die Verzerrung des Hauptmagnetfelds durch das Ankerquerfeld bezeichnet.

c) die Geräuschentwicklung in der Maschine durch die Kohlebürsten am Anker bezeichnet.

4.19 Die Leiterspannung an einer Synchronmaschine in Sternschaltung beträgt 400 V. Welche Aussage stimmt?

a) Die Strangspannung beträgt 400 V.

b) Die Strangspannung beträgt 230 V.

c) Die Strangspannung ist abhängig von der Drehzahl.

4.20 Die synchrone Drehzahl n_{sync} des Drehfelds einer zweipoligen Asynchronmaschine, die am 50-Hz-Netz betrieben wird, beträgt:

a) $n_{sync} = 3000\ min^{-1}$

b) $n_{sync} = 1500\ min^{-1}$

c) $n_{sync} = 750\ min^{-1}$

Universität Stuttgart

Institut für Leistungselektronik und Elektrische Antriebe
ILEA
Abt. Elektrische Energiewandlung
Prof. Dr.-Ing. N. Parspour

Bitte in Blockschrift ausfüllen. 24.03.2011

Name, Vorname	Studienrichtung	Matrikelnummer

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.

Aufgabe 1: Grundgesetze, Netzwerkanalyse, Wechselstrom

In Abbildung 1-1 ist eine an sinusförmiger Wechselspannung betriebene Schaltung (Brückenschaltung) für Messzwecke dargestellt.

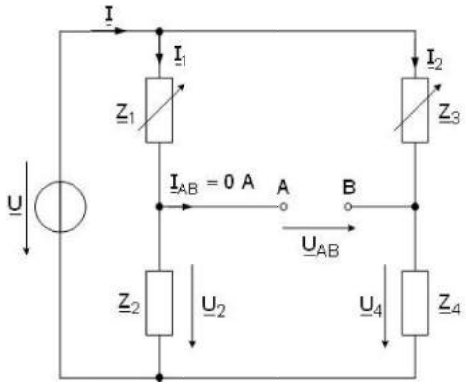


Abbildung 1-1: Brückenschaltung für Messzwecke

Durch Verändern der in Abbildung 1-1 allgemein dargestellten Impedanzen $\underline{Z}_1$ und $\underline{Z}_3$ kann die unbekannte Impedanz $\underline{Z}_4$ bestimmt werden, indem die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig A-B zu Null gebracht wird.

In einem ersten Schritt soll die Bedingung für $\underline{U}_{AB} = 0\ \text{V}$ (Abgleichbedingung) anhand der Schaltung in Abbildung 1-1 hergeleitet werden. In einem zweiten Schritt soll anhand der Schaltung in Abbildung 1-2 die Messung eines unbekannten realen (verlustbehafteten) Kondensators (im elektrischen Ersatzschaltbild in Abbildung 1-2 als Reihenschaltung des Widerstandes R_x und der Kapazität C_x dargestellt) untersucht werden.

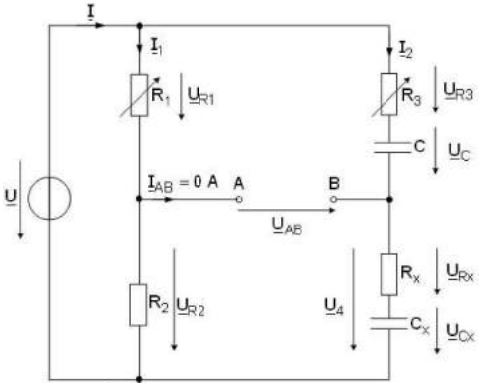


Abbildung 1-2:

Brückenschaltung zur Messung der unbekannten Kapazität C_x und des unbekannten Widerstandes R_x eines Kondensators

<u>Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:</u>

Eingangsspannung:	$\underline{U} = 25\ \text{V} \cdot e^{j \cdot 0°}$
Frequenz:	$f = 50\ \text{Hz}$
Widerstand:	$R_2 = 3\ \text{k}\Omega$,
Kapazität:	$C = 1\ \mu\text{F}$

Im Brückenzweig A-B fließt kein Strom, d.h. es gilt stets $\underline{I}_{AB} = 0\ \text{A}$.

Fragen:

Zunächst wird die Schaltung in Abbildung 1-1 betrachtet.

1.1 Ströme, Spannungen, Abgleichbedingung – (6 Punkte)

Berechnen Sie die beiden Zweigströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$, sowie die Spannungen $\underline{U}_2$, $\underline{U}_4$ und $\underline{U}_{AB}$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von $\underline{U}$, $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ und $\underline{Z}_4$. Geben Sie in Abhängigkeit von $\underline{Z}_1$, $\underline{Z}_2$, $\underline{Z}_3$ und $\underline{Z}_4$ die Bedingung an, unter der die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig gleich Null wird (Abgleichbedingung).

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit der Abgleichbedingung $\frac{\underline{Z}_1}{\underline{Z}_2} = \frac{\underline{Z}_3}{\underline{Z}_4}$ *weiter.*

Im Folgenden wird die Schaltung in Abbildung 1-2 betrachtet.

1.2 Zeigerdiagramm – (6 Punkte)

Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall der nicht abgeglichenen Brücke, d.h. für $\underline{U}_{AB} \neq 0\,\text{V}$, welches alle in Abbildung 1-2 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragene Ströme und Spannungen enthält.

Hinweis: Verwenden Sie für die Zeichnung des Zeigerdiagramms ein Lineal! Freihandkonstruierte Zeigerdiagramme werden mit 0 Punkten bewertet. Benutzen Sie für die Darstellung ein Blatt DIN A4 und stellen Sie das Zeigerdiagramm in ausreichender Größe dar.

Gehen Sie bei der Konstruktion des Zeigerdiagramms in folgender Reihenfolge vor: $\underline{I}_1, \underline{U}_{R1}, \underline{U}_{R2}, \underline{U}, \underline{I}_2, \underline{U}_{R3}, \underline{U}_C, \underline{U}_{Rx}, \underline{U}_{Cx}, \underline{U}_{AB}$ *und* $\underline{I}$.

1.3 Bestimmung der Ersatzschaltbildgrößen des unbekannten Kondensators (R_x und C_x) – (5 Punkte)

Bestimmen Sie die beiden Beziehungen, mit welchen der unbekannte Widerstand R_x und die unbekannte Kapazität C_x aus den gegebenen Größen R_1, R_2, R_3 und C berechnet werden können.

Wie groß sind R_x und C_x, wenn die Brücke bei $R_1 = 2\,\text{k}\Omega$ und $R_3 = 1\,\text{k}\Omega$ abgeglichen ($\underline{U}_{AB} = 0\,\text{V}$) ist?

Hinweis: Gehen Sie von der Abgleichbedingung aus Frage 1.1 aus. Die beiden gesuchten Beziehungen erhalten Sie aus der entstandenen Gleichung, indem Sie einen Vergleich der Real- und der Imaginärteile machen.

1.4 Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig – (3 Punkte)

Bei den Werten $R_1 = 2\,\text{k}\Omega$, $R_3 = 1\,\text{k}\Omega$, $R_x = 1{,}5\,\text{k}\Omega$ und $C_x = 0{,}5\,\mu\text{F}$ betragen die Ströme $\underline{I}_1 = 5\,\text{mA} \cdot e^{j\cdot 0°}$ und $\underline{I}_2 = 2{,}37\,\text{mA} \cdot e^{j\cdot 64{,}77°}$.

Zeigen Sie, dass die Brücke bei diesen Einstellungen von R_1 und R_3 nicht abgeglichen ist.

Aufgabe 2: Fremderregte Gleichstrommaschine als Lüfterantrieb

Eine fremderregte Gleichstrommaschine soll als Antrieb für einen Lüfter verwendet werden. Der Motor wird von einer Gleichspannungsquelle mit der konstanten Spannung $U_A = U_{AN}$ versorgt. In Abbildung 2-1 ist das Übersichtsschaltbild des Antriebs und des angekuppelten Lüfters dargestellt.

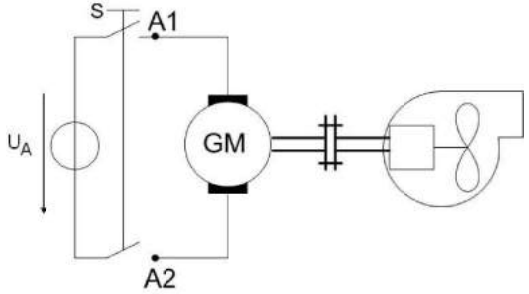


Abbildung 2-1: Übersichtsschaltbild der Gleichstrommaschine und des Lüfters

In Abbildung 2-2 ist das elektrische Ersatzschaltbild des Antriebs (fremderregte Gleichstrommaschine) mit den entsprechenden Zählpfeilen und Bezeichnern dargestellt.

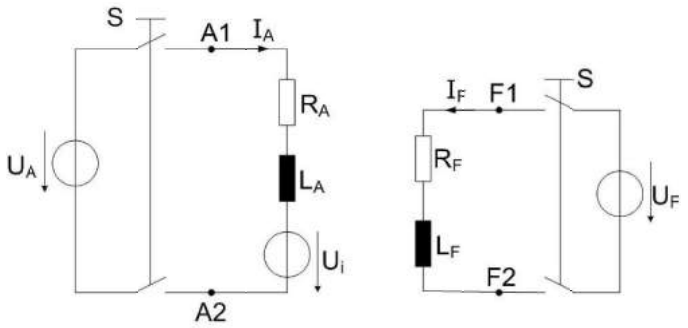


Abbildung 2-2: Elektrisches Ersatzschaltbild der Gleichstrommaschine mit Zählpfeilen und Bezeichnern

Es dürfen stets folgende Annahmen bzw. Vernachlässigungen zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Es sollen lediglich die Verluste im Ankerwiderstand betrachtet werden.
3. Die Gleichstrommaschine wird stets mit Nennfluss betrieben.

Folgende Daten sind gegeben:

Gleichstrommaschine

Ankernennspannung:	$U_{AN} = 220\ \text{V}$
Ankernennstrom:	$I_{AN} = 100\ \text{A}$
Nennleistung:	$P_N = 20\ \text{kW}$
Nenndrehzahl:	$n_N = 1450\ \text{min}^{-1}$

Lüfter

Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie: $M_L(n) = k \cdot n^2$ mit $k = 0{,}3\ \text{Nm} \cdot \text{s}^2$

Fragen:

Zunächst wird nur die Gleichstrommaschine (ohne Lüfter) betrachtet.

2.1 Nenndrehmoment, Ankerverluste, Ankerwiderstand und Einschaltstrom der Gleichstrommaschine – (3 Punkte)

Berechnen Sie das Nenndrehmoment M_N, die Ankerverluste $P_{VA,N}$ im Nennbetrieb, den Ankerwiderstand R_A und den Einschaltstrom $I_{A,An}$ der fremderregten Gleichstrommaschine.

Ist dieser Einschaltstrom zulässig (Begründung)?

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_A = 0{,}2\ \Omega$ *weiter.*

2.2 Induzierte Spannung und Leerlaufdrehzahl

Wie groß ist die induzierte Spannung $U_i = U_{iN}$, wenn die Gleichstrommaschine im Nennpunkt betrieben wird? Wie groß ist die Nennleerlaufdrehzahl n_0 der Gleichstrommaschine in min^{-1} und das Produkt aus Maschinenkonstante c und Nennfluss Φ_N?

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $c \cdot \Phi_N = 1{,}32\ \text{Vs}$ *und* $n_0 = 1595\ \text{min}^{-1}$ *weiter.*

2.3 Drehmoment in Abhängigkeit von der Drehzahl

Für die Drehzahl-Drehmoment-Kennlinie der Gleichstrommaschine gilt:

$$n(M_{GM}) = n_0 - \frac{R_A}{2 \cdot \pi \cdot (c \cdot \Phi_N)^2} \cdot M_{GM}.$$

Bestimmen Sie daraus die Abhängigkeit des Drehmomentes M_{GM} von der Drehzahl n des Gleichstrommotors und stellen Sie das Ergebnis in der Form $M_{GM}(n) = \frac{a - n}{b}$ dar.

Geben Sie die Werte der Konstanten a und b sowie deren Einheiten an (führen Sie Einheitenrechnungen durch).

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $M_{GM}(n) = \frac{26{,}58\ \frac{1}{\text{s}} - n}{0{,}018\ \frac{1}{\text{Ws}^2}}$ *weiter.*

Nun wird die Gleichstrommaschine zusammen mit dem Lüfter betrachtet, d.h. die Gleichstrommaschine treibt den Lüfter an.

2.4 Stationäre Drehzahl bei Betrieb des Lüfters

Welche stationäre Drehzahl n_{stat} in min^{-1} stellt sich ein, wenn die Gleichstrommaschine das Gebläse antreibt?

Hat der Ingenieur den Antrieb für den Lüfter im Dauerbetrieb richtig bemessen (Begründung)?

Hinweis: Im stationären Zustand gilt $M_{GM}(n_{stat}) = M_L(n_{stat})$.

Die Lösungsformel für die quadratische Gleichung $x^2 + p \cdot x + q = 0$

lautet: $x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$

Aufgabe 3: Diode, Operationsverstärker, Transistor

In einem Wärmeschrank soll die durch den Temperatursensor $R_1(\vartheta)$ erfasste Ist-Temperatur mit Hilfe eines Heizdrahtes R_L auf eine vorgegebene Soll-Temperatur eingestellt werden. Die Schaltung zur Temperaturregelung ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Sie kann vereinfacht in die folgenden 4 Teilschaltungen aufgeteilt werden:

1. In der Mess-Stufe wird die Ist-Temperatur mittels des temperaturabhängigen Widerstandes $R_1(\vartheta)$ erfasst und in das Spannungssignal U_{e1} umgewandelt.
2. Die Zenerdiodenstufe liefert eine Referenzspannung U_{e2}, welche der vorgegebenen Soll-Temperatur entspricht.
3. In der Verstärkerstufe mit dem Operationsverstärker (OP) wird die Differenz zwischen der Soll- und der Ist-Temperatur verstärkt.
4. In der Transistor-Endstufe wird der Heizdraht R_L durch den Transistor (npn-Bipolartransistor) angesteuert.

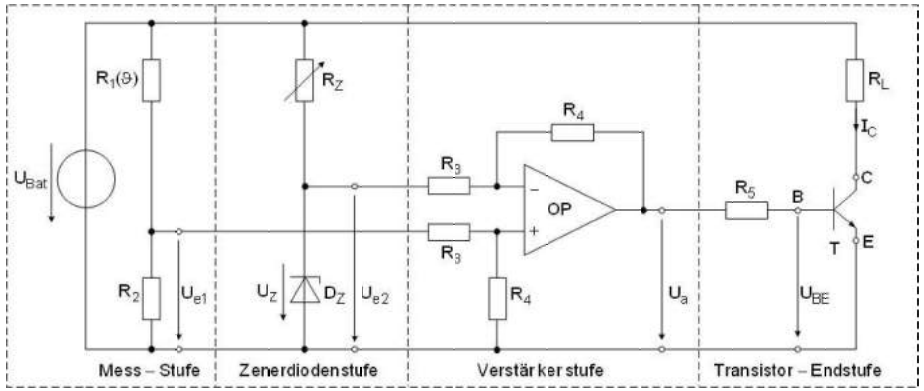


Abbildung 3-1: Schaltung zur Temperaturregelung eines Wärmeschrankes

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung $U_{Bat} = 12\ \text{V}$

Widerstände

$$R_1(\vartheta) = 100\ \Omega \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20°\text{C}}{100°\text{C}}\right)$$

$R_2 = 500\ \Omega$

$R_3 = 5\ \text{k}\Omega$

$R_4 = 10\ \text{k}\Omega$

$R_5 = 100\ \Omega$

$R_L = 10\ \Omega$

Zenerdiode

Durchbruchspannung der Zenerdiode $U_{Z0} = 9{,}9\ \text{V}$

Dynamischer Widerstand im Arbeitsbereich $R_{DZ} = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = 10\ \Omega$

Der Operationsverstärker (OP) darf als ideal angenommen werden.

Die Spannungsversorgung des OP ist in Abbildung 3-1 nicht eingezeichnet.

Transistor (npn-Bipolartransistor)

Gleichstromverstärkung	$B = 100$
Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Diode	$U_{BE0} \to 0\ \text{V}$
Basis-Emitter-Widerstand	$R_{BE} \to 0\ \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} \to \infty\ \Omega$

Fragen:

3.1 Mess-Stufe – (3 Punkte)

Wie groß sind die Werte des temperaturabhängigen Messwiderstandes $R_1(\vartheta)$ in Ohm bei den Temperaturen $\vartheta_1 = 20°C$ und $\vartheta_2 = -8{,}57°C$?

Geben Sie die Beziehung $U_{e1} = f\left(U_{Bat}, R_1(\vartheta), R_2\right)$ an.

Berechnen Sie bei den Temperaturen $\vartheta_1 = 20°C$ und $\vartheta_2 = -8{,}57°C$ die Werte der Spannung U_{e1} in Volt.

Hinweis: Wenn Sie Frage 3.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_1(20°C) = 100\,\Omega$, $R_1(-8{,}57°C) = 71{,}43\,\Omega$, $U_{e1}(20°C) = 10\,V$ *und* $U_{e1}(-8{,}57°C) = 10{,}5\,V$ *weiter.*

3.2 Zenerdiodenstufe – (4 Punkte)

Geben Sie die Beziehung $U_Z = U_{e2} = f(U_{Bat}, U_{Z0}, U_{DZ}, R_{DZ}, R_Z)$ an.

Auf welchen Wert muss R_Z eingestellt werden, sodass die Spannung $U_Z = U_{e2} = 10\,V$ beträgt?

3.3 Verstärkerstufe mit Operationsverstärker (OP) – (4 Punkte)

Welche Operationsverstärker-Grundschaltung wird bei diesem Schaltungsteil verwendet?

Geben Sie die Beziehung $U_a = f(U_{e1}, U_{e2}, R_3, R_4)$ an.

Wie groß ist die Ist-Temperatur, wenn die Spannung $U_a = 1\,V$ und die Spannung $U_Z = U_{e2} = 10V$ beträgt?

Nachfolgend soll nun der Schaltungsteil „Transistor-Endstufe“ betrachtet werden.

3.4 Gleichstromersatzschaltbild – (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“ und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Größen $U_a, U_{BE}, U_{BE0}, I_B, I_{C0}$ und I_C.

3.5 Betriebspunkt mit 10 W Heizleistung (Index BP1) – (4 Punkte)

Bestimmen Sie den Kollektorstrom $I_{C(BP1)}$, den Basisstrom $I_{B(BP1)}$ sowie die erforderliche Eingangsspannung $U_{a(BP1)}$, sodass in diesem Betriebspunkt die Heizleistung P_L des Heizdrahtes R_L gleich $P_L = 10\,W$ beträgt.

Für Aufgabe 4 gilt:

- Pro Frage ist genau *eine* Antwort richtig.
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
  Richtige Antwort: 1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt

Aufgabe 4:

Block 1 Grundlagen

4.1 Die elektrische Spannung zwischen zwei Punkten in einem elektrischen Feld ist

a) direkt proportional zur elektrischen Feldstärke und dem Abstand zwischen den Punkten.

b) unabhängig von der elektrischen Feldstärke.

c) umgekehrt proportional zur elektrischen Feldstärke und direkt proportional zum Abstand der Punkte.

4.2 Bei einer idealen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

a) abhängig vom Klemmenstrom.

b) unabhängig vom Klemmenstrom.

c) abhängig von der Art der Belastung.

4.3 Eine reale Spannungsquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch

a) die Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstandes.

b) die Reihenschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstandes.

c) die Reihenschaltung einer idealen Spannungsquelle und einer Kapazität.

4.4 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.

b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.

c) die Dielektrizitätszahl des Werkstoffes.

4.5 Wie wird die Blindleistung Q in einem Wechselstromkreis berechnet?

a) $Q = U \cdot I \cdot \sin(\varphi)$

b) $Q = U \cdot I \cdot \cos(\varphi)$

c) $Q = U \cdot I \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)$

4.6 In einer RL-Reihenschaltung

a) sind Strom und Spannung immer in Phase.

b) eilt der Strom, der durch die Schaltung fließt, der an der Schaltung angelegten Spannung nach.

c) eilt der Strom, der durch die Schaltung fließt, der an der Schaltung angelegten Spannung vor.

4.7 Der Effektivwert des Stroms in einer RLC-Reihenschaltung ist

a) bei der Resonanzfrequenz am niedrigsten.

b) bei der Resonanzfrequenz am höchsten.

c) unabhängig von der Frequenz.

4.8 Die Blindleistungsaufnahme einer RLC-Reihenschaltung bei Resonanz ist

a) am höchsten.

b) am niedrigsten.

c) gleich Null.

Block 2 Halbleitertechnik

4.9 Ein n-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.

b) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

c) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.10 Ein pn-Übergang wird leitend, wenn

a) die Breite der Sperrschicht zunimmt.

b) die Breite der Sperrschicht konstant bleibt.

c) die Breite der Sperrschicht abnimmt.

4.11 Bei einem Wechselstromverstärker in Emitter-Schaltung

a) ist die Ausgangsspannung identisch mit der Eingangsspannung.

b) wird die Eingangsspannung invertiert und deren Amplitude verstärkt.

c) wird die Eingangsspannung nicht invertiert aber deren Amplitude verstärkt.

4.12 Die Gleichstrombetrachtung eines Wechselstromverstärkers mit einem Bipolartransistor in Emitterschaltung dient

a) der Ermittlung des Arbeitspunkts.

b) der Bestimmung der Spannungsverstärkung.

c) der Bestimmung der Stromverstärkung.

4.13 Ein idealer Operationsverstärker hat

a) einen niedrigen Ausgangswiderstand und einen niedrigen Eingangswiderstand.

b) einen hohen Ausgangswiderstand und einen niedrigen Eingangswiderstand.

c) einen hohen Eingangswiderstand und einen niedrigen Ausgangswiderstand.

4.14 Ein Operationsverstärker

a) mit Rückkopplung kann als Komparator eingesetzt werden.

b) ohne Rückkopplung kann als Signalverstärker eingesetzt werden.

c) ohne Rückkopplung kann als Komparator eingesetzt werden.

Block 3 Elektrische Maschinen

4.15 Ein Motor

a) wandelt mechanische Energie in elektrische Energie um und hat den Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}}$.

b) wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um und hat den Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{mech}}{P_{el}}$.

c) wandelt elektrische Energie in mechanische Energie um und hat den Wirkungsgrad $\eta = \frac{P_{el}}{P_{mech}}$

4.16 Ein stabiler Arbeitspunkt (AP) in einem Antriebssystem

a) ist gegeben, wenn vom AP ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das elektrische Drehmoment und in Richtung der niedrigeren Drehzahlen das Lastmoment überwiegt.

b) ist gegeben, wenn vom AP ausgehend in Richtung der höheren Drehzahlen das Lastmoment und in Richtung der niedrigen Drehzahlen das elektrische Moment überwiegt.

c) hängt nicht von der Steigung der Last- bzw. der Motorkennlinie ab.

4.17 Der Anlaufstrom $I_{A,An}$ einer fremderregten Gleichstrommaschine

a) nimmt bei einer Erhöhung des magnetischen Flusses ab.

b) nimmt bei einer Reduzierung des magnetischen Flusses zu.

c) ist unabhängig vom magnetischen Fluss.

4.18 Die Leerlaufwinkelgeschwindigkeit einer fremderregten Gleichstrommaschine bei einer gleichbleibenden Ankerspannung erhöht sich,

a) wenn der magnetische Fluss in der Maschine erhöht wird.

b) wenn der magnetische Fluss in der Maschine reduziert wird.

c) wenn Vorwiderstände im Ankerkreis eingeschaltet werden.

4.19 Das Anlaufdrehmoment einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

a) der Ankerspannung U_A und dem Ankerwiderstand R_A.

b) der Ankerspannung U_A und der Drehzahl n.

c) dem Ankerstrom I_A und der Drehzahl n.

4.20 Die synchrone Drehzahl einer Asynchronmaschine hängt

a) von der Versorgungsfrequenz und der Polpaarzahl ab.

b) von der Versorgungsfrequenz und der Versorgungsspannung ab.

c) nur von der Polpaarzahl ab.

Universität Stuttgart

iew Institut für Elektrische Energiewandlung

Alte Prüfungen zu Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

Teilweise mit Lösungsvorschlägen zu den Prüfungen

Diese Sammlung enthält:

- Herbst 2013 bis Herbst 2011:
  Prüfungen sowie Lösungsvorschläge für die Rechenaufgaben.
  Teilweise kommentiert
- Diese Klausuren sind „nach dem alten Schema“, d.h. ohne Lösungsblätter

Hinweise:

- Alle Lösungen ohne Gewähr
  Sollten Sie Fehler entdecken, bitte eine email an eet@iew.uni-stuttgart.de
- Es wird fast immer nur ein Lösungsweg beschrieben.
  Oft gibt es auch noch alternative Lösungswege…
- Zu den Verständnisfragen werden KEINE Lösungen veröffentlicht.
  Diese Fragen sollten Sie alle (ggf. mit Hilfe des Skriptes und den sonstigen Vorlesungs- und Übungsmitschrieben) beantworten und damit nachvollziehen können.
  Ansonsten: Sprechstunden und/oder Betreutes Lernen nutzen
- Weitere Infos (Sprechstunden während der vorlesungsfreien Zeit, Betreutes Lernen, etc.) auch auf der Homepage www.iew.uni-stuttgart.de
- Bei Fragen rund um die Prüfung bitte nur die folgende E-Mail-Adresse nutzen: eet@iew.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

iew Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp,..)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

12.09.2013

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie **jede Aufgabe** auf einem **neuen Blatt**.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Bild 1.1 dargestellte Spannungsteilerschaltung, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1, R_2 und dem veränderbaren Kondensator C, wird an einer sinusförmigen Wechselspannung mit dem Effektivwert U_1 und der Frequenz f betrieben. Nachfolgend soll das Verhalten der Schaltung in Abhängigkeit von der Kapazität des Kondensators C berechnet werden.

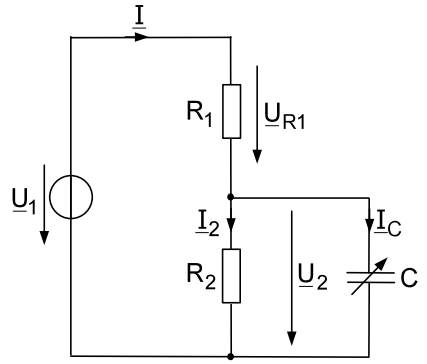


Bild 1.1: Ersatzschaltbild des Spannungsteilers

- Rechnen Sie allgemein (ohne Zahlenwerte) mit $\underline{U}_1 = U_1 \cdot e^{j0^\circ} = U_1$, R_1, R_2, C und der Kreisfrequenz ω (wobei $\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$ ist).
- Vereinfachen Sie sämtliche Ergebnisse soweit wie möglich!
- Ergebnisse müssen in der verlangten Form angegeben werden!

1.1 Impedanz und Spannungsverhältnis – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ der Parallelschaltung aus R_2 und C allgemein in Abhängigkeit von R_2, C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\underline{Z}_2(R_2, C, \omega) = \dfrac{a(R_2, C, \omega)}{1 + j \cdot b(R_2, C, \omega)}$ an, wobei a und b reelle Funktionen von R_2, C, ω sind.

- Berechnen Sie das Verhältnis $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ allgemein in Abhängigkeit von R_1, R_2, C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R_1, R_2, C, \omega) = \frac{1}{g(R_1,R_2, C, \omega) + j\cdot h(R_1,R_2, C, \omega)}$ an, wobei $g(R_1, R_2, C, \omega)$ und $h(R_1, R_2, C, \omega)$ reelle Funktionen sind.

1.2 Qualitatives Zeigerdiagramm – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung, welches alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthält. Zeichnen Sie zusätzlich den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ ein (von $\underline{U}_1$ nach $\underline{U}_2$).
- Erklären Sie anhand des Zeigerdiagrammes bzw. mit Hilfe der Längen der Zeiger, welchen minimalen und welchen maximalen Wert der Winkel φ_{12} aufweisen kann.

Im Folgenden soll nur noch der Sonderfall $R_1 = R_2 = R$ betrachtet werden.

Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis in Aufgabe 1.1) die Beziehung $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R, C, \omega) = \frac{1}{2 + j\cdot(\omega\cdot R\cdot C)}$ sowie für die Ableitung des Betrages nach der Kapazität die Beziehung $\frac{d}{dC}\left(\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega)\right) = \frac{-\omega^2\cdot R^2\cdot C}{\left[4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$.

1.3 Betrag des Spannungsverhältnisses – (7 Punkte)

- Berechnen Sie die Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1} = \left|\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right| = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|}$ des Spannungsverhältnisses allgemein in Abhängigkeit von R, C sowie ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) = \left[k(R, C, \omega)\right]^{-\frac{1}{2}}$ an, wobei $k(R, C, \omega)$ eine reelle Funktion ist.
- Berechnen Sie die Werte von $\frac{U_2}{U_1}$ für $C = 0$ und für $C \to \infty$.
- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt $C = 0$, d.h. für $C = 0$, und im Punkt $C = \infty$, d.h. für $C \to \infty$.
- Stellen Sie den qualitativen Verlauf der Betragsfunktion des Spannungsverhältnisses in Abhängigkeit von der Kapazität C des Kondensators in einem Diagramm grafisch dar und berücksichtigen Sie dabei die Steigungen der Tangenten der Betragsfunktion in den Punkten für $C = 0$ und für $C \to \infty$!

Hinweis: *Die Ableitung einer Funktion* $f'(x_0) = \left.\frac{df(x)}{dx}\right|_{x = x_0}$ *entspricht der Steigung der Tangente der Funktion f(x) im Punkt* $x = x_0$.

1.4 Phasenwinkel φ_{12} – (6 Punkte)

- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ (von $\underline{U}_1$ nach $\underline{U}_2$) allgemein in Abhängigkeit von R, C und ω.
- Erklären Sie anhand Ihrer Rechnung, welchen Wertebereich der Phasenwinkel φ_{12} annehmen kann.
- Vergleichen Sie Ihr Rechenergebnis mit dem Ergebnis des Zeigerdiagramms aus Aufgabe 1.2.
- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} für $C = 0$ und für $C \to \infty$.

Hinweis: Den Phasenwinkel können Sie unter anderem bestimmen, indem Sie zunächst den Realteil $\mathrm{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)$ *sowie den Imaginärteil* $\mathrm{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)$ *berechnen und daraus dann den Phasenwinkel.*

Aufgabe 2: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM)

Für einen kleinen Springbrunnen in einem Gartenteich soll eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) dimensioniert werden. Diese wird an einer konstanten Spannungsquelle mit $U_A = 12\ \mathrm{V}$ versorgt.

Von der GM sind die folgenden Daten bekannt:

Ankernennspannung:	$U_{A,N} = 12\ \mathrm{V}$
Nennleistung:	$P_N = 2\mathrm{W}$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 50\%$
Nenndrehzahl:	$n_N = 4000\ \mathrm{min}^{-1}$

Reibung und Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.

Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.

Alle Größen der GM sind Gleichgrößen

Lastkennlinie der Pumpe: $M_L(n) = n^2 \cdot 10^{-6}\mathrm{Nm}\cdot\mathrm{s}^2$ für $n \geq 0$ (in s^{-1})

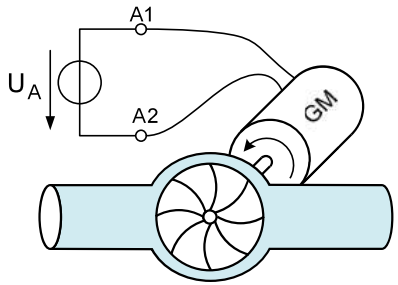


Bild 2.1: Übersicht der Anordnung

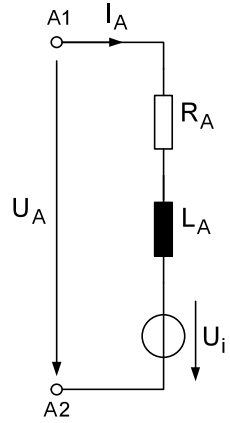


Bild 2.2: ESB des Ankerkreises der GM

2.1 Nennbetrieb der GM – (7 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine **für den Nennbetrieb.**
Geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzten Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Aufgenommene Leistung $P_{A,N}$
- Ankerstrom $I_{A,N}$
- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung $U_{i,N}$
- Abgegebenes Nennmoment M_N
- Produkt aus Maschinenkonstante und Fluss $c \cdot \Phi$

*Hinweis: Wenn Sie die Aufgabe 2.1 nicht lösen konnten, dürfen Sie **in den folgenden Aufgabenteilen** $R_A = 18\Omega$ und $c \cdot \Phi = 14{,}324 \cdot 10^{-3}$ Vs verwenden.*

2.2 Anlauf und Leerlauf – (4 Punkte)

Die Ankerspannung soll stets $U_A = 12$ V betragen.

- Berechnen Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 der GM in der Einheit min^{-1}.
- Berechnen Sie den Stillstandsstrom $I_{A,st}$ sowie das Stillstandsmoment M_{st} der GM.
- Berechnen Sie das Verhältnis:
  Verlustleistung im Ankerwiderstand im Stillstand bezogen auf die Verlustleistung im Ankerwiderstand bei Nennbetrieb,
  also $\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}}$.

2.3 Drehmoment in Abhängigkeit der Drehzahl – (4 Punkte)

- Stellen Sie ausgehend von der Maschengleichung im Ankerkreis $U_i = U_A - I_A \cdot R_A$ eine Formel für das abgegebene Moment der GM in der Form $M(n) = \frac{a - n}{b}$ auf und geben Sie Wert und Einheit der Parameter a und b an.

2.4 Stationäre Drehzahl bei Betrieb der Pumpe (AP) – (5 Punkte)

Die GM soll nun die Pumpe antreiben. Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3) für die Berechnung des sich einstellenden Arbeitspunktes AP die folgende Näherung für die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der GM: $M(n) = 0{,}01\,\mathrm{Nm} - \frac{n}{14000\,\frac{1}{s\cdot Nm}}$

- Ist dieser Arbeitspunkt (AP) stabil oder instabil?
  Begründen Sie Ihre Antwort.
- Berechnen Sie die stationäre Drehzahl n_{AP}, welche sich einstellt.
- Darf die GM dauerhaft so betrieben werden?
  Begründen Sie Ihre Antwort

Aufgabe 3: Schaltung zur Vermessung von Diodenkennlinien

Zur Vermessung der Strom-/Spanungskennlinie einer Leuchtdiode (LED) D_1 soll eine Schaltung dimensioniert werden. Dazu wird zunächst in TEIL I eine Stromquelle mit Hilfe eines NPN-Transistors realisiert. Anschließend werden in TEIL II die gemessenen Werte durch Operationsverstärkerschaltungen aufbereitet.

Die Aufgabenteile I und II sind unabhängig voneinander bearbeitbar.

TEIL I: Stromquelle

Bild 3.1 zeigt die Schaltung, mit welcher der Strom I_{LED} durch die LED mit Hilfe eines veränderbaren Vorwiderstands R_B eingestellt werden soll.

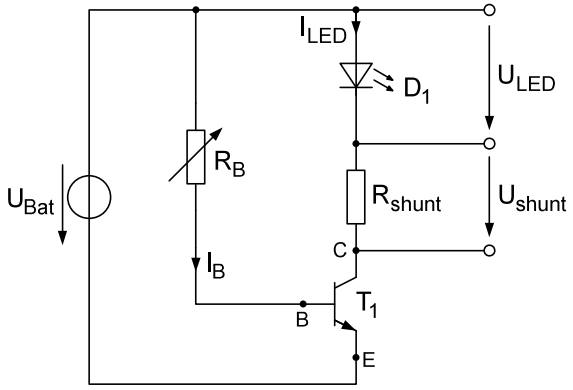


Bild 3.1: Schaltung zur Einstellung des Stromes durch die Diode

Es sind die folgenden Daten gegeben:

Versorgungsspannung: $U_{Bat} = 5\ V$

Transistor T_1:

Basis-Emitter-Widerstand: $R_{BE} \to 0\ \Omega$

Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{CE} \to \infty$

Basis-Emitter-Diffusionsspannung: $U_{BE0} = 0{,}6\ V$

Gleichstromverstärkung: $B = 100$

Der Strom I_{LED} soll auf Werte zwischen 20 mA und 2 A einstellbar sein.

3.1 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der kompletten in Bild 3.1 dargestellten Schaltung inklusive aller Ströme und Spannungen sowie der Punkte (B,E,C). Zeichnen Sie zusätzlich auch alle Ströme und Spannungen an den Elementen der linearisierten Ersatzschaltbilder von Transistor und Diode ein. Elemente, die vernachlässigt werden können, sind NICHT mit einzuzeichnen.

3.2 Dimensionierung des Vorwiderstandes – (5 Punkte)

- Berechnen Sie allgemein den Kollektorstrom des Transistors bzw. den Strom $I_{LED} = f(U_{Bat}, U_{BE0}, R_B, B)$.
- Bestimmen Sie eine Berechnungsvorschrift für den Widerstand R_B in der Form $R_B = f(I_{LED}) = \frac{a}{I_{LED}}$. Geben Sie den Wert und die Einheit des Parameters a an.
- Berechnen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Widerstand R_B. (Beachten Sie den Bereich, in welchem der Strom I_{LED} einstellbar sein soll.)

TEIL II: Signalaufbereitung

Bild 3.2 zeigt die Schaltung, mit welcher die Spannungen U_{LED} und U_{shunt} aufbereitet werden sollen.

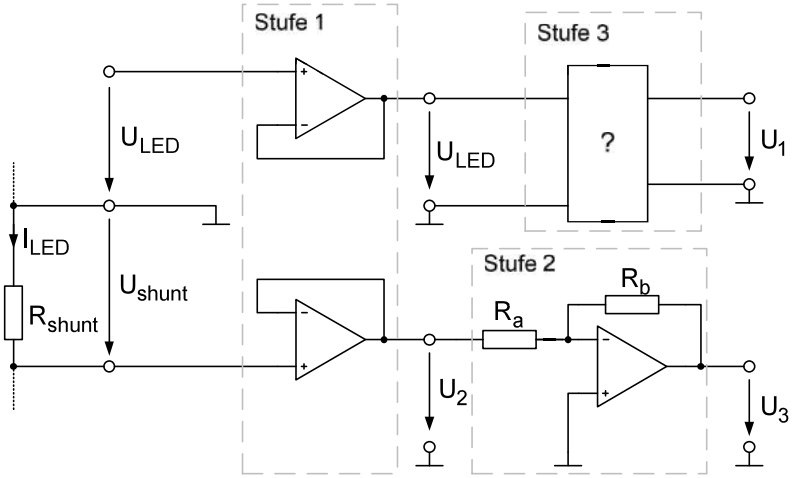


Bild 3.2: Schaltung zur Aufbereitung der Spannungen

Es sind die folgenden Daten gegeben:

Widerstand zur Strommessung: $R_{shunt} = 0{,}5\ \Omega$

Operationsverstärker:

Versorgungsspannung (in Bild 3.2 nicht eingezeichnet): ±15 V

Maximale bzw. minimale Ausgangsspannung: ±15 V

Die OPs dürfen als ideal angenommen werden.

Widerstände: $R_a = 2\ k\Omega$

$R_b = 20\ k\Omega$

3.3 Stufe 1 – (3 Punkte)

- Welche OP-Grundschaltung(en) wird/werden hier verwendet? Welchen Zweck hat dies?
- Berechnen Sie $U_2 = f(I_{LED}, R_{shunt})$

3.4 Stufe 2 – (4 Punkte)

- Welche OP-Grundschaltung wird hier verwendet?
- Berechnen Sie $U_3 = f(U_2, R_a, R_b)$
- Berechnen Sie $U_3 = f(I_{LED})$ in der Form $U_3 = x \cdot I_{LED}$ und geben Sie den Wert und die Einheit des Parameters x an.

3.5 Stufe 3 – (4 Punkte)

Für die Stufe 3 wird eine Schaltung gesucht, sodass gilt: $U_1 = 5 \cdot U_{LED}$.

Zur Verfügung stehen ein OP, ein Widerstand $R_c = 5\,k\Omega$ sowie ein weiterer Widerstand R_d.

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung.
  Tragen Sie die Beschriftungen für die Widerstände, sowie die beiden Spannungen U_1 und U_{LED} ein und geben Sie den Namen der Grundschaltung an.
- Berechnen Sie den Wert von R_d passend zu Ihrer Schaltung.

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau ***eine*** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
  Richtige Antwort: +1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Bei einer realen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

a) nur abhängig von der Art der Belastung.

b) abhängig vom Klemmenstrom.

c) unabhängig vom Klemmenstrom.

4.2 Der Ersatzleitwert von *n* in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist

a) die Summe der *n* Widerstände.

b) der Kehrwert der Summe der *n* Widerstände.

c) die Summe der Kehrwerte der *n* Widerstände.

4.3 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.

b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.

c) die Permittivität des Werkstoffes.

4.4 Der von einer Spannungsquelle zu liefernde Strom bei Parallelschaltung von zwei Widerständen ist

a) kleiner als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.

b) größer als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.

c) unabhängig von der Schaltung der Widerstände.

4.5 Die Klemmenspannung einer realen Gleichstromquelle

a) nimmt mit nachlassender Belastung zu.

b) ist immer konstant.

c) nimmt mit nachlassender Belastung ab.

4.6 Der Überlagerungssatz kann nicht angewendet werden, wenn

a) es sich um ein linearisiertes Netzwerk handelt.

b) es sich um ein Netzwerk mit mehr als zwei Quellen handelt.

c) im Netzwerk nichtlineare Elemente auftreten.

4.7 Welche Aussage stimmt bezüglich eines Kondensators? Sprungartig ändern kann sich

a) nur der Kondensatorstrom.

b) nur die Spannung am Kondensator.

c) sowohl der Strom als auch die Spannung.

4.8 Bei der Resonanzfrequenz in einem RLC-Parallelschwingkreis an einer Wechselspannungsquelle

a) ist die Stromstärke unabhängig von der angelegten Spannung.

b) erreicht der von der Quelle zu liefernde Strom seinen Maximalwert.

c) erreicht der von der Quelle zu liefernde Strom seinen Minimalwert.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls

a) dient der Erhöhung der Kapazität.

b) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

c) dient der Erhöhung der Induktivität.

4.10 Ein p-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.

b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.

c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

a) im 3. Quadraten der Strom-Spannungskennlinie der Diode.

b) nur für spezielle Diodentypen.

c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.12 Eine Schaltung mit einem Operationsverstärker ohne Rückkopplung

a) wird den Operationsverstärker beschädigen.

b) wird als Komparator-Schaltung bezeichnet.

c) wird am Ausgang des Operationsverstärkers immer eine Spannung von exakt 0 V liefern.

4.13 Die Eingangskennlinie eines Bipolartransistors beschreibt

a) die Kollektor-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Kollektorstrom und Kollektor-Emitterspannung an.

b) die Basis-Kollektor-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Kollektorstrom an.

c) die Basis-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Basis-Emitterspannung an.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

a) hat keinen Ausgangswiderstand und einen sehr niedrigen Verstärkungsfaktor.

b) hat einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen vernachlässigbar kleinen Ausgangswiderstand.

c) hat einen vernachlässigbar kleinen Eingangswiderstand und einen unendlich hohen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 In einer Leiterschleife kann eine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife

a) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet und ruht.

b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.

c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Die Lorentzkraft beschreibt

a) die Kraft auf sich in einem Magnetfeld bewegende Elektronen und ist unter anderem abhängig von der Elektronengeschwindigkeit.

b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.

c) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unabhängig von der Stromstärke.

4.17 Bei einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist der magnetische Fluss in den Polschuhen des Stators unter Vernachlässigung der Sättigung

a) abhängig von der Drehzahl.

b) abhängig vom Ankerstrom.

c) unabhängig von Drehzahl und Ankerstrom.

4.18 Durch das Verringern des Erregerstromes I_F einer fremderregten Gleichstrommaschine wird

a) der Fluss ϕ im Stator verkleinert.

b) die Leerlaufdrehzahl n_0 des Motors verkleinert.

c) der Fluss ϕ im Stator vergrößert.

4.19 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.

b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.

c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die Leerlaufdrehzahl einer Drehstrom-Asynchronmaschine hängt

a) quadratisch von der Spannung des speisenden Netzes ab.

b) vom Quotient aus Spannung und Frequenz ab.

c) linear von der Frequenz des speisenden Netzes ab.

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

12.9.2013

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1 Impedanz und Spannungsverhältnis – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ der Parallelschaltung aus R_2 und C allgemein in Abhängigkeit von R_2, C und ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\underline{Z}_2(R_2, C, \omega) = \frac{a(R_2, C, \omega)}{1 + j \cdot b(R_2, C, \omega)}$ an, wobei a(…) und b(…) rein reelle Funktionen sind.

$$\underline{Z}_2 = \frac{R_2 \cdot \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}}{R_2 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C}} = \frac{R_2}{1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C}$$

(Geforderte Form beachten!)

Alternative über die Berechnung der Admittanz (komplexer Leitwert),
Kann bei Parallelschaltung die Rechnung vereinfachen
(Bei Parallelschaltung addieren sich die Leitwerte (Admittanzen)…:

$$\underline{Y}_2 = \frac{1}{R_2} + j \cdot \omega \cdot C$$

$$\underline{Z}_2 = \frac{1}{\underline{Y}_2} = \frac{1}{\frac{1}{R_2} + j \cdot \omega \cdot C} = \frac{R_2}{1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C}$$

- Berechnen Sie mithilfe der Spannungsteilerregel das Verhältnis $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}$ allgemein in Abhängigkeit von R_1, R_2, C und ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R_1, R_2, C, \omega) = \frac{1}{g(R_1, R_2, C, \omega) + j \cdot h(R_1, R_2, C, \omega)}$ an, wobei g(…) und h(…) rein reelle Funktionen sind.

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{\underline{Z}_2}{R_1 + \underline{Z}_2} = \frac{1}{1 + \frac{R_1}{\underline{Z}_2}}$$

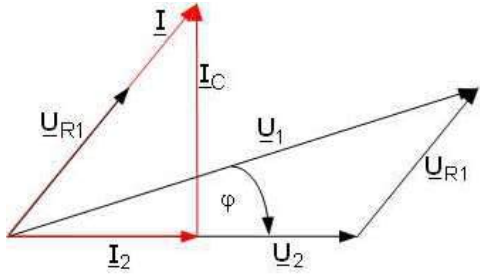
$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{1 + \left(\frac{R_1}{R_2} \cdot \left(1 + j \cdot \omega \cdot R_2 \cdot C\right) \right)}$$

$$= \frac{1}{\left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) + j \cdot \left(\omega \cdot R_1 \cdot C\right)}$$

(Geforderte Form beachten!)

1.2 Qualitatives Zeigerdiagramm– (4 Punkte)

- Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für die in Abbildung 1.1 dargestellte Schaltung, welches alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthält. Zeichnen Sie zusätzlich den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ ein.



(Einfachste Vorgehensweise: Beginnen mit $\underline{U}_2$,
Danach $\underline{I}_2$ (parallel $\underline{U}_2$) und $\underline{I}_C$(rechter Winkel zu $\underline{U}_2$), Summe ist $\underline{I}$
Danach $\underline{U}_{R1}$ (parallel $\underline{I}$)
$\underline{U}_R$ ist dann die Summe aus $\underline{U}_2$und $\underline{U}_{R1}$,
Phasenwinkel nicht vergessen!)

- Erklären Sie an Hand des Zeigerdiagrammes, bzw. mit Hilfe der Längen der Stromzeiger, welchen Wert kann φ_{12} maximal/minimal aufweisen kann.

Wertebereich: $-90° \le \varphi \le 0°$

Beim Konstruieren sind die „Variablen“ die Längen der Zeiger:
$I_C >> I_2$ und $U_{R1} >> U_2 \rightarrow \varphi = -90°$
$I_C << I_2$ und $U_{R1} << U_2 \rightarrow \varphi = 0°$

Im Folgenden soll nur noch der Sonderfall $R_1 = R_2 = R$ betrachtet werden.

Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Aufgabe1.1) die folgende Beziehung: $\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}(R, C, \omega) = \frac{1}{2 + j\cdot(\omega \cdot R \cdot C)}$

1.3 Betrag des Spannungsverhältnisses – (7 Punkte)

- Berechnen Sie die Betragsfunktion $\frac{U_2}{U_1} = \left|\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right| = \frac{|\underline{U}_2|}{|\underline{U}_1|}$ des Spannungsverhältnisses allgemein in Abhängigkeit von R, C und ω und geben Sie das Ergebnis in der Form $\frac{U_2}{U_1}(R, C, \omega) = \left[k(R, C, \omega)\right]^{-\frac{1}{2}}$ an.

$$\frac{U_2}{U_1} = \left|\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right| = \frac{|1|}{|2 + j\cdot\omega\cdot R\cdot C|}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{1}{\sqrt{4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2}}$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \left[4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2\right]^{-\frac{1}{2}}$$

- Berechnen Sie die Werte von $\frac{U_2}{U_1}$ für $C = 0$ und für $C \rightarrow \infty$

$$\left.\frac{U_2}{U_1}\right|_{C=0} = \frac{1}{\sqrt{4+0}} = \frac{1}{2}$$

$$\left.\frac{U_2}{U_1}\right|_{C=\infty} = \frac{1}{\sqrt{4+\infty}} = 0$$

(falls je die Betragsfunktion nicht (richtig) berechnet wurde, oder auch als kurze Kontrolle, könnte man hier auch die Werte des Kondensators in die gegebene (komplexe) Funktion einsetzten und anschließend den Betrag bilden…)

- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Funktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt $C = 0$, d.h. für $C = 0$.

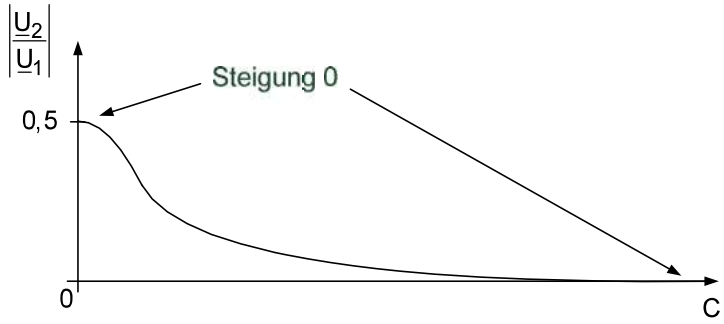
$$\left.\frac{d}{dC}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)\right|_{C=0} = \frac{-0}{\left[4+(0)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = 0$$

- Berechnen Sie die Steigung der Tangente der Funktion $\frac{U_2}{U_1}$ im Punkt $C = \infty$, d.h. für $C \to \infty$.

$$\left.\frac{d}{dC}\left(\frac{U_2}{U_1}\right)\right|_{C=\infty} = \frac{-\infty}{\left[4+(\infty)^2\right]^{\frac{3}{2}}} = 0$$ Da Exponent im Nenner größer!

- Stellen Sie den qualitativen Verlauf der Betragsfunktion des Spannungsverhältnisses in Abhängigkeit von der Kapazität C des Kondensators in einem Diagramm grafisch dar und berücksichtigen Sie dabei die Steigungen der Tangenten der Betragsfunktion in den Punkten für $C = 0$ und für $C \to \infty$!

(Für den qualitativen Verlauf sind hier „nur“ die vorher berechneten Werte der Funktion (0,5 und 0) und der Ableitung (jeweils 0) wichtig. Also waagerechter Beginn und waagerechte Annäherung..)



1.4 Phasenwinkel φ_{12} – (6 Punkte)

- Berechnen Sie den Phasenwinkel φ_{12} zwischen den Spannungen $\underline{U}_1$ und $\underline{U}_2$ allgemein in Abhängigkeit von R, C und ω.

$$\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1} = \frac{1}{2 + j\cdot\omega\cdot R\cdot C}\cdot\frac{2 - j\cdot\omega\cdot R\cdot C}{2 - j\cdot\omega\cdot R\cdot C} = \frac{2 - j\cdot\omega\cdot R\cdot C}{4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2}$$

$$\mathrm{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right) = \frac{2}{4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2}$$

$$\mathrm{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right) = \frac{-\omega\cdot R\cdot C}{4 + (\omega\cdot R\cdot C)^2}$$

$$\varphi_{12} = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)}{\mathrm{Re}\left(\frac{\underline{U}_2}{\underline{U}_1}\right)}\right) = \arctan\left(\frac{-\omega\cdot R\cdot C}{2}\right)$$

Oder noch einfacher::

Phasenwinkel von Zähler und Nenner getrennt bestimmen und voneinander abziehen:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}(\text{Zähler})}{\mathrm{Re}(\text{Zähler})}\right) - \arctan\left(\frac{\mathrm{Im}(\text{Nenner})}{\mathrm{Re}(\text{Nenner})}\right)$$

$$= \arctan\left(\frac{0}{1}\right) - \arctan\left(\frac{\omega\cdot R\cdot C}{2}\right)$$

$$= -\arctan\left(\frac{\omega\cdot R\cdot C}{2}\right)$$

$$= \arctan\left(\frac{-\omega\cdot R\cdot C}{2}\right)$$

- Erklären Sie an Hand Ihrer Rechnung welchen Wertebereich der Phasenwinkel φ annehmen kann.

  ω, R, C sind alles reelle Zahlen ≥ 0, somit liefert der arctan() Werte zwischen 0 und 90°. bzw. es gilt: $-90° \leq \varphi_{12} \leq 0°$

- Vergleichen Sie Ihr Rechenergebnis mit dem Ergebnis aus dem Zeigerdiagramm aus Aufgabe 1.2.

  Passt ;-)

- Berechnen Sie für Phasenwinkel φ_{12} für $C = 0$ und für $C \to \infty$.

$$\varphi\big|_{C=0} = \arctan\left(\frac{-0}{2}\right) = 0°$$

$$\varphi\big|_{C=\infty} = \arctan(-\infty) = -90°$$

Aufgabe 2: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) als Antrieb für eine Teichpumpe

2.1 Nennbetrieb der GM – (7 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine **für den Nennbetrieb.**

Geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzten Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Aufgenommene Leistung $P_{A,N}$

  Aus: $\eta = \frac{P_{nutz}}{P_{aufgewendet}}$ ergibt hier: $P_{A,N} = \frac{1}{\eta_N} \cdot P_N$

  $P_{A,N} = \frac{1}{0,5} \cdot 2W = 4W$

- Ankerstrom $I_{A,N}$

  Aus: $P_{A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N}$ ergibt: $I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}}$

  $I_{A,N} = \frac{4W}{12V} = \frac{1}{3}A$

- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$

  Aus: $P_{A,N} = P_N + P_{VA,N}$ ergibt: $P_{VA,N} = P_{A,N} - P_N$

  $P_{VA,N} = 4W - 2W = 2W$

- Ankerwiderstand R_A

  Aus: $P_{VA} = R_A \cdot (I_A)^2$ ergibt: $R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2}$

  $R_A = \frac{2W}{(\frac{1}{3}A)^2} = 18\Omega$

- Induzierte Spannung $U_{i,N}$

  $U_{i,N} = U_{A,N} - I_{A,N} \cdot R_A$

  $U_{i,N} = 12V - \frac{1}{3}A \cdot 18\Omega = 6V$

  Alternativ aus Wirkungsgrad: $P_{A,N} = \frac{1}{\eta_N} \cdot P_N$

  $U_{i,N} = \eta_N \cdot U_{A,N}$

  $U_{i,N} = 0,5 \cdot 12V = 6V$

- Abgegebenes Nennmoment M_N in der Einheit N·cm

  $M_N = \frac{P_N}{\Omega_N} = \frac{P_N}{2\pi n_N}$

  $M_N = \frac{2W}{2\pi\frac{4000}{60s}} = 4,77 \cdot 10^{-3}Nm = 0,477Ncm$

- Produkt aus Maschinenkonstante und Fluss $c \cdot \Phi$

  $c\Phi = \frac{M_N}{I_{A,N}}$

  $c\Phi = \frac{4,77 \cdot 10^{-3}Nm}{\frac{1}{3}A} = 14,324 \cdot 10^{-3}Vs$

  Alternativ:

  $c\Phi = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{6V}{2\pi\frac{4000}{60s}} = 14,324 \cdot 10^{-3}Vs$

Hinweis: Wenn Sie die Aufgabe 2.1 nicht lösen konnten, dürfen Sie im Folgenden $R_A = 18\Omega$ *und* $c \cdot \Phi = 14,324 \cdot 10^{-3}$ Vs *verwenden.*

Anmerk.: Man kann auch mit Brüchen weiterrechnen…
Wer bei dieser Aufgabe schlecht rundet, kriegt z.B. keine schönen Werte für den Ankerwiderstand oder die induzierte Spannung raus…

2.2 Anlauf und Leerlauf – (4 Punkte)

Die Ankerspannung soll stets ihren Nennwert aufweisen.

- Berechnen Sie die Leerlaufdrehzahl n_0 der GM.

  Leerlauf *(keine Reibung)*: $I_{A,0} = 0 \rightarrow U_{i,0} = U_A = 12V$

  mit $c\Phi = \text{konstant}$:

  $$n_0 = \frac{U_{i,0}}{U_{i,N}} \cdot n_N = \frac{12V}{6V} \cdot 4000\text{min}^{-1} = 8000\text{min}^{-1}$$

- Berechnen Sie den Stillstandsstrom $I_{A,st}$, sowie das Stillstandsmoment M_{st} der GM.

  da Stillstand: $n = 0 \rightarrow U_{i,0} = 0V$ ist:

  $$I_{A,st} = \frac{U_A}{R_A} = \frac{12V}{18\Omega} = \frac{2}{3}A$$

  mit $c\Phi = \text{konstant}$: $M_{st} = \frac{I_{A,st}}{I_{A,N}} \cdot M_N$

  $$M_{st} = \frac{\frac{2}{3}A}{\frac{1}{3}A} \cdot 4{,}775 \cdot 10^{-3}\text{Nm} = 9{,}55 \cdot 10^{-3}\text{Nm}$$

- Berechnen Sie das Verhältnis der Verlustleistungen im Ankerwiderstand, Stillstand bezogen auf Nennbetrieb, also $\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,n}}$.

  $$\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}} = \frac{R_A \cdot (I_{A,st})^2}{R_A \cdot (I_{A,N})^2}$$

  $$\frac{P_{VA,st}}{P_{VA,N}} = \frac{(I_{A,st})^2}{(I_{A,N})^2} = \frac{(\frac{2}{3}A)^2}{(\frac{1}{3}A)^2} = 4$$

2.3 Drehmoment in Abhängigkeit der Drehzahl – (4 Punkte)

- Stellen Sie ausgehend von der Maschengleichung im Ankerkreis $U_i = U_A - I_A \cdot R_A$ eine Formel für das abgegebene Moment der GM in der Form $M(n) = \frac{a - n}{b}$ auf und geben Sie Wert und Einheit der Parameter a und b an.

  Zuerst Maschenregel, dann die bekannten Formeln einsetzten und Umformen, so dass nur noch „Variablen“ übrig bleiben die einen festen Wert haben, bzw. die selbst keine Abhängigkeit mehr von der Drehzahl haben)

  $$U_i = U_A - I_A \cdot R_A$$

  $$c\Phi \cdot \Omega = U_A - \frac{M}{c\Phi} \cdot R_A$$

  $$\frac{R_A}{c\Phi} \cdot M = U_A - c\Phi \cdot \Omega$$

  $$\frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2} \cdot M = \frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi} - n$$

  $$M(n) = \frac{\left(\frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi}\right) - n}{\frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2}}$$ *(geforderte Form beachten)*

  Somit:

  $$a = \frac{U_A}{2\pi \cdot c\Phi} = \frac{12V}{2\pi \cdot 14{,}324 \cdot 10^{-3}\text{Vs}} = 133{,}33\frac{1}{s}$$

  $$b = \frac{R_A}{2\pi \cdot (c\Phi)^2} = \frac{18\Omega}{2\pi \cdot (14{,}324 \cdot 10^{-3}\text{Vs})^2} \approx 13962{,}63\frac{1}{\text{Nm}\cdot\text{s}}$$

  (Es ist explizit gefordert die Parameter anzugeben…)

2.4 Stationäre Drehzahl bei Betrieb der Pumpe (AP1) – (5 Punkte)

Die GM soll nun die Pumpe antreiben. Nutzen Sie (unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Teilaufgabe 2.3) die folgende Näherung für die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der GM: $M(n) = 0{,}01\,\mathrm{Nm} - \frac{n}{14000\,\frac{1}{\mathrm{s\cdot Nm}}}$ für die Berechnung des sich einstellenden Arbeitspunktes AP1.

- Ist dieser Arbeitspunkt (AP1) stabil oder instabil?
  Begründen Sie Ihre Antwort.
  Stabil, da das Lastmoment für größere Drehzahlen größer wird, während das Moment der Maschine mit kleineren Drehzahlen steigt.

- Welche stationäre Drehzahl n_{AP1} stellt sich ein?

$$M(n) = M_L(n)$$

$$0{,}01\,\mathrm{Nm} - \frac{n}{14000\,\frac{1}{\mathrm{s\cdot Nm}}} = n^2 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{Nm\cdot s^2}$$

$$n^2 + n \cdot \frac{1000}{14\,\mathrm{s}} - 10^4\,\mathrm{s^{-2}} = 0$$

$$n_{1,2} = -\frac{1000}{28\,\mathrm{s}} \pm \sqrt{\left(\frac{1000}{28\,\mathrm{s}}\right)^2 + 10^4\,\mathrm{s^2}}$$

$$n_{1,2} = -35{,}714\,\tfrac{1}{\mathrm{s}} \pm 106{,}186\,\tfrac{1}{\mathrm{s}}$$

$$n_{1,} = 70{,}47\,\tfrac{1}{\mathrm{s}} = 4228\,\mathrm{min^{-1}}$$

$$n_2 = -141{,}9\,\tfrac{1}{\mathrm{s}} \quad \text{unsinnig}$$

$$\rightarrow n_{AP} = 4228\,\mathrm{min^{-1}}$$

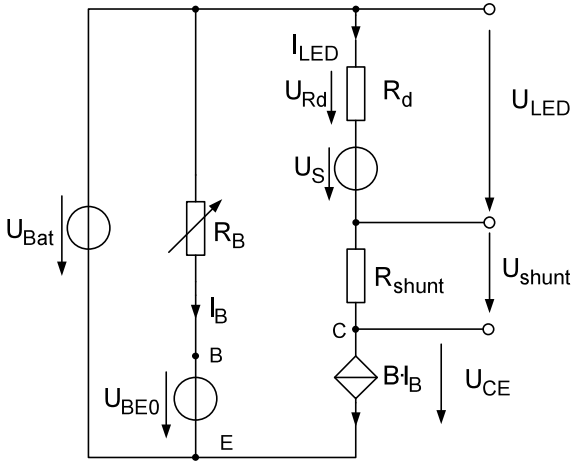
- Darf die GM dauerhaft so betrieben werden?
  Begründen Sie Ihre Antwort
  Ja, da $n_{AP} > n_N \rightarrow M_{AP} < M_N \rightarrow I_{AP} < I_N$

Aufgabe 3: Schaltung zur Vermessung von Diodenkennlinien

TEIL I: Stromquelle

3.1 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der kompletten in Bild 3.1 dargestellten Schaltung inklusive aller Ströme und Spannungen sowie der Punkte (B,E,C). Zeichnen Sie zusätzlich auch alle Ströme und Spannungen an den Elementen der linearisierten Ersatzschaltbilder von Transistor und Diode ein. Elemente, die vernachlässigt werden können, sind NICHT mit einzuzeichnen.



3.2 Dimensionierung des Vorwiderstandes… – (5 Punkte)

- Berechnen Sie allgemein den Kollektorstrom des Transistors bzw. den Strom

  $I_{LED} = f(U_{Bat}, U_{BE0}, R_B, B)$.

  $I_{LED} = I_C = I_{C0} = B \cdot I_B$

  $$I_{LED} = B \cdot \frac{U_{RB}}{R_B} = B \cdot \frac{U_{Bat} - U_{BE0}}{R_B}$$

- Bestimmen Sie eine Berechnungsvorschrift für den Widerstand R_B in der Form $R_B = f(I_{LED}) = \frac{a}{I_{LED}}$. Geben Sie den Wert und die Einheit des Parameter a an.

  $$R_B = B \cdot \frac{U_{Bat} - U_{BE0}}{I_{LED}}$$

  $$R_B = \frac{100 \cdot (5V - 0{,}6V)}{I_{LED}} = \frac{440V}{I_{LED}}$$

  $a = 440V$

  $[a] = V$

- Berechnen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Widerstand R_B. (Beachten Sie den Bereich in welchem der Strom I_{LED} einstellbar sein soll.)

  $$R_{B,max} = R_B(I_{LED} = 20mA) = \frac{440V}{20mA} = 22k\Omega$$

  $$R_{B,min} = R_B(I_{LED} = 2A) = \frac{440V}{2A} = 220\,\Omega$$

TEIL II: Signalaufbereitung

3.3 Stufe 1 – (3 Punkte)

- Welche OP-Grundschaltung wird verwendet? Welchen Zweck hat diese?

  Impedanzwandler:

  Hoher (unendlich großer) Eingangswiderstand, damit die gemessenen Spannungen nicht verfälscht werden.

- Berechnen Sie $U_2 = f(I_{LED}, R_{shunt})$

  $U_{shunt} = I_{LED} \cdot R_{shunt}$

  $U_2 = -U_{shunt} = -(I_{LED} \cdot R_{shunt})$

  (Auf die Pfeilungsrichtung achten! Hier ist ein „-“ drin!)

3.4 Stufe 2 – (4 Punkte)

- Welche OP-Grundschaltung wird verwendet?

  Invertierender Verstärker

- Geben Sie $U_3 = f(U_2, R_a, R_b)$ an

  $$U_3 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot U_2$$

- Berechnen Sie $U_3 = f(I_{LED})$ in der Form $U_3 = x \cdot I_{LED}$ und geben Sie Wert und Einheit des Parameter x an.

  $$U_3 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot U_2 = -\frac{R_b}{R_a} \cdot (-(I_{LED} \cdot R_{shunt}))$$

  $$U_3 = \frac{R_b \cdot R_{shunt}}{R_a} \cdot I_{LED} = \frac{20k\Omega \cdot 0{,}5\Omega}{2k\Omega} \cdot I_{LED} = 5\Omega \cdot I_{LED}$$

  $x = 5\Omega$

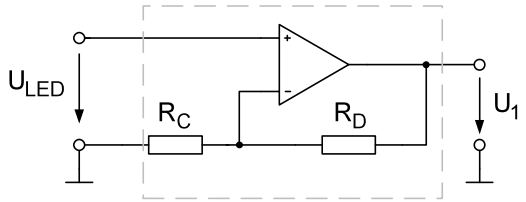
  $[x] = \Omega$

3.5 Stufe 3 – (4 Punkte)

Für die Stufe 3 wird eine Schaltung gesucht, so dass gilt: $U_1 = 5 \cdot U_{LED}$.

Zur Verfügung stehen ein OP, ein Widerstand $R_c = 5\,k\Omega$, sowie ein weiterer Widerstand R_d.

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung.
  Tragen Sie die Beschriftungen für die Widerstände, sowie die beiden Spannungen U_1 und U_{LED} ein und geben Sie den Namen der Grundschaltung an.
  Nichtinvertierender Verstärker (da v=5):



  R_c *und* R_d *können auch vertauscht werden*

- Berechnen Sie den Wert von R_d passend zu Ihrer Schaltung.
  Bei Schaltung wie in Zeichnung:

$$\left(1+\frac{R_d}{R_c}\right) = 5$$

$$R_d = 4 \cdot R_C = 4 \cdot 5k\Omega = 20k\Omega$$

Wenn R_c *und* R_d *vertauscht:*

$$\left(1+\frac{R_c}{R_d}\right) = 5$$

$$R_d = \tfrac{1}{4} \cdot R_C = \tfrac{1}{4} \cdot 5k\Omega = 1{,}25k\Omega$$

Universität Stuttgart

iew Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp,..)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

07.03.2013

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie **jede Aufgabe** auf einem **neuen Blatt**.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Komplexe Größen $\underline{G}$ sind, soweit nicht explizit anders verlangt, in kartesischer Form ($\underline{G} = \mathrm{Re}(\underline{G}) + j\cdot\mathrm{Im}(\underline{G})$) anzugeben.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1, R_2 und R_3 sowie der Spule L, wird an der sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben. Der Brückenzweig AB ist stets unbelastet.

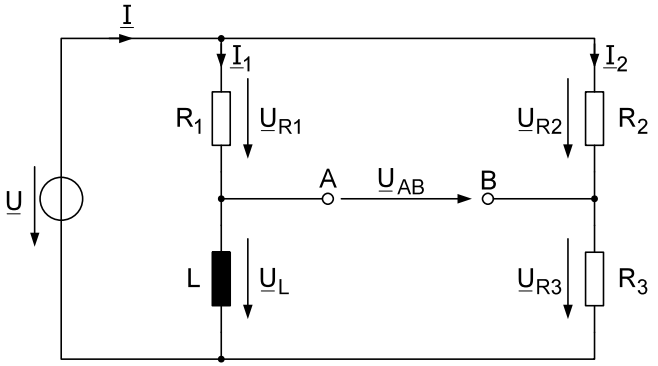


Abbildung 1-1: Brückenschaltung an Wechselspannung

Nachfolgend soll allgemein (ohne Zahlenwerte) mit $\underline{U} = U\cdot e^{j\cdot 0^\circ} = U$, R_1, R_2, R_3 und X_L mit $X_L = 2\cdot\pi\cdot f\cdot L = \omega\cdot L$, berechnet werden.

1.1 Impedanzen und Ströme – (4 Punkte)

- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_1$ des ersten Zweiges, bestehend aus der Reihenschaltung von R_1 und L, allgemein in Abhängigkeit von R_1 und X_L.
- Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_2$ des zweiten Zweiges, bestehend aus der Reihenschaltung von R_2 und R_3, allgemein in Abhängigkeit von R_2 und R_3.
- Berechnen Sie die Zweigströme $\underline{I}_1$ und $\underline{I}_2$ sowie den Gesamtstrom $\underline{I}$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von U, R_1, R_2, R_3 und X_L.

1.2 Teilspannungen und Spannung $\underline{U}_{AB}$ – (6 Punkte)

- Berechnen Sie mit Hilfe der Spannungsteilerregel die Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{R3}$ und $\underline{U}_{L}$ jeweils allgemein in Abhängigkeit von U, R_1, R_2, R_3 und X_L.
- Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig allgemein in Abhängigkeit von U, R_1, R_2, R_3 und X_L.
- Wie groß muss X_L in Abhängigkeit von R_1, R_2 und R_3 gewählt werden, damit die Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig der Spannung $\underline{U}$ um 90° voreilt? Geben Sie für diesen Fall die Spannung $\underline{U}_{AB}$ allgemein in Abhängigkeit von U, R_2 und R_3 an.

Hinweis: Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ um 90° vor, wenn der Realteil der Spannung $\underline{U}_{AB}$ verschwindet.

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ soll im Folgenden der Spannung $\underline{U}$ stets um 90° voreilen.

Für diesen Fall gilt:

$$\underline{U}_{AB}(R_2) = j \cdot U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3} = j \cdot U \cdot \frac{u(R_2)}{v(R_2)}$$

mit $u(R_2) = \sqrt{R_2 \cdot R_3}$ und $v(R_2) = R_2 + R_3$

1.3 Maximum der Spannung $\underline{U}_{AB}$ – (5 Punkte)

- Berechnen Sie R_2 in Abhängigkeit von R_3, so dass der Betrag (Effektivwert) U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ maximal wird.
- Wie groß ist U_{AB} für diesen Fall, wenn $U = 20\,V$ beträgt?

Hinweis: Das Maximum der Funktion $U_{AB}(R_2)$ erhalten Sie, indem Sie die erste Ableitung $\frac{dU_{AB}(R_2)}{dR_2} = U'_{AB}(R_2)$ zu Null setzen! Die Ableitung einer Funktion $f(x) = \frac{u(x)}{v(x)}$ erhalten Sie nach der Quotientenregel zu:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{v(x)^2}$$

Dabei ist $u'(x) = \frac{du(x)}{dx}$ und $v'(x) = \frac{dv(x)}{dx}$.

1.4 Zeigerdiagramm – (5 Punkte)

- Zeichnen Sie für den Fall $X_L = R_1$ und $R_2 = R_3$ ein längen- und winkelgetreues Zeigerdiagramm für die Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{L}$, $\underline{U}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_{R3}$ und $\underline{U}_{AB}$ unter der Vorgabe, dass die Länge des Zeigers der Spannung $\underline{U}_{R1}$ gleich 8 cm beträgt

Hinweis: Verwenden Sie ein Lineal. Freihandskizzen werden grundsätzlich mit null Punkten bewertet!

Hinweis: Längen- und winkelgetreu bedeutet, dass die Längen- und Winkelverhältnisse des Zeigerdiagramms der Realität entsprechen und lediglich der Maßstab unbekannt ist. Aus der Zeigerlänge für die Spannung $\underline{U}_{R1}$ und den anderen Vorgaben ergeben sich alle weiteren Zeigerlängen und daraus dann die Winkelverhältnisse!

Aufgabe 2: Kreissäge

Eine Kreissäge soll durch eine Asynchronmaschine mit Käfigläufer (ASM) direkt an einem symmetrischen, dreiphasigen Drehstromnetz in Dreieckschaltung betrieben werden.
Als Pumpenantrieb für das Kühlsystem der Säge dient eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM).

Die Aufgabenteile I und II sind unabhängig voneinander lösbar.

TEIL I: Asynchronmaschine als Sägeblattantrieb

Von der ASM sind die folgenden Daten bekannt:

Nenndrehzahl:	$n_N = 970\ \text{min}^{-1}$
Kippschlupf:	$s_K = 10\%$
Stillstandsmoment:	$M_{el,st} = 17,71\ \text{Nm}$
Leistungsfaktor bei Nennbetrieb:	$\cos(\varphi_N) = 0,94$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 97\%$

Innerhalb der ASM müssen nur die Kupferverluste des Rotors berücksichtigt werden. Sämtliche anderen Verluste (auch die Reibung) sind zu vernachlässigen.
Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.

Vom speisenden Netz sind die folgenden Daten bekannt:

Netzfrequenz:	$f_{Netz} = 50\ \text{Hz}$
Außenleiterspannung:	$U_L = 400\ \text{V}$

2.1 Maschinendaten: Drehzahl und Schlupf – (3 Punkte)

- Welche Polpaarzahl p besitzt die ASM, wenn der Nennschlupf einen Wert im einstelligen Prozentbereich besitzt? Begründen Sie Ihre Antwort und geben Sie die Synchrondrehzahl n_{sync} der Maschine in der Einheit min^{-1} an.
- Berechnen Sie den Nennschlupf s_N.

2.2 Maschinendaten: Drehmomente – (3 Punkte)

- Berechnen Sie das Kippmoment $M_{el,K}$ der ASM.

Hinweis: *Nutzen Sie die Kloss`sche Formel* $\dfrac{M_{el}}{M_{el,K}} = \dfrac{2}{\dfrac{s}{s_K} + \dfrac{s_K}{s}}$

sowie einen bekannten (gegebenen) Betriebspunkt.

- Berechnen Sie das Nennmoment M_N der ASM.

Hinweis: *Wenn Sie die Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dürfen Sie im Folgenden* $M_N = 49,3\ \text{Nm}$ *und* $M_{el,K} = 89,5\ \text{Nm}$ *verwenden.*

2.3 Nennbetrieb der ASM (Sägen) – (6 Punkte)

- Berechnen Sie die Nennleistung P_N der ASM.
- Berechnen Sie die Luftspaltleistung $P_{\delta,N}$, die aufgenommene elektrische Wirkleistung $P_{auf,N}$ sowie die gesamte in der Maschine auftretende Verlustleistung $P_{V,N}$ bei Nennbetrieb.
- Berechnen Sie den Effektivwert I_L des Leiterstroms an den Anschlussklemmen der ASM bei Nennbetrieb.
- Berechnen Sie die von der ASM aufgenommene Blindleistung $Q_{auf,N}$ bei Nennbetrieb.

2.4 Betrieb ohne Werkstück (AP1) – (2 Punkte)

Wenn kein Werkstück gesägt wird (AP1), wird die ASM mit einem Moment von $M_{AP1} = 5\,\text{Nm}$ belastet.

- Berechnen Sie die Drehzahl n_{AP1} der ASM in der Einheit min^{-1}.

TEIL II: Permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine als Kühlmittelpumpe

Von der GM sind die folgenden Daten bekannt:

Ankernennspannung:	$U_{A,N} = 24\,\text{V}$
Ankernennstrom:	$I_{A,N} = 2{,}5\,\text{A}$
Wirkungsgrad bei Nennbetrieb:	$\eta_N = 85\%$
Leerlaufdrehzahl bei Ankernennspannung:	$n_{0,N} = 2000\,\text{min}^{-1}$

Reibungs- und Eisenverluste sind zu vernachlässigen.
Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden.
Alle Größen der GM sind Gleichgrößen.

2.5 Nennbetrieb der GM – (6 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine und geben Sie dabei immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzten Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Nennleistung P_N (abgegebene Leistung)
- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$ bei Nennbetrieb
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$
- Nenndrehzahl des Motors n_N in min^{-1}
- Abgegebenes Nennmoment M_N

Aufgabe 3: Temperaturmessung und Heizung

Für eine Heizungssteuerung soll die Temperatur ϑ über einen temperaturabhängigen Widerstand $R_4(\vartheta)$ gemessen und abhängig davon über einen Transistor T_1 ein Heizdraht R_H angesteuert werden. Bild 3.1 zeigt die Schaltung.

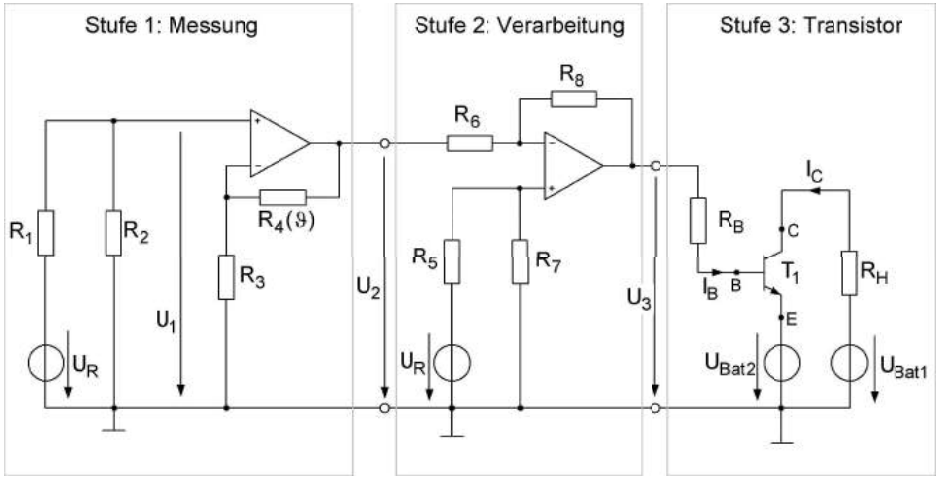


Bild 3.1: Schaltung zur Temperaturmessung und Ansteuerung des Transistors

Es sind die folgenden Daten gegeben:

Widerstände:
$$R_1 = R_2 = R_3 = R$$
$$R_4(\vartheta) = R \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20^\circ\mathrm{C}}{1000^\circ\mathrm{C}}\right)$$
$$R_5 = R_6 = R$$
$$R_7 = R_8 = R_G$$

Referenzspannungsquelle: $U_R = 5\ \mathrm{V}$

Versorgungsspannungen (Transistorstufe):
$U_{Bat1} = +15\ \mathrm{V}$
$U_{Bat2} = -15\ \mathrm{V}$

Operationsverstärker:

Versorgungsspannung (in Bild 3.1 nicht eingezeichnet): ±15 V
Maximale Ausgangsspannung: ±15 V
Die OPs dürfen als ideal angenommen werden.

Transistor:

Versorgungsspannungen: $U_{Bat1} = +15\ \mathrm{V}$, $U_{Bat2} = -15\ \mathrm{V}$
Basis-Emitter-Widerstand: $R_{BE} = 140\ \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{CE} \to \infty$
Basis-Emitter-Diffusionsspannung: $U_{BE0} = 0{,}6\ \mathrm{V}$
Gleichstromverstärkung: $B = 100$

3.1 Stufe 1: Messung – (4 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundschaltung enthält die Stufe 1?

Hinweis: Betrachten Sie die Spannung U_1 als Eingangsspannung der OP-Schaltung.

- Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_2 der Stufe 1 allgemein in Abhängigkeit von U_R, R und ϑ. Vereinfachen Sie das Ergebnis so weit wie möglich.
- Handelt es sich bei dem temperaturabhängigen Widerstand $R_4(\vartheta)$ um einen Heißleiter oder um einen Kaltleiter? (Kurze Begründung)

3.2 Stufe 2: Verarbeitung (4 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundschaltung wird in Stufe 2 verwendet?
- Berechnen Sie U_3 allgemein in Abhängigkeit von U_R, R, R_G und U_2.
- Berechnen Sie die Ausgangsspannung U_3 der Stufe 2 allgemein in Abhängigkeit von U_R, R, R_G und ϑ. Vereinfachen Sie das Ergebnis so weit wie möglich.

Die Verstärkung dieser Stufe soll so eingestellt werden, dass $U_3(\vartheta = 0^\circ\mathrm{C}) = 15\ \mathrm{V}$ ist, ohne dass der OP in Begrenzung geht.

- Berechnen Sie den Wert von R_G für $R = 1\,\mathrm{k\Omega}$.

3.3 Stufe 3: Transistor – Gleichstromersatzschaltbild (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild (GS-ESB) der Stufe 3 inklusive der Ströme und Spannungen, welche auch in Bild 3.1 eingezeichnet sind. Tragen Sie zusätzlich noch die Basis-Emitter-Spannung U_{BE} ein. Elemente, die vernachlässigt werden können sind NICHT mit einzuzeichnen.

Hinweis: Beachten Sie, dass die Emitter-Klemme des Transistors NICHT auf dem Bezugspotential der Spannung U_3 liegt!

3.4 Stufe 3: Transistor – Dimensionierung (5 Punkte)

Im Folgenden soll R_B so dimensioniert werden, dass der Kollektorstrom $I_{C,AP} = 1\,\mathrm{A}$ beträgt, wenn die Spannung $U_{3,AP} = +15\ \mathrm{V}$ ist.

- Berechnen Sie den Basisstrom $I_{B,AP}$.
- Berechnen Sie den Wert des Basis-Vorwiderstandes R_B.

Hinweis: Beachten Sie, dass die Emitter-Klemme des Transistors NICHT auf dem Bezugspotential der Spannung U_3 liegt!

- Berechnen Sie die Spannung U_3, welche unterschritten werden muss, damit im Heizwiderstand R_H keine Leistung mehr umgesetzt wird.
- Ab welcher Temperatur ϑ_1 wird in R_H keine Leistung mehr umgesetzt?

3.5 Erzeugung der Referenzspannung – (3 Punkte)

Die in den Stufen 1 und 2 benötigte Referenzspannung $U_R = 5\ \mathrm{V}$ soll durch eine geeignete Schaltung aus der Versorgungsspannung $U_{Bat1} = +15\ \mathrm{V}$ gewonnen werden (siehe Bild 3.2). Dabei soll die Referenzspannung U_R auch bei Belastung stabil bleiben.

Zur Verfügung stehen ein OP, sowie drei Widerstände mit jeweils $5\,\mathrm{k\Omega}$.

- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung und begründen Sie, warum Sie diese Schaltung gewählt haben.

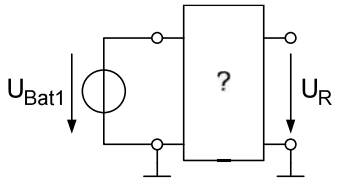


Bild 3.2: Erzeugung der Referenzspannung

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau ***eine*** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
  Richtige Antwort: +1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
  Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Der Ersatzleitwert von *n* in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist

a) die Summe der *n* Widerstände.

b) der Kehrwert der Summe der *n* Widerstände.

c) die Summe der Kehrwerte der *n* Widerstände.

4.2 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.

b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.

c) die Permittivität des Werkstoffes.

4.3 Bei einer realen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

a) abhängig vom Klemmenstrom.

b) unabhängig vom Klemmenstrom.

c) nur abhängig von der Art der Belastung.

4.4 Der von einer Spannungsquelle zu liefernde Strom bei Parallelschaltung von zwei Widerständen ist

a) kleiner als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.

b) größer als bei Reihenschaltung der gleichen Widerstände.

c) unabhängig von der Schaltung der Widerstände.

4.5 Der Strom an den Klemmen einer realen Gleichstromquelle

a) nimmt mit steigender Klemmenspannung ab.

b) ist immer konstant.

c) nimmt mit steigender Klemmenspannung zu.

4.6 Der Überlagerungssatz kann nicht angewendet werden, wenn

a) es sich um ein linearisiertes Netzwerk handelt.

b) es sich um ein Netzwerk mit mehr zwei Quellen handelt.

c) im Netzwerk nichtlineare Elemente enthalten sind.

4.7 Welche Aussage bezüglich einer Spule stimmt? Sprungartig ändern kann sich

a) nur der Spulenstrom.

b) nur die Spannung an der Spule.

c) sowohl der Strom als auch die Spannung.

4.8 Bei der Resonanzfrequenz in einem RLC-Parallelschwingkreis an einer Wechselspannungsquelle

a) erreicht der Strom durch die Schaltung seinen Maximalwert.

b) erreicht der Strom durch die Schaltung seinen Minimalwert.

c) ist die Stromstärke unabhängig von der angelegten Spannung.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls

a) dient der Erhöhung der Kapazität.

b) dient der Erhöhung der Induktivität.

c) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

4.10 Ein p-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.

b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.

c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

a) im 3. Quadraten der Strom-Spannungskennlinie der Diode.

b) nur für spezielle Diodentypen.

c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.12 Eine Schaltung mit einem Operationsverstärker ohne Rückkopplung

a) wird den Operationsverstärker beschädigen.

b) wird als Komparator-Schaltung bezeichnet.

c) wird am Ausgang des Operationsverstärkers immer eine Spannung von exakt 0 V liefern.

4.13 Die Eingangskennlinie eines Bipolartransistors beschreibt

a) die Kollektor-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Kollektorstrom und Kollektor-Emitterspannung an.

b) die Basis-Kollektor-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Kollektorstrom an.

c) die Basis-Emitter-Strecke und gibt die Beziehung zwischen Basisstrom und Basis-Emitterspannung an.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

a) hat einen unendlich großen Eingangswiderstand und einen vernachlässigbar kleinen Ausgangswiderstand.

b) hat einen vernachlässigbar kleinen Eingangswiderstand und einen unendlich hohen Verstärkungsfaktor.

c) hat keinen Ausgangswiderstand und einen sehr niedrigen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 In einer Leiterschleife kann keine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife

a) in einem zeitlich wechselnden Magnetfeld befindet und ruht.

b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.

c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Welche der Aussagen ist für die Dreiecksschaltung richtig?

a) Der Leiterstrom ist gleich dem Strangstrom.

b) Die Außenleiterspannung ist gleich der Strangspannung.

c) Der Strom im Neutralleiter ist immer gleich dem Strangstrom.

4.17 Bei einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist der magnetische Fluss im Stator unter Vernachlässigung der Sättigung

a) abhängig von der Drehzahl.

b) abhängig vom Ankerstrom.

c) unabhängig von Drehzahl und Ankerstrom.

4.18 Durch das Verringern des Erregerstromes I_F einer fremderregten Gleichstrommaschine wird

a) der Fluss ϕ im Stator verkleinert.

b) die Leerlaufdrehzahl n_0 des Motors verkleinert.

c) der Fluss ϕ im Stator vergrößert.

4.19 Das Anlaufdrehmomemt einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.

b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.

c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die Synchrondrehzahl einer Drehstrom-Asynchronmaschine hängt

a) quadratisch von der Spannung des speisenden Netzes ab.

b) vom Produkt aus Spannungsquadrat und Frequenz ab.

c) linear von der Frequenz des speisenden Netzes ab.

Universität Stuttgart

Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

7.3.2013

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1. Impedanzen und Ströme

(Komplexe Größen sind gefragt!)

Impedanz des ersten Zweiges:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + j \cdot \omega \cdot L = R_1 + j \cdot X_L$$

Impedanz des zweiten Zweiges:

$$\underline{Z}_2 = R_1 + R_2$$

Strom im ersten Zweig:

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_1} = \frac{U}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{U}{R_1 + j \cdot X_L} \cdot \frac{R_1 - j \cdot X_L}{R_1 - j \cdot X_L} = U \cdot \left[\frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

Strom im zweiten Zweig:

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{U}{R_2 + R_3}$$

Gesamtstrom:

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = U \cdot \left[\left(\frac{R_1}{R_1^2 + X_L^2} + \frac{1}{R_2 + R_3} \right) - j \cdot \frac{X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

1.2. Teilspannungen und Spannung $\underline{U}_{AB}$

Anmerkung: Wie in den Hinweisen angegeben, sind alle komplexen Größen in der Form:
*Realteil + j * Imaginärteil*
anzugeben! Also darauf achten, dass kein „j“ irgendwo im Nenner steht…

$$\frac{\underline{U}_{R1}}{\underline{U}} = \frac{R_1}{\underline{Z}_1} = \frac{R_1}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{R_1^2 - j \cdot R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$\underline{U}_{R1} = U \cdot \left[\frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\frac{\underline{U}_{XL}}{\underline{U}} = \frac{j \cdot X_L}{\underline{Z}_1} = \frac{j \cdot X_L}{R_1 + j \cdot X_L} = \frac{X_L^2 + j \cdot R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$\underline{U}_L = U \cdot \left[\frac{X_L^2}{R_1^2 + X_L^2} + j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{U}_{R2} = U \cdot \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right]$$

$$\underline{U}_{R3} = U \cdot \left[\frac{R_3}{R_2 + R_3} \right]$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{R1} = U \cdot \left[\frac{R_2}{R_2 + R_3} \right] - U \cdot \left[\frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} - j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{U}_{AB} = U \cdot \left[\left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} \right) + j \cdot \frac{R_1 \cdot X_L}{R_1^2 + X_L^2} \right]$$

Aus dem gegebenen Hinweis:

$$\mathrm{Re}(\underline{U}_{AB}) = \left(\frac{R_2}{R_2 + R_3} - \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2} \right) = 0$$

$$\frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{R_1^2}{R_1^2 + X_L^2}$$

$$X_L^2 = R_1^2 \cdot \frac{R_3}{R_2}$$

$$X_L = R_1 \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

$$\underline{U}_{AB}\Big|_{X_L = R_1\sqrt{\frac{R_3}{R_2}}} = j \cdot U \cdot \frac{R_1 \cdot R_1 \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}}{R_1^2 + R_1^2 \cdot \frac{R_3}{R_2}} = j \cdot U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

1.3. Maximum der Spannung $\underline{U}_{AB}$

$$\underline{U}_{AB} = j \cdot U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

Erst einmal den Betrag bilden:

$$\left|\underline{U}_{AB}\right| = U_{AB} = U \cdot \frac{\sqrt{R_2 \cdot R_3}}{R_2 + R_3}$$

$$u(R_2) = \sqrt{R_2 \cdot R_3} \qquad u'(R_2) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}}$$

$$v(R_2) = R_2 + R_3 \qquad v'(R_2) = 1$$

$$\frac{1}{U} \cdot \frac{dU_{AB}}{dR_2} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) - \sqrt{R_2 \cdot R_3} \cdot 1}{(R_2 + R_3)^2}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{R_3}{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) - \sqrt{R_2 \cdot R_3} \cdot 1 = 0$$

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{\sqrt{R_3}}{\sqrt{R_2}} \cdot (R_2 + R_3) = \sqrt{R_2} \cdot \sqrt{R_3}$$

$$\frac{1}{2} \cdot (R_2 + R_3) = R_2$$

$R_2 = R_3$ R_2 und R_3 müssen gleich groß sein!

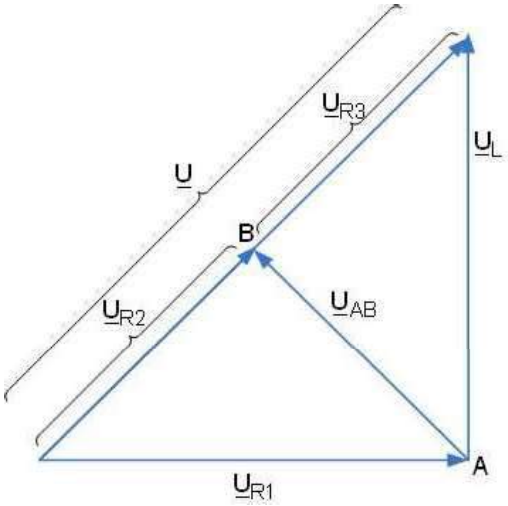
1.4. Zeigerdiagramm

Da $X_L = R_1$ folgt $U_{R1} = U_L \triangleq 8\,\text{cm}$ *(die ZeigerLÄNGEN sind gleich)*

Da $R_2 = R_3$ folgt, dass die Teilspannungen gleich groß sind.

Da der Zweig rein ohmsch ist, folgt: $U_{R2} = U_{R3} = \frac{U}{2}$

Das Zeigerdiagramm kann somit längen- und winkelgetreu konstruiert werden:



Aufgabe 2: Kreissäge

TEIL I: Asynchronmaschine als Sägeblattantrieb

2.1 Maschinendaten: Drehzahl und Schlupf – (3 Punkte)

- Es gilt: $n_{sync} = \frac{f_{Netz}}{p}$

  $p = 1 \rightarrow n_{sync} = 3000\,\text{min}^{-1} \rightarrow s_N = 67\%$

  $p = 2 \rightarrow n_{sync} = 1500\,\text{min}^{-1} \rightarrow s_N = 35{,}3\%$

  $p = 3 \rightarrow n_{sync} = 1000\,\text{min}^{-1} \rightarrow s_N = 3\%$

  $p = 4 \rightarrow n_{sync} = 750\,\text{min}^{-1} \rightarrow s_N = -29{,}3\%$

  Also: $p = 3 \rightarrow n_{sync} = 1000\,\text{min}^{-1}$ alles andere ist unsinnig

- $s_N = \frac{n_{sync} - n_N}{n_{sync}} = 3\%.$

2.2 Maschinendaten: Momente – (3 Punkte)

- Mit Stillstandspunkt:

$n_{st} = 0\,\text{min}^{-1} \quad \rightarrow \quad s_{st} = 1$

$M_{el,st} = 17,71\,\text{Nm}$

In Kloss'sche Formel eingesetzt:

$$\frac{M_{el,st}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_{st}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{st}}} \rightarrow M_{el,K} = \frac{M_{el,st}}{2} \cdot \left(\frac{s_{st}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{st}} \right)$$

$$M_{el,K} = \frac{17,71\,\text{Nm}}{2} \cdot \left(\frac{1}{0,1} + \frac{0,1}{1} \right) = 89,4355\,\text{Nm}$$

- Nennmoment M_N der ASM über Kloss:

$$\frac{M_{el,N}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}} \rightarrow M_{el,N} = \frac{2 \cdot M_{el,K}}{\frac{s_N}{s_K} + \frac{s_K}{s_N}} \overset{\text{Keine Reibung}}{=} M_N$$

$$M_N = \frac{2 \cdot 89,4355\,\text{Nm}}{\frac{0,03}{0,1} + \frac{0,1}{0,03}} = 49,23\,\text{Nm}$$

Anmerkung: Sind Ersatzwerte gegeben, so dürfen diese in den FOLGENDEN Aufgaben verwendet werden, jedoch NICHT INNERHALB der momentanen Teilaufgabe

2.3 Nennbetrieb der ASM (Sägen) – (6 Punkte)

- Berechnen Sie die Nennleistung P_N der ASM.

$P_N = \Omega_N \cdot M_N = 2\pi \cdot n_N \cdot M_N$

$$P_N = 2\pi \cdot \frac{970\,\text{min}^{-1}}{60\,\frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot 49,23\,\text{Nm} = 5\,\text{kW}$$

- Luftspaltleistung $P_{\delta,N}$ und aufgenommene Wirkleistung $P_{auf,N}$:

Aus Wirkungsgrad:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{auf,N}} \rightarrow P_{auf,N} = \frac{P_N}{\eta_N}$$

$$P_{auf,N} = \frac{5000\,\text{W}}{0,97} = 5154,6\,\text{W}$$)

Da keine Verluste im Stator: $P_{auf,N} = P_{\delta,N} = 5154,6\,\text{W}$

Verlustleistung $P_{V,N}$ bei Nennbetrieb:

$P_{V,N} = P_{auf,N} - P_N$

$P_{V,N} = 5154,6\,\text{W} - 5000\,\text{W} = 154,6\,\text{W}$

- Berechnen Sie den Effektivwert I_L des Leiterstroms an den Anschlussklemmen der ASM bei Nennbetrieb:

Es gilt (mit Leitergrößen):

$P_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \cos(\varphi_N)$

$$I_L = \frac{P_{auf,N}}{\sqrt{3} \cdot U_L \cdot \cos(\varphi_N)}$$

$$I_L = \frac{5154,6\,\text{W}}{\sqrt{3} \cdot 400\,\text{V} \cdot 0,94} = 7,91\,\text{A}$$

- Blindleistung $Q_{auf,N}$ bei Nennbetrieb:

$Q_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \sin(\varphi_N)$

$Q_{auf,N} = \sqrt{3} \cdot 400\,\text{V} \cdot 7,91\,\text{A} \cdot \sin(\arccos(0,94)) = 1870\,\text{var (induktiv)}$

2.4 Realer Leerlauf der ASM (AP1) – (2 Punkte)

Wenn kein Werkstück gesägt wird (AP1), wird die ASM mit einem Moment von $M_{AP1} = 5\,\text{Nm}$ belastet.

- Berechnen Sie die Drehzahl n_{AP1} der ASM in der Einheit min^{-1}.

  Über Kloss'sche Formel:

$$\frac{M_{AP1}}{M_{el,K}} = \frac{2}{\frac{s_{AP1}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{AP1}}} \rightarrow \frac{s_{AP1}}{s_K} + \frac{s_K}{s_{AP1}} = \frac{2 \cdot M_{el,K}}{M_{AP1}}$$

$$\frac{s_{AP1}}{0,1} + \frac{0,1}{s_{AP1}} = \frac{2 \cdot 89,4355\,\text{Nm}}{5\,\text{Nm}} = 35,7742$$

$$(s_{AP1})^2 - 357,742 \cdot s_{AP1} + 1 = 0$$

$$s_{AP1\,1,2} = \frac{357,742}{2} \pm \frac{\sqrt{(357,742)^2 - 4}}{2} = 178,871 \pm 178,868$$

$$s_{AP1} = 0,28\%$$

$$(s_{AP1} = 357,7 \;\text{ ist unsinnig})$$

$$n_{AP1} = n_{sync}(1 - s_{AP1}) = 997,2\,\text{min}^{-1}$$

TEIL II: Gleichstrommaschine als Förderantrieb ODER Kühlmittelpumpe

2.5 Nennbetrieb der GM – (6 Punkte)

- Nennleistung P_N (abgegebene Leistung):

$$\eta_N = \frac{P_N}{U_{A,N} \cdot I_{A,N}} \rightarrow P_N = U_{A,N} \cdot I_{A,N} \cdot \eta_N$$

$$P_N = 24\,\text{V} \cdot 2,5\,\text{A} \cdot 0,85 = 51\,\text{W}$$

Kontrolle:

*Anmerkung: Die abgegebene Leistung muss kleiner sein als die aufgenommene Leistung (also hier: kleiner als24V*2,5A=60W). Desweiteren arbeitet die Maschine als Motor, daher wird die Leistung mechanisch abgegeben (also NICHT an den Ankerklemmen)*
*Wer hier P_N=24V*2,5A=60W berechnet, versaut sich die halbe Aufgabe…*

- Verlustleistung im Ankerwiderstand $P_{VA,N}$:

$$P_{VA,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} - P_N$$

$$P_{VA,N} = 24\,\text{V} \cdot 2,5\,\text{A} - 51\,\text{W} = 9\,\text{W}$$

Auch möglich (aber Vorsicht, die „Formel" gilt nur hier, also bei permanentmagnetisch erregter GM im Motorbetrieb):

$$P_{VA,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} \cdot (1 - \eta_N)$$

- Ankerwiderstand R_A:

$$P_{VA,N} = (I_{A,N})^2 \cdot R_A \rightarrow R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2}$$

$$R_A = \frac{9\,\text{W}}{(2,5\,\text{A})^2} = 1,44\,\Omega$$

- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$

$$U_{i,N} \cdot I_{A,N} = P_{i,mech,N} \overset{\text{keine Reibung}}{=} P_N \rightarrow U_{i,N} = \frac{P_N}{I_{A,N}}$$

$$U_{i,N} = \frac{51\,\text{W}}{2{,}5\,\text{A}} = 20{,}4\,\text{V}$$

- Nenndrehzahl des Motors n_N in min^{-1}:

  aus $c\Phi = \text{konstant}$ da permanentmagnetisch erregt

  und $U_{i,0} = U_{A,N}$ da $I_A = 0$

$$\frac{\Omega_N}{\Omega_0} = \frac{U_{i,N}}{U_{i,0}} = \frac{n_N}{n_0} \rightarrow n_N = n_0 \frac{U_{i,N}}{U_{i,0}}$$

$$n_N = 2000\,\text{min}^{-1} \cdot \frac{20{,}4\,\text{V}}{24\,\text{V}} = 1700\,\text{min}^{-1}$$

- Abgegebenes Nennmoment M_N

$$P_N = \Omega_N \cdot M_N \rightarrow M_N = \frac{P_N}{2\pi \cdot n_N}$$

$$M_N = \frac{51\,\text{W}}{2\pi \cdot \frac{1700\,\text{min}^{-1}}{60\,\frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0{,}286\,\text{Nm}$$

Aufgabe 3: Temperaturmessung und Heizung

3.1 Stufe 1: Messung – (4 Punkte)

- Nichtinvertierender Verstärker *(mit Vorspannungsteiler)*
- Aus Formelsammlung:

$$U_2 = \underbrace{U_R \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2}}_{U_1} \cdot \underbrace{\left(1 + \frac{R_4(\vartheta)}{R_3}\right)}_{V_1}$$

$$= U_R \cdot \frac{R}{R+R} \cdot \left(1 + \frac{R \cdot (1 + \frac{\vartheta - 20^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}})}{R}\right)$$

$$= U_R \cdot \frac{R}{2 \cdot R}\left(1 + 1 + \frac{\vartheta - 20^\circ\text{C}}{1000^\circ\text{C}}\right) \quad .$$

$$= U_R \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20^\circ\text{C}}{2000^\circ\text{C}}\right)$$

Anmerkung: *Eine Einheitenkontrolle schadet nie… Es soll eine Funktion für eine Spannung bestimmt werden, also muss auch etwas in Volt dabei rauskommen*
Bleibt z.B. ein einzelner Widerstand nach der Vereinfachung übrig (oder kommt eben nicht Volt als Einheit heraus), so ist das das allerbeste Anzeichen dafür das man sich verrechnet hat…
Wenn bei einem Ergebnis nicht einmal die Einheit stimmt, so tendiert die Chance auf Folgefehler noch Punkte zu bekommen gegen Null…

- Aus der Berechnungsvorschrift für R_4 ist erkennbar, dass der Widerstand mit steigender Temperatur zunimmt, daher ist es ein KALTLEITER

  (je kälter es ist, desto besser leitet der Widerstand, daher der Name KaltLEITER))

3.2 Stufe 2: Verarbeitung – (4 Punkte)

- Subtrahierer
- Aus Formelsammlung:

$$U_3 = \frac{R_G}{R} \cdot (U_R - U_2)$$

- Somit mit Ergebnis aus 3.1:

$$U_3 = \frac{R_G}{R} \cdot \left(U_R - U_R \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C} \right) \right)$$

$$= -\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(\frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C} \right)$$

(auch hier: siehe Anmerkung 3.1)

- Einstellung der Verstärkung:

$$U_3(\vartheta = 0^\circ C) = 15\ V$$

$$15\ V = -\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(\frac{0^\circ C - 20^\circ C}{2000^\circ C} \right)$$

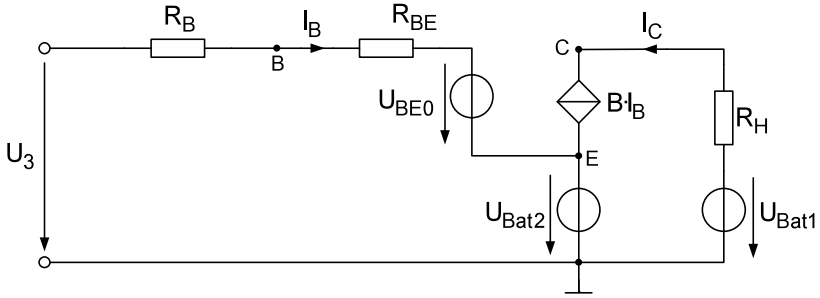
$$15\ V = -\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(-\frac{1}{100} \right)$$

$$R_G = \frac{15\ V}{U_R} \cdot 100 \cdot R$$

$$R_G = \frac{15\ V}{5\ V} \cdot 100 \cdot 1\,k\Omega = 300\,k\Omega$$

3.3 Stufe 3: Transistor – Gleichstromersatzschaltbild (4 Punkte)

- GS-ESB:



(„einfach“ nur den Transistor rausnehmen und dafür sein ESB einzeichnen…

Und: Hinweise beachten!

Der Emitter liegt hier eben NICHT auf Masse.

Nur die Elemente einzeichnen, die auch berücksichtig werden.)

3.4 Stufe 3: Transistor – Dimensionierung (5 Punkte)

- Basisstrom:

$$I_B = \frac{I_C}{B} \rightarrow I_{B,AP} = \frac{I_{C,AP}}{B}$$

$$I_{B,AP} = \frac{1\,A}{100} = 10\,mA$$

- Maschengleichung B-E-Kreis:

$$U_3 = R_B \cdot I_{B,AP} + R_{BE} \cdot I_{B,AP} + U_{BE0} + U_{Bat2}$$

$$U_3 - U_{BE0} - U_{Bat2} = (R_B + R_{BE}) \cdot I_{B,AP}$$

$$R_B + R_{BE} = \frac{U_3 - U_{BE0} - U_{Bat2}}{I_{B,AP}}$$

$$R_B + 100\,\Omega = \frac{+15\,V - 0{,}6\,V - (-15\,V)}{10\,mA}$$

$$R_B = 2940\,\Omega - 140\,\Omega = 2{,}8\,k\Omega$$

- Keine Heizleistung bei $I_C = 0$, also muss auch $I_B = 0$ sein.

  Aus GS-ESB:

  $U_3 \le U_{Bat2} + U_{BE0}$ damit kein Strom in die Basis fließt

  $U_3 \le (-15\,V + 0{,}6\,V)$

  $U_3 \le -14{,}4\,V$

- Welche Temperatur?:

$$U_3(\vartheta_1) \le -14{,}4\,V$$

$$-\frac{R_G}{R} \cdot U_R \cdot \left(\frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C}\right) \le -14{,}4\,V$$

$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C}\right) \ge 14{,}4\,V \frac{R}{R_G \cdot U_R}$$

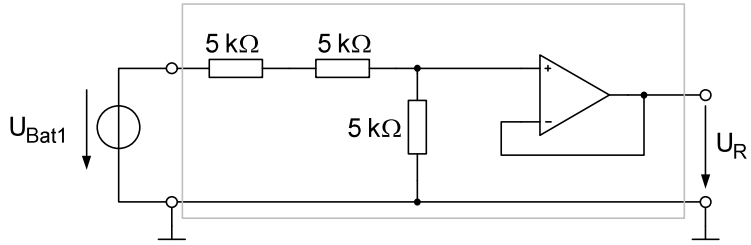
$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C}\right) \ge 14{,}4\,V \frac{1\,k\Omega}{300\,k\Omega \cdot 5\,V}$$

$$\left(\frac{\vartheta - 20^\circ C}{2000^\circ C}\right) \ge 9{,}6 \cdot 10^{-3}$$

$$\vartheta_1 \ge 39{,}2^\circ C$$

3.5 Erzeugung der Referenzspannung – (3 Punkte)

- ´Spannungsteiler auf 5V mit anschließendem Impedanzwandler, da Impedanzwandlerschaltung einen geringen Ausgangswiderstand und hohen Eingangswiderstand besitzt und dadurch der Spannungsteiler nicht durch die weiteren Schaltungsteile belastet wird



Anmerkung: Es muss eine positive Verstärkung kleiner 1 realisiert werden… Dies ist weder mit den Nichtinvertierenden Verstärker (ist zwar positive Verstärkung, jedoch nur GRÖßER 1) noch mit dem Invertierenden Verstärker (zwar betragsmäßig kleiner 1, jedoch negative Verstärkung) möglich

Universität Stuttgart

iew Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp,..)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

13.09.2012

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4 gilt:

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung (bestehend aus zwei ohmschen Widerständen R_1 und R_2, einer Spule L und einem Kondensator C) wird an einer sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben. Der Brückenzweig AB ist stets unbelastet.

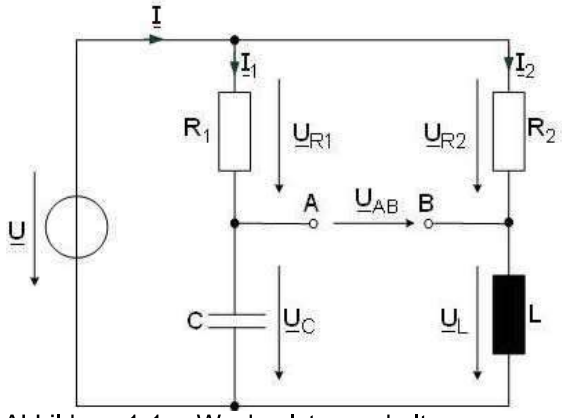


Abbildung 1-1: Wechselstromschaltung

Zuerst soll das maßstäbliche Zeigerdiagramm der Schaltung erstellt werden. Anschließend soll dann die Abhängigkeit der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig genauer untersucht werden.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung	$\underline{U} = U \cdot e^{j \cdot 0°}$
Widerstände	$R_1 = R_2 = R$
Blindwiderstand der Spule	$X_L = \omega \cdot L$
Blindwiderstand des Kondensators	$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$

Konkrete Werte sind in den jeweiligen Fragen gegeben.

Fragen:

Zunächst sei $R_1 = R_2 = R = 200\ \Omega$, $X_L = X_C = 400\ \Omega$ und $I_1 = I_2 = 1\ A$.

1.1 Zeigerdiagramm – (7 Punkte)

Berechnen Sie die Effektivwerte U_{R1}, U_{R2}, U_C, U_L der Spannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_{R2}$, $\underline{U}_C$, $\underline{U}_L$ und zeichnen Sie ein maßstäbliches Zeigerdiagramm, welches sämtliche Ströme und Spannungen enthält; verwenden Sie als Spannungsmaßstab $50\,V \mathrel{\hat{=}} 1cm$ und als Strommaßstab $1A \mathrel{\hat{=}} 5cm$.

Bestimmen Sie aus dem maßstäblichen Zeigerdiagramm den Effektivwert U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$, den Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$ und den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$.

Wie groß ist der Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$?

Wie ist die Phasenlage der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Vergleich zur Spannung $\underline{U}$?

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{U} = U = 450\ V$ weiter.

Nun sei allgemein $R_1 = R_2 = R$ und $X_L = X_C$.

1.2 Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig AB – (4 Punkte)

Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_{AB}$ allgemein in Abhängigkeit von R, X_L und $\underline{U}$.

Stellen Sie das Ergebnis in der Form $\underline{U}_{AB} = \underline{U} \cdot \dfrac{\underline{A}}{R^2 + X_L^2}$ dar und geben Sie

$\underline{A} = f(j, R, X_L)$ an.

Bestimmen Sie die Werte der Spannung $\underline{U}_{AB}$ für den Fall $R = 0\,\Omega$ und $R \to \infty\,\Omega$.

Für den Betrag (Effektivwert) U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig erhält man unter der Voraussetzung $R_1 = R_2 = R$ und $X_L = X_C$ folgende Beziehung:

$$U_{AB} = U_{AB}(R) = U \cdot \frac{2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2}$$

1.3 Maximum des Betrages der Spannung U_{AB} – (6 Punkte)

Berechnen Sie den Wert $R = R_0$, für welchen der Effektivwert U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ maximal wird.

Wie groß wird U_{AB} für $R = R_0$ (Zahlenwert)?

Hinweis: Lokale Extrema einer Funktion $f(x)$ erhalten Sie, indem Sie die erste Ableitung $\dfrac{df(x)}{dx} = f'(x)$ zu Null setzen! Die Ableitung einer Funktion $f(x) = \dfrac{u(x)}{v(x)}$ erhalten Sie nach der Quotientenregel zu:

$$\frac{df(x)}{dx} = \frac{u'(x) \cdot v(x) - u(x) \cdot v'(x)}{v(x)^2}.$$

Dabei ist $u'(x) = \dfrac{du(x)}{dx}$ und $v'(x) = \dfrac{dv(x)}{dx}$.

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (3 Punkte)

Bestimmen Sie die von der Schaltung aufgenommene Wirkleistung P, die Blindleistung Q und die Scheinleistung S für den Fall $R_1 = R_2 = X_L = X_C = 400\ \Omega$.

Aufgabe 2: Ersatzspannungsquelle, Gleichstrommaschine als Generator

Abbildung 2-1 zeigt die Anordnung einer Taschenlampenbatterie, welche über eine Handkurbel mit angeschlossener permanentmagnetisch erregter Gleichstrommaschine geladen werden kann. Das Getriebe zwischen Kurbel und GM wird in dieser Aufgabe nicht näher betrachtet und darf als ideal angenommen werden.

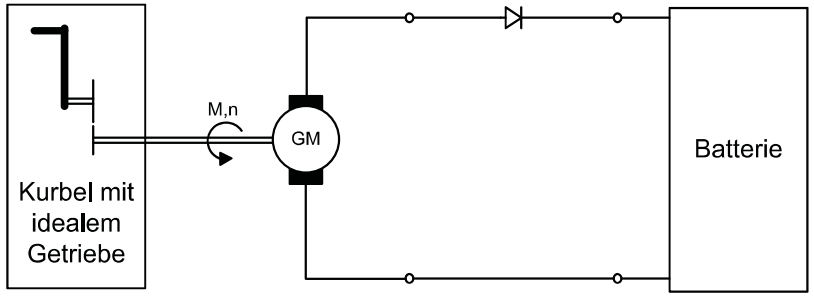


Abbildung 2-1: Anordnung einer Kombination von Batterie mit handbetriebenem Generator

Zuerst wird die Batterie betrachtet. Diese besteht aus 2 parallel geschalteten Zellen. Das Ersatzschaltbild ist in Abbildung 2-2a zu sehen. Mit der Methode der Ersatzspannungsquelle soll dieses ESB weiter vereinfacht werden (Abbildung 2-2b).

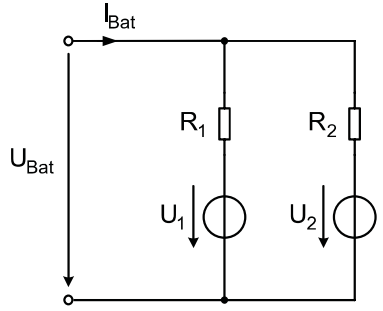


Abbildung 2-2a: Ersatzschaltbild der Batterie

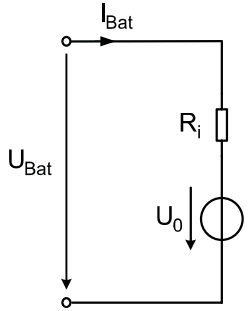


Abbildung 2-2b: Batterie als Ersatzspannungsquelle

Von der Batterie und der Diode sind folgende Daten bekannt:

Spannungen	$U_1 = U_2 = 3{,}6\,\mathrm{V}$
Innenwiderstände	$R_1 = 75\,\mathrm{m\Omega}$, $R_2 = 150\,\mathrm{m\Omega}$
Diode	Ideal

Anschließend soll das Verhalten der Gleichstrommaschine im Generatorbetrieb untersucht werden. Das elektrische Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung ist in der folgenden Abbildung 2-3 zu sehen.

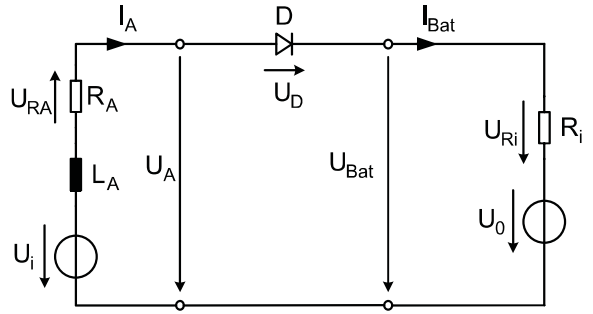


Abbildung 2-3: Elektrisches Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 3{,}7\,\mathrm{V}$
Nennleistung (an den Ankerklemmen)	$P_{A,N} = 7{,}4\,\mathrm{W}$
Verlustleistung im Ankerwiderstand bei Nennstrom	$P_{VA,N} = 4{,}6\,\mathrm{W}$
Inneres, elektrisches Nennmoment	$M_{i,N} = 19{,}1 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{Nm}$
Reibmoment (konstant bei allen Drehzahlen)	$M_{Rbg} = 5 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{Nm}$

Folgende Annahmen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen der GM sind Gleichgrößen.
3. Die Drehzahl n, das Drehmoment M, sowie der Ankerstrom I_A sind positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet.
4. Innerhalb der GM dürfen bis auf die ohmschen Ankerverluste und die Reibung alle Verlusteffekte vernachlässigt werden

Fragen:

2.1 Ersatzspannungsquelle der Batterie – (4 Punkte)

- Berechnen Sie für die gegebenen Werte von U_1, U_2, R_1 und R_2 die Werte der Ersatzspannungsquelle U_0, sowie den Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle R_i.
- Berechnen Sie allgemein, also als ob die Werte von U_1, U_2, R_1 und R_2 nicht bekannt wären, die Leerlaufspannung $U_{Bat,LL}$ sowie den Kurzschlussstrom $I_{Bat,KS}$ an den Batterieklemmen in Abhängigkeit von U_1, U_2, R_1 und R_2.

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_0 = 3{,}5$ V *sowie* $R_i = 100$ mΩ *weiter.*

2.2 Leistung in der Batterie – (3 Punkte)

- Berechnen Sie die Verlustleistung $P_{VBat,N}$, welche in der Batterie auftritt, sowie die Leistung $P_{Lade,N}$, mit der die Batterie nach Abzug der Verluste aufgeladen wird, wenn die GM im Nennbetrieb arbeitet, also wenn gilt: $U_{Bat} = U_{Bat,N} = 3{,}7\,\text{V}$

Hinweis: Die Methode der Ersatzspannungsquelle mit Innenwiderstand beschreibt nur das Klemmverhalten von Strom und Spannung korrekt. Die Verlustleistung am Innenwiderstand der Ersatzspannungsquelle entspricht in der Regel NICHT den Verlusten der originalen Schaltung!

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P_{VBat,N} = 0{,}4$ W *sowie* $P_{Lade,N} = 7$ W *weiter.*

Nun wird die Gleichstrommaschine betrachtet:

2.3 Nennbetrieb der Gleichstrommaschine – (8 Punkte)

Berechnen Sie die folgenden Größen der Gleichstrommaschine und geben Sie immer zuerst die allgemeine Abhängigkeit von den anderen Größen an. Setzten Sie bekannte oder bereits berechnete Zahlenwerte immer erst am Ende der jeweiligen Rechnung ein und runden Sie das Ergebnis sinnvoll.

- Ankernennstrom $I_{A,N}$
- Ankerwiderstand R_A
- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb $U_{i,N}$
- Innere mechanische Leistung bei Nennbetrieb $P_{mechi,N}$
- Nenndrehzahl des Motors n_N in min^{-1}
- Produkt aus Maschinenkonstante und Erregerfluss $c \cdot \Phi$
- Verlustleistung durch Reibung im Motor $P_{Rbg,N}$ bei Nennbetrieb
- Die Leistung die an der Kurbel aufgebracht werden muss, damit der Motor im Nennbetrieb arbeitet $P_{Kurbel,N}$

Hinweis: Wenn Sie Frage 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P_{mechi,N} = 12$ W *sowie* $P_{Rbg,N} = 3$ W *und* $P_{Kurbel,N} = 15$ W *weiter.*

2.4 Leistungsflussdiagramm für den Nennbetrieb – (2 Punkte)

- Zeichnen Sie ein maßstäbliches Leistungsflussdiagramm der gesamten Anordnung. Verwenden Sie als Maßstab für die Breite der Pfeile: 1cm $\hat{=}$ 1W und verwenden Sie ein Lineal.

2.5 Niedrige Motordrehzahl – (3 Punkte)

Die Maschine wird durch die Kurbel so angetrieben, dass die induzierte Spannung $U_{i,AP1} = 3\,V$ beträgt (Arbeitspunkt 1).

- Wie groß ist die Motordrehzahl n_{AP1}
- Warum fließt in diesem Arbeitspunkt kein Ankerstrom?
- Ab welcher Motordrehzahl beginnt ein Stromfluss in die Batterie?

Aufgabe 3: Diode, Transistorverstärker

In Telekommunikationsnetzen wird ein Glasfaserkabel zur Langstrecken-Übertragung von Signalen verwendet. Beim Übergang vom Glasfaserkabel in die Kupferleitungen der Enduser-Anschlüsse wird das ankommende optische Signal wieder in ein elektrisches Signal zurück gewandelt. In Abbildung 3-1 ist die gesamte Signalübertragungsstecke schematisch dargestellt.

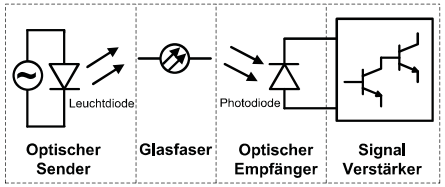


Abbildung 3-1: Komponenten der optischer Signalübertragung

Die Schaltung der Signalübertragungsstrecke ist vereinfacht in Abbildung 3-2 dargestellt. Sie kann in 3 Teilschaltungen unterteilt werden:

1. „Optischer Sender“ zur Umwandlung des elektrischen in ein optisches Signal.
2. „Optischer Empfänger“ zum Empfang des optischen Signals und dessen Umwandlung in ein elektrisches Signal. Die Photodiode kann vereinfacht als Stromquelle $i_{D2}(t)$ angesehen werden.
3. „Signal- und Leistungsverstärker“ zur Verstärkung des elektrischen Signals $u_{e2}(t)$ und Ausgabe des verstärkten Signals an die Last R_L.

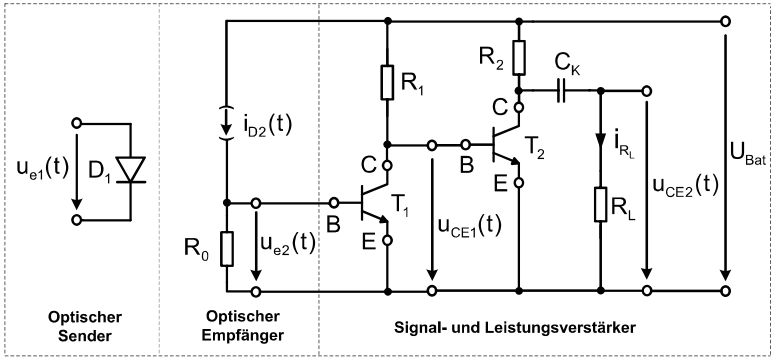


Abbildung 3-2: Schaltung der optischen Signalübertragungsstrecke

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung	$U_{Bat} = 12\,V$
Leuchtdiode D_1	
Schwellenspannung	$U_S = 0{,}6\,V$
Dynamischer Widerstand	$R_D = 50\,\Omega$
Signalspannung	$u_{e1}(t) = U_{e1(AP)} + \hat{u}_{e1} \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$
	$U_{e1(AP)} = 1{,}1\,V$
	$\hat{u}_{e1} = 50\,mV$
	$f = 20\,MHz$
Photodiode D_2	
Quellenstrom	$i_{D2}(t) = I_{D2(AP)} + \hat{i}_{D2} \cdot \cos(2\pi f \cdot t)$
	$I_{D2(AP)} = 116\,mA$
	$\hat{i}_{D2} = 4{,}4\,mA$

Werte der beiden baugleichen Transistoren T_1 und T_2

Stromverstärkung	$B = \beta = 100$
Basis-Emitter-Widerstand	$R_{BE} = 100\,\Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} \to \infty$
Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode	$U_{BE0} \to 0\,V$
Kollektor-Emitter-Spannung von T_2 im Arbeitspunkt	$U_{CE2(AP)} = 8\,V$
Kollektorstrom von T_2 im Arbeitspunkt	$I_{C2(AP)} = 0{,}4\,A$

Widerstände	$R_0 = R_1 = R_L = 10\,\Omega$
Koppelkondensator	$C_K \to \infty$

Fragen:

3.1 Optischer Sender – (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) der Leuchtdiode D_1 mit U_{e1} und das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) von D_1 mit $u_{e1}(t)$.
- Berechnen Sie die mittlere Leistung $P_{D1(AP),}$ welche durch den Gleichspannungsanteil U_{e1} am dynamischen Widerstand R_D der Leuchtdiode umgesetzt wird.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass die Spannungsquelle im Dioden-ESB eine Gleichspannungsquelle ist.

3.2 Optischer Empfänger – (2 Punkte)

Die Empfängerstufe darf hier isoliert betrachtet werden, d.h. der Einfluss des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“ darf hier vernachlässigt werden.

- Berechnen Sie den Gleichspannungsanteil $U_{e2(AP)}$ und den Scheitelwert des sinusförmigen Spannungsanteils $\hat{u}_{e2}$ aus dem gegebenen Quellenstrom der Photodiode D_2 allgemein und mit Zahlenwerten.

3.3 Gleichstromersatzschaltbild– (4 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“. Versehen Sie das GS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein:
  R_1, R_2, U_{e2}, U_{Bat} sowie
  I_{B1}, I_{C01}, U_{CE1}, R_{BE1} von Transistor T_1 und
  I_{B2}, I_{C02}, U_{CE2}, R_{BE2} von Transistor T_2.

3.4 Arbeitspunkteinstellung– (3 Punkte)

- Bestimmen Sie den Widerstand R_2, den Basisstrom $I_{B2(AP)}$ von T_2 und die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE1(AP)}$ von T_1, sodass der Transistor T_2 im gewünschten Arbeitspunkt betrieben wird.

Hinweis: Sollten Sie Frage 3.4 nicht gelöst haben, können Sie im Folgenden mit R_2=10 Ω weiterarbeiten.

3.5 Wechselstromersatzschaltbild– (4 Punkte)

- Zeichen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) des Schaltungsteils „Signal- und Leistungsverstärker“. Versehen Sie das WS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein:
  R_1, R_2, R_L und $u_{e2}(t)$
  $i_{B1}(t)$, $i_{C01}(t)$, $u_{CE1}(t)$, R_{BE1} von Transistor T_1
  $i_{B2}(t)$, $i_{C02}(t)$, $u_{CE2}(t)$, R_{BE2} von Transistor T_2

Im Folgenden soll die Kollektor-Basisspannungsamplitude $\hat{u}_{CE2} = 2\,\mathrm{V}$ betragen.

3.6 Wechselstromanalyse– (4 Punkte)

- Berechnen Sie die Kollektor-Basis-Wechselstromamplitude $\hat{i}_{CO2}$, die Amplitude $\hat{i}_{B2}$ des Basiswechselstromanteils von T_2.
- Welche Funktion besitzt Transistor T_1?
  Mit welchem anderen Bauelement könnte man die Funktion auch erfüllen?

Aufgabe 4: Multiple Choice

- Pro Frage ist genau ***eine*** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
  Richtige Antwort: +1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
  Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Die elektrische Leitfähigkeit eines Werkstoffes ist charakterisiert durch

a) den spezifischen Widerstand des Werkstoffes.

b) die relative Permeabilität des Werkstoffes.

c) die Dielektrizitätszahl des Werkstoffes.

4.2 Der Ersatzwiderstand von *n* in Serie geschalteten ohmschen Widerständen ist

a) die arithmetische Summe der *n* Widerstände.

b) der Kehrwert der Summe der Leitwerte der *n* Widerstände.

c) die Summe der Kehrwerte der *n* Widerstände.

4.3 Bei einer idealen Gleichspannungsquelle ist die Klemmenspannung

a) abhängig vom Klemmenstrom.

b) unabhängig vom Klemmenstrom.

c) abhängig von der Art der Belastung.

4.4 Eine reale Stromquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch die

a) Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

b) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und einer Induktivität.

c) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

4.5 Der Überlagerungssatz kann nur dann angewendet werden, wenn

a) es sich um ein lineares bzw. linearisiertes Netzwerk handelt.

b) es sich um ein Gleichstromnetzwerk mit genau zwei Quellen handelt.

c) im Netzwerk nur sinusförmige Spannungen und Ströme auftreten.

4.6 Der Strom durch eine ideale Spule

a) ist mit der Spannung an der Spule in Phase.

b) eilt der Spannung an der Spule um $\frac{\pi}{2}$ vor.

c) eilt der Spannung an der Spule um $\frac{\pi}{2}$ nach.

4.7 Die komplexe Impedanz $\underline{Z}_L$ einer Spule ist definiert als

a) $\underline{Z}_L = j\omega C$

b) $\underline{Z}_L = j\omega L$

c) $\underline{Z}_L = \frac{1}{j\omega L}$

4.8 Welche Aussage bezüglich eines Kondensators stimmt?

a) Nur der Kondensatorstrom kann springen.

b) Nur die Spannung am Kondensator kann springen.

c) Sowohl Strom als auch Spannung können springen.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls

a) dient der Erhöhung der Kapazität.

b) dient der Reduzierung der Leitfähigkeit.

c) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

4.10 Ein n-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.

b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.

c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Ein pn-Übergang wird leitend, wenn

a) die Breite der Sperrschicht zunimmt.

b) die Breite der Sperrschicht konstant bleibt.

c) die Breite der Sperrschicht abnimmt.

4.12 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode enthält u.a.

a) eine Gleichspannungsquelle und einen Widerstand.

b) eine ideale Diode und eine stromgesteuerte Stromquelle.

c) eine stromgesteuerte Spannungsquelle und einen Widerstand.

4.13 Das in der Lehrveranstaltung vorgestellte elektrische Ersatzschaltbild eines Bipolartransistors enthält eine gesteuerte Quelle. Welche Aussage stimmt?

a) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) Es handelt sich um eine stromgesteuerte Stromquelle.

c) Es handelt sich um eine spannungsgesteuerte Spannungsquelle.

4.14 Bei einem invertierenden Verstärker mit idealem Operationsverstärker

a) sind die Eingänge des Operationsverstärkers stromlos.

b) muss der Eingangswiderstand des Operationsverstärkers klein sein.

c) darf der Ausgang des Operationsverstärkers nicht belastet werden.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 In einer Leiterschleife kann eine Spannung induziert werden, wenn sich die Leiterschleife

a) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet und ruht.

b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht.

c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.16 Welche der Aussagen ist richtig?

a) Bei der Sternschaltung ist der Leiterstrom gleich dem Strangstrom.

b) Bei der Sternschaltung ist die Leiterspannung gleich der Strangspannung.

c) Bei der Sternschaltung ist der Strom im Neutralleiter immer gleich dem Strangstrom.

4.17 Die Lorentzkraft beschreibt

a) die Kraft auf sich in einem Magnetfeld bewegende Elektronen und ist unter anderem abhängig von der Elektronengeschwindigkeit.

b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.

c) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unabhängig von der elektrischen Stromstärke.

4.18 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

a) der Ankerspannung U_A, dem Ankerwiderstand R_A und dem Erregerstrom I_F.

b) der Ankerspannung U_A und dem Ankernennstrom I_{AN}.

c) dem Ankernennstrom I_{AN} und der Leerlaufdrehzahl n_0.

4.19 Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn nur

a) die Ankerspannung U_A vergrößert wird.

b) der magnetische Fluss durch den Rotor vermindert wird.

c) der magnetische Fluss durch den Rotor vergrößert wird.

4.20 Die synchrone Winkelgeschwindigkeit einer Asynchronmaschine

a) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Belastung ab.

b) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Polpaarzahl der Asynchronmaschine ab.

c) hängt vom Produkt aus Spannungsquadrat und Frequenz ab.

Universität Stuttgart

iew Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

13.09.2012

Lösungsvorschläge zur Prüfung

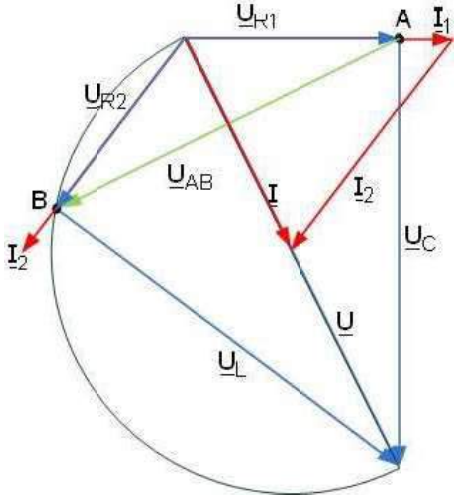
Aufgabe 1

1.1. Zeigerdiagramm

Beträge (Effektivwerte) der Teilspannungen:

$U_{R1} = R_1 \cdot I_1 = 200\ \Omega \cdot 1\,A = 200\ V \ \hat{=}\ 4\ cm$
$U_{R2} = R_2 \cdot I_2 = 200\ \Omega \cdot 1\,A = 200\ V \ \hat{=}\ 4\ cm$
$U_C = X_C \cdot I_1 = 400\ \Omega \cdot 1\,A = 400\ V \ \hat{=}\ 8\ cm$
$U_L = X_L \cdot I_2 = 400\ \Omega \cdot 1\,A = 400\ V \ \hat{=}\ 8\ cm$

Maßstäbliches Zeigerdiagramm:



Aus dem maßstäblichen Zeigerdiagramm kann abgemessen werden:

$$\underline{U} \ \hat{=}\ 9\ cm \quad \Leftrightarrow \quad U = 9\ cm \cdot \frac{50\ V}{1\ cm} = 450\ V$$

$$\underline{U}_{AB} \ \hat{=}\ 7{,}4\ cm \quad \Leftrightarrow \quad U_{AB} = 7{,}4\ cm \cdot \frac{50\ V}{1\ cm} = 370\ V$$

$$\underline{I} \ \hat{=}\ 4{,}5\ cm \quad \Leftrightarrow \quad I = 4{,}5\ cm \cdot \frac{1\,A}{5\ cm} = 0{,}9\ A$$

Der Strom $\underline{I}$ ist in Phase mit der Spannung $\underline{U}$, d.h. $\varphi = 0°$.

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ um 90° nach.

1.2. Spannung $\underline{U}_{AB}$ im Brückenzweig AB

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_C - \underline{U}_L \qquad \textit{oder alternativ:} \qquad \underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_{R1}$$

$$\underline{U}_C = \underline{U} \cdot \frac{-j \cdot X_C}{R_1 - j \cdot X_C} = \underline{U} \cdot \frac{-j \cdot X_L}{R - j \cdot X_L} \qquad \ldots$$

$$\underline{U}_L = \underline{U} \cdot \frac{j \cdot X_L}{R_2 + j \cdot X_L} = \underline{U} \cdot \frac{j \cdot X_L}{R + j \cdot X_L}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot X_L}{R - j \cdot X_L} - \frac{j \cdot X_L}{R + j \cdot X_L} \right] = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right]$$

$$\underline{A} = -j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L$$

$$\underline{U}_{AB}(R = 0\ \Omega) = \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot 0\ \Omega \cdot 400\ \Omega}{(0\ \Omega)^2 + (400\ \Omega)^2} \right] = 0\ V$$

$$\underline{U}_{AB}(R \to \infty\ \Omega) = \lim_{R \to \infty} \left\{ \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right] \right\} = \lim_{R \to \infty} \left\{ \underline{U} \cdot \left[\frac{-j \cdot 2 \cdot X_L}{R + \frac{X_L^2}{R}} \right] \right\} = 0\ V$$

1.3. Maximum des Betrages der Spannung U_{AB}

$$U_{AB} = U \cdot \left[\frac{2 \cdot R \cdot X_L}{R^2 + X_L^2} \right] = U \cdot \frac{u(R)}{v(R)}$$

$$u(R) = 2 \cdot R \cdot X_L \qquad u'(R) = \frac{du(R)}{dR} = 2 \cdot X_L$$

$$v(R) = R^2 + X_L^2 \qquad v'(R) = \frac{dv(R)}{dR} = 2 \cdot R$$

Daraus ergibt sich mit der Quotientenregel:

$$\frac{dU_{AB}(R)}{dR} = U \cdot \left[\frac{2 \cdot X_L \cdot (R^2 + X_L^2) - 2 \cdot R \cdot X_L \cdot 2 \cdot R}{(R^2 + X_L^2)^2} \right] = U \cdot \left[\frac{-2 \cdot R^2 \cdot X_L + 2 \cdot X_L^3}{(R^2 + X_L^2)^2} \right]$$

$$\frac{dU_{AB}(R)}{dR} = 0 \quad \Leftrightarrow \quad -2 \cdot R^2 \cdot X_L + 2 \cdot X_L^3 = 0$$

$$2 \cdot R^2 \cdot X_L = 2 \cdot X_L^3$$

$$R^2 = X_L^2$$

$$R = \pm \sqrt{X_L^2} = \pm X_L$$

Physikalisch sinnvoll ist nur die positive Lösung, d.h.: $R_0 = X_L = 400\ \Omega$

$$U_{AB}(R = 400\ \Omega) = U \cdot \left[\frac{2 \cdot 400\ \Omega \cdot 400\ \Omega}{(400\ \Omega)^2 + (400\ \Omega)^2} \right] = U = 450\ \text{V}$$

1.4. Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{R_1 - j \cdot X_C} \qquad \underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{R_2 + j \cdot X_L}$$

Da $R_1 = R_2 = X_L = X_C = 400\ \Omega$ ist gilt

$$I_1 = I_2 = \frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$P = 2 \cdot R \cdot (I_1)^2 = 2 \cdot R \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} \right)^2$$

$$= 2 \cdot 400\ \Omega \cdot \left(\frac{450\ \text{V}}{\sqrt{(400\ \Omega)^2 + (400\ \Omega)^2}} \right)^2 = 506{,}25\ \text{W}$$

Da $X_L = X_C$ und die Ströme gleich sind, folgt ohne Rechnung: Q = 0 var

Und somit: S = P = 506,25 VA

Aufgabe 2

2.1 Ersatzspannungsquelle der Batterie

Konkrete Werte:

$$U_1 = U_2 = 3{,}6\,\text{V} \quad \rightarrow \quad U_{Bat,LL} = U_0 = 3{,}6\,\text{V}$$

$$I_{Bat,KS} = \frac{3{,}6\,\text{V}}{75\,\text{m}\Omega} + \frac{3{,}6\,\text{V}}{150\,\text{m}\Omega} = 48\,\text{A} + 24\,\text{A} = 72\,\text{A}$$

$$R_i = \frac{U_{Bat,LL}}{I_{Bat,KS}}$$

$$R_i = \frac{3{,}6\,\text{V}}{72\,\text{A}} = 50\ \text{m}\Omega$$

Allgemein:

Entweder über R_2

$$U_{Bat,LL} = U_2 + I_2 \cdot R_2$$

mit

$$I_2 = \frac{(U_1 - U_2)}{(R_1 + R_2)}$$

also:

$$U_{Bat,LL} = U_2 + \frac{(U_1 - U_2)}{(R_1 + R_2)} \cdot R_2$$

oder über R_1

$$U_{Bat,LL} = U_1 + I_1 \cdot R_1$$

mit

$$I_1 = \frac{(U_2 - U_1)}{(R_1 + R_2)}$$

also:

$$U_{Bat,LL} = U_1 + \frac{(U_2 - U_1)}{(R_1 + R_2)} \cdot R_1$$

$$I_{Bat,KS} = I_{1,KS} + I_{2,KS} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$$

(Die gegebenen Ersatzwerte können auch vom richtigen Ergebnis abweichen…)

2.2 Verlustleistung in der Batterie–

Ansatz über ursprüngliches ESB, da Methode der Ersatzspannungsquelle die Verlustleistungen NICHT korrekt widergibt.
(Steht extra im Hinweis… es passt zwar hier ausnahmsweise, aber das ist Zufall…)

$$P_{V,Bat,N} = (I_{1,N})^2 \cdot R_1 + (I_{2,N})^2 \cdot R_2$$

$$= \frac{(U_{R1,N})^2}{R_1} + \frac{(U_{R2,N})^2}{R_2}$$

$$P_{V,Bat,N} = \frac{(U_{Bat,N} - U_1)^2}{R_1} + \frac{(U_{Bat,N} - U_2)^2}{R_2}$$

$$P_{V,Bat,N} = \frac{(3{,}7\,\text{V} - 3{,}6\,\text{V})^2}{75\,\text{m}\Omega} + \frac{(3{,}7\,\text{V} - 3{,}6\,\text{V})^2}{150\,\text{m}\Omega}$$

$$= \frac{0{,}01}{0{,}075}\,\text{W} + \frac{0{,}01}{0{,}150}\,\text{W} = 0{,}2\,\text{W}$$

Ladeleistung:

Entweder:

$$P_{Lade,N} = P_{A,N} - P_{V,Bat,N}$$

$$= 7{,}4\,\text{W} - 0{,}2\,\text{W}\,\text{W} = 7{,}2\,\text{W}$$

Oder:

$$P_{Lade,N} = I_{1,N} \cdot U_1 + I_{2,N} \cdot U_2$$

$$= \frac{(U_{A,N} - U_1)}{R_1} \cdot U_1 + \frac{(U_{A,N} - U_2)}{R_2} \cdot U_2$$

$$= \frac{(3{,}7\,\text{V} - 3{,}6\,\text{V})}{75\,\text{m}\Omega} \cdot 3{,}6\,\text{V} + \frac{(3{,}7\,\text{V} - 3{,}6\,\text{V})}{150\,\text{m}\Omega} \cdot 3{,}6\,\text{V}$$

$$= 4{,}8\,\text{W} + 2{,}4\,\text{W} = 7{,}2\,\text{W}$$

2.3 Nennbetrieb der Gleichstrommaschine

- Ankernennstrom

$$I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}} = \frac{7,4\,W}{3,7\,V} = 2\,A$$

- Ankerwiderstand

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2} = \frac{4,6\,W}{(2\,A)^2} = 1,15\,\Omega$$

(Hier sollte man nicht runden…)

- Induzierte Spannung bei Nennbetrieb

$$U_{i,N} = U_{A,N} + U_{RA,N} = U_{A,N} + I_{A,N} \cdot R_A = 3,7\,V + 2\,A \cdot 1,15\,\Omega = 3,7\,V + 2,3\,V = 6\,V$$

- Innere mechanische Leistung bei Nennbetrieb

$$P_{mechi,N} = U_{i,N} \cdot I_{A,N} = 6\,V \cdot 2\,A = 12\,W$$

- Nenndrehzahl des Motors

$$n_N = \frac{P_{mechi,N}}{2\pi \cdot M_{i,N}} = \frac{12\,W}{2\pi \cdot 19,1 \cdot 10^{-3}\,Nm} = 99,993\,s^{-1} \approx 100\,s^{-1} = 6000\,min^{-1}$$

- Produkt aus Maschinenkonstante und Erregerfluss

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{\Omega_N} = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{6\,V}{2\pi \cdot 100 s^{-1}} = 9,55 \cdot 10^{-3}\,Vs$$

Oder auch möglich:

$$c \cdot \Phi = \frac{M_{mechi,N}}{I_{A,N}} = \frac{19,1 \cdot 10^{-3}\,Nm}{2\,A} = 9,55 \cdot 10^{-3}\,Vs$$

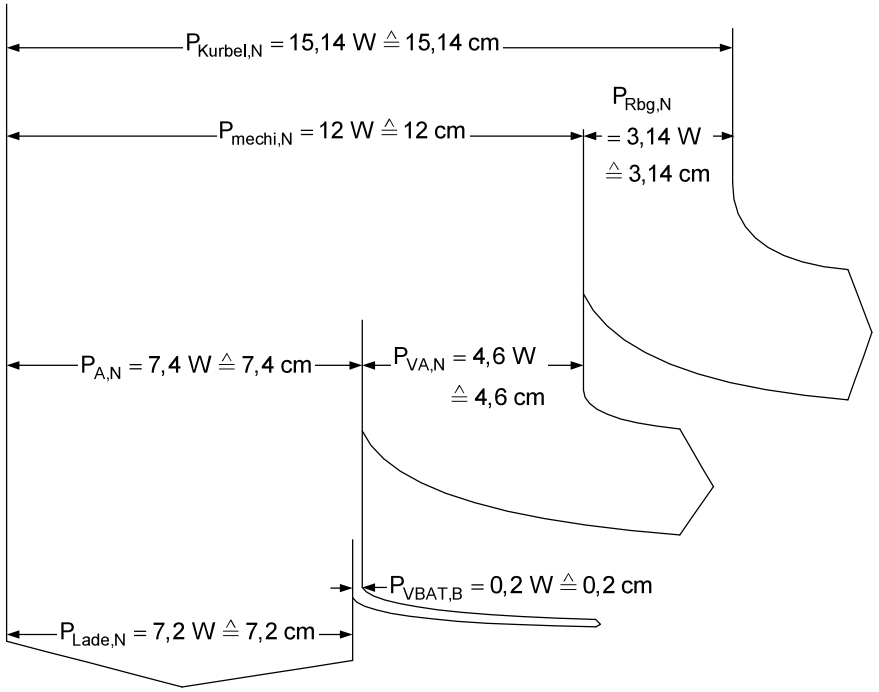
- Verlustleistung durch Reibung im Motor $P_{Rbg,N}$ bei Nennbetrieb;

$$P_{Rbg,N} = 2\pi \cdot n_N \cdot M_{Rbg,N} = 2\pi \cdot 100\,s^{-1} \cdot 5 \cdot 10^{-3}\,Nm = 3,14\,W$$

- Die Leistung die an der Kurbel aufgebracht werden muss, damit der Motor im Nennbetrieb arbeitet

$$P_{Kurbel,N} = P_{mechi,N} + P_{Rbg,N} = 12\,W + 3,14\,W = 15,14\,W$$

2.4 Leistungsflussdiagramm für den Nennbetrieb



2.5 Niedrige Motordrehzahl

- Wie groß ist die Motordrehzahl n_{AP1}

$$n_{AP1} = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot c \cdot \Phi}$$

$$= \frac{6\,V}{2\pi \cdot 9{,}55 \cdot 10^{-3}\,Vs} = 49{,}996\,s^{-1} \approx 50\,s^{-1} = 3000\,min^{-1}$$

Oder aus konstantem Fluss:

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{U_{i,AP1}}{2\pi \cdot n_{AP1}} \rightarrow n_{AP1} = n_N \cdot \frac{U_{i,AP1}}{U_{i,N}}$$

$$= 6000\,min^{-1} \cdot \frac{3\,V}{6\,V} = 3000\,min^{-1}$$

- Warum fließt in diesem Arbeitspunkt kein Ankerstrom?

  Es ist $U_{i,AP1} < U_0$, somit sperrt die ideale Diode D

- Ab welcher Motordrehzahl beginnt ein Stromfluss in die Batterie?

  Es muss gelten: $U_i \geq U_0$, damit die ideale Diode D beginnt zu leiten,

  also:

$$c \cdot \Phi = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{U_i}{2\pi \cdot n} \rightarrow n = n_N \cdot \frac{U_i}{U_{i,N}}$$

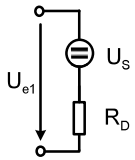
$$n \geq n_N \cdot \frac{U_0}{U_{i,N}}$$

$$n \geq 6000\,min^{-1} \cdot \frac{3{,}6\,V}{6\,V} = 3600\,min^{-1}$$

Aufgabe 3: Diode, Transistorverstärker

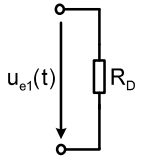
3.1 Optischer Sender

- GS-ESB:



(„Normales“ Dioden-ESB, mit Gleichspannungsquelle)

WS-ESB



(Gleichspannungsquelle wird im WS-ESB kurzgeschlossen)

- Mittlere Verlustleistung $P_{D1(AP),}$.

  (man soll nur den Gleichspannungsanteil betrachten)

$$P_{D1,AP} = \frac{(U_{e1,AP} - U_S)^2}{R_D}$$

$$= \frac{(1{,}1V - 0{,}6\,V)^2}{50\,\Omega} = 5\,mW$$

3.2 Optischer Empfänger

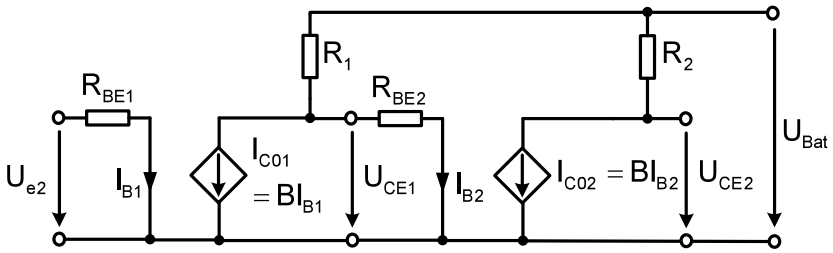
$$u_{e2}(t) = i_{D2}(t) \cdot R_0$$

$$U_{e2,AP} + \hat{u}_{e2} \cdot \sin(...) = I_{D2,AP} \cdot R_0 + \hat{i}_{e2} \cdot \sin(...) \cdot R_0$$

$$U_{e2,AP} = I_{D2,AP} \cdot R_0$$
$$= 116\,\text{mA} \cdot 10\,\Omega = 1{,}16\,\text{V}$$

$$\hat{u}_{e2} = \hat{i}_{e2} \cdot R_0$$
$$= 4{,}4\,\text{mA} \cdot 10\,\Omega = 44\,\text{mV}$$

3.3 Gleichstromersatzschaltbild–



3.4 Arbeitspunkteinstellung

Widerstand R_2:

$$U_{Bat} = U_{CE2,AP} + I_{C2,AP} \cdot R_2$$

$$R_2 = \frac{U_{Bat} - U_{CE2,AP}}{I_{C2,AP}}$$
$$= \frac{12\,\text{V} - 8\,\text{V}}{0{,}4\,\text{A}} = 10\,\Omega$$

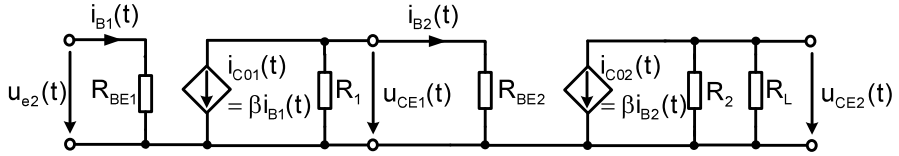
Basisstrom $I_{B2,AP}$:

$$I_{B2,AP} = \frac{I_{C02,AP}}{B} = \frac{I_{C2,AP}}{B}$$
$$= \frac{0{,}4\,\text{A}}{100} = 4\,\text{mA}$$

Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE1,AP}$:

$$U_{CE1,AP} = R_{BE2} \cdot I_{B2,AP}$$
$$= 100\,\Omega \cdot 4\,\text{mA} = 0{,}4\,\text{V}$$

3.5 Wechselstromersatzschaltbild



3.6 Wechselstromanalyse

Kollektor-Basis-Wechselstromamplitude $\hat{i}_{CO2}$

$$\hat{i}_{C02} = \frac{\hat{u}_{CE2}}{R_2 \| R_L} = \frac{\hat{u}_{CE2}}{\frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}}$$
$$= \frac{2\,\text{V}}{\frac{10\,\Omega \cdot 10\,\Omega}{10\,\Omega + 10\,\Omega}} = 0{,}4\,\text{A}$$

$$\hat{i}_{B2} = \frac{\hat{i}_{C02}}{\beta}$$
$$= \frac{0{,}4\,\text{A}}{100} = 4\,\text{mA}$$

Zur Signalanpassung (Signalverstärkung)
Operationsverstärker

Universität Stuttgart

Institut für
Elektrische Energiewandlung

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik“

(Einführung in die Elektrotechnik *12210 für ee, fmt, mabau, mecha, tema, tp,..)
(Einführung in die Elektrotechnik 1 und 2 für medtech)
(Einführung in die Elektrotechnik (I+II) für diverse Diplomstudiengänge)

08.03.2012

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

In Abbildung 1-1 ist die Schaltung eines sogenannten Phasenschiebers dargestellt. Mit dem veränderbaren Widerstand R_3 kann die Phasenlage der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Bezug auf die Phasenlage der Spannung $\underline{U}$ theoretisch im Bereich von 0° bis 180° eingestellt werden. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung betrieben.

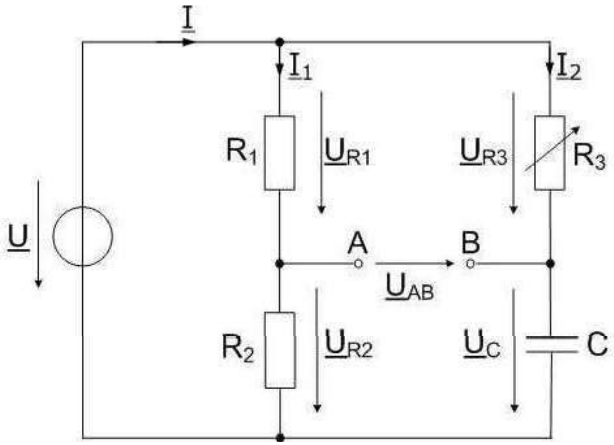


Abbildung 1-1: Schaltung des Phasenschiebers

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung	$\underline{U} = U = 100$ V
Frequenz der Versorgungsspannung	$f = 50$ Hz
Widerstände	$R_1 = R_2 = 500\ \Omega$
	R_3 veränderbar
Kapazität des Kondensators C	$C = 6\ \mu$F

Aufgabe 1.1 Zeigerdiagramme – (6 Punkte)

Zeichnen Sie zunächst ein qualitatives, d.h. nicht maßstäbliches Zeigerdiagramm, welches alle in Abbildung 1-1 eingetragenen Spannungen enthält und kennzeichnen Sie die Punkte A und B.

Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich größer ist als die Spannung U_C, d.h. für den Fall $U_{R3} >> U_C$.

Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich kleiner ist als die Spannung U_C, d.h. für den Fall $U_{R3} << U_C$.

Geben Sie ohne Rechnung an, wie groß R_3 jeweils theoretisch sein muss, damit die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eine Phasenverschiebung von 0° bzw. 180° zur Spannung $\underline{U}$ aufweist. Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme.

Wie groß ist der Betrag U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Abhängigkeit von R_3? Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme (keine Rechnung erforderlich). Beachten Sie, dass $R_1 = R_2$ ist.

Hinweis: *Wählen Sie für den Spannungszeiger $\underline{U}$ eine Länge von 12 cm und beginnen Sie mit diesem Spannungszeiger in der horizontalen Lage. Beachten Sie stets, dass $R_1 = R_2$ ist.*
Tragen Sie in allen Zeigerdiagrammen sämtliche in Abbildung 1-1 angegebene Spannungen ein und kennzeichnen Sie jeweils die Punkte A und B.
Freihandgezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet!

Aufgabe 1.2 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 100\ \Omega$ – (6 Punkte)

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_1$ und die Spannung $\underline{U}_{R2}$.

Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}$ für den Zweig bestehend aus R_3 und C zunächst allgemein in Abhängigkeit von R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$ und den Zahlenwert für den Fall dass $R_3 = 100\ \Omega$ gewählt wird.

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall dass $R_3 = 100\ \Omega$ beträgt.

Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepfeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).

Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Hinweis: *Wenn Sie Aufgabe 1.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{R2} = 50$ V und $X_C = 530\ \Omega$ weiter.*

Aufgabe 1.3 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 10\ k\Omega$ – (4 Punkte)

Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall dass $R_3 = 10\ k\Omega$ beträgt.

Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepfeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).

Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Aufgabe 1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (4 Punkte)

Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die von der Schaltung aufgenommene Wirkleistung P in Abhängigkeit von U, R_1, R_2, R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$.

Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die in der Schaltung „umgesetzte" Blindleistung Q in Abhängigkeit von U, R_1, R_2, R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$.

Wie kann aus P und Q die Scheinleistung S bestimmt werden (keine Zahlenwerte!)?

Geben Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) in Abhängigkeit von P und Q den Betrag S der Scheinleistung S an.

Aufgabe 2: Umformersatz

Zur Bereitstellung einer konstanten Gleichspannung an einem Laborarbeitstisch wird ein so genannter Umformersatz, bestehend aus einer Asynchronmaschine (ASM) und einer fremderregten Gleichstrommaschine (GM) verwendet. Die ASM wird am öffentlichen Drehstromnetz betrieben. Um eine konstante, lastunabhängige Spannung am Laborarbeitsplatz zu gewährleisten, kann der Erregerfluss der GM durch Veränderung der Erregerspannung U_F verändert werden. Abbildung 2-1 zeigt eine Übersicht der Anordnung.

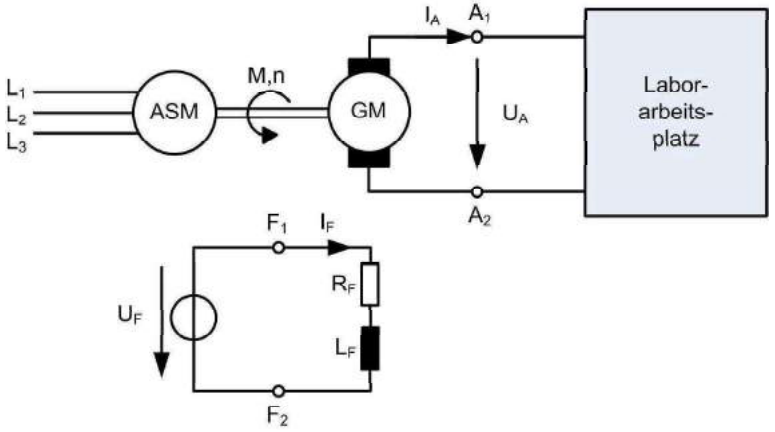


Abbildung 2-1: Übersichtsschaltbild des Umformersatzes

Folgende Annahmen bzw. Vernachlässigungen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen der GM sind Gleichgrößen.
3. Erregerstrom und Erregerfluss der GM sind stets proportional.
4. Bis auf die ohmschen Verluste in Anker- und Statorkreis der Gleichstrommaschine dürfen alle Verlusteffekte vernachlässigt werden.
5. Die Drehzahl n ist stets positiv.
6. Das Drehmoment M ist positiv, wenn die ASM ein Drehmoment abgibt bzw. die GM ein Drehmoment aufnimmt.
7. Der Ankerstrom I_A ist positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet. (Beachten Sie die Pfeilrichtung in Abbildung 2-1)

Vom Drehstromnetz sind folgende Daten bekannt:

Leiterspannung	$U_L = 400\,V$
Netzfrequenz	$f = 50\,Hz$

Von der Asynchronmaschine sind folgende Daten bekannt:

Nenndrehzahl	$n_N = 1475\,min^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 64,74\,Nm$

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 115\,V$
Nennleistung (generatorisch an den Ankerklemmen)	$P_{A,N} = 9,2\,kW$
Erregernennspannung	$U_{F,N} = 200\,V$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 200\,\Omega$
Nenndrehzahl	$n_N = 1475\,min^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 64,74\,Nm$

Aufgabe 2.1 Asynchronmaschine – (5 Punkte)

Welche Polpaarzahl besitzt die ASM und wie groß ist die Leerlaufdrehzahl n_0, wenn die Abweichung der Nenndrehzahl von der Leerlaufdrehzahl weniger als 3% beträgt?

Welche mechanische Leistung $P_{mech,N}$ gibt die ASM im Nennbetrieb an die GM ab?

Die Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie der ASM darf im Folgenden für den Drehzahlbereich $1470\,min^{-1} < n <= 1530\,min^{-1}$ als linear angenommen werden.

Stellen Sie diesen Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl grafisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich $1470\,min^{-1} < n <= 1530\,min^{-1}$ dar.

Hinweis: Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Freihandgezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet!

Berechnen Sie mit der oben genannten linearen Näherung allgemein die abgegebene mechanische Leistung der ASM in Abhängigkeit der Drehzahl n für einen Drehzahlbereich $1470\,min^{-1} < n <= 1530\,min^{-1}$ und stellen Sie das Ergebnis in der Form $P_{mech}(n) = a \cdot (n^2 - n \cdot b)$ dar. Geben Sie die Parameter a und b in allgemeiner Form (Abhängig von n_0, n_N, M_N, etc.) an.

Aufgabe 2.2 GM: Wirkungsgrad, Ankerwiderstand – (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises der GM inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.

Hinweis: Beachten Sie die in Abbildung 2-1 bereits vorgegebenen Pfeilungsrichtungen

Berechnen Sie für den Nennbetrieb den Ankerstrom $I_{A,N}$.

Berechnen Sie die Verlustleistung $P_{VA,N}$ im Ankerkreis der GM und berechnen Sie den Wirkungsgrad der GM im Nennbetrieb $\eta_{GM,N}$.

Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_A = 0{,}125\,\Omega$ weiter.

Aufgabe 2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss der GM – (2 Punkte)

Wie groß ist die induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb?

Berechnen Sie das Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \Phi_N$ für den Nennbetrieb.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{i,N} = 125$ V und $c \cdot \Phi_N = 0{,}809$ Vs weiter.

Aufgabe 2.4 Leerlauf – (3 Punkte)

In dieser Teilaufgabe wird nun der Leerlauf betrachtet (Arbeitspunkt 1).
Die Ankerklemmen der GM werden nun nicht belastet, d.h. es gilt $I_{A,AP1} = 0$ A.
Die Ankerspannung soll dem Nennwert entsprechen, also $U_{A,AP1} = U_{A,N}$. Die Erregerspannung kann bzw. soll verändert werden.

Mit welcher Drehzahl $n_{AP,1}$ drehen sich die beiden Maschinen? Welchen Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP1}$?

Auf welche Werte müssen $c \cdot \Phi_{AP1}$ und $U_{F,AP1}$ verringert werden?

Aufgabe 2.5 Teillastbetrieb – (5 Punkte)

In dieser Teilaufgabe wird nun der Teillastbetrieb betrachtet (Arbeitspunkt 2).
Die Erregerspannung kann bzw. soll verändert werden.
Es soll gelten: $P_{A,AP2} = 4600\,\text{W}$ und $U_{A,AP2} = U_{A,N} = 115\,\text{V}$

Wie groß ist der Ankerstrom $I_{A,AP2}$?

Welchen Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$?

Welche mechanische Leistung $P_{mech,AP2}$ nimmt die GM in diesem Arbeitspunkt auf bzw. gibt die ASM ab?

Berechnen Sie die sich einstellende Drehzahl $n_{AP,2}$

Hinweis: Nutzen Sie die Formel $P_{mech}(n) = a \cdot (n^2 - n \cdot b)$ *aus Aufgabe 2.1 und verwenden Sie dabei die folgenden Werte für die Parameter:* $a = -976\,\text{Nm} \cdot \text{s}$ *sowie* $b = 25\,\text{s}^{-1}$.

Aufgabe 3: Diode, Operationsverstärker, Transistor

Zum Schutz eines elektrischen Verbrauchers vor zu hohen Spannungen (Überspannungen) kann eine Spannungsbegrenzungsschaltung eingesetzt werden. Die Begrenzungsschaltung ist (ohne den zu schützenden elektrischen Verbraucher) in Abbildung 3-1 dargestellt. Sie kann in die folgenden 4 Teilschaltungen unterteilt werden.

1. In der Mess-Stufe wird die Ist-Spannung U mittels eines Spannungsteilers erfasst und in das Spannungssignal U_1 umgewandelt.
2. Die Zenerdiodenstufe liefert eine Referenzspannung U_2, welche der vorgegebenen Grenzspannung entspricht.
3. In der Verstärkerstufe mit dem Operationsverstärker OP3 wird die Differenz zwischen der Grenz- und der Ist-Spannung verstärkt.
4. In der Transistor-Endstufe wird die Ausgangsspannung U_{CE} des npn-Bipolartransistors eingestellt. (Die Spannung U_{CE} entspricht der Verbraucherspannung).

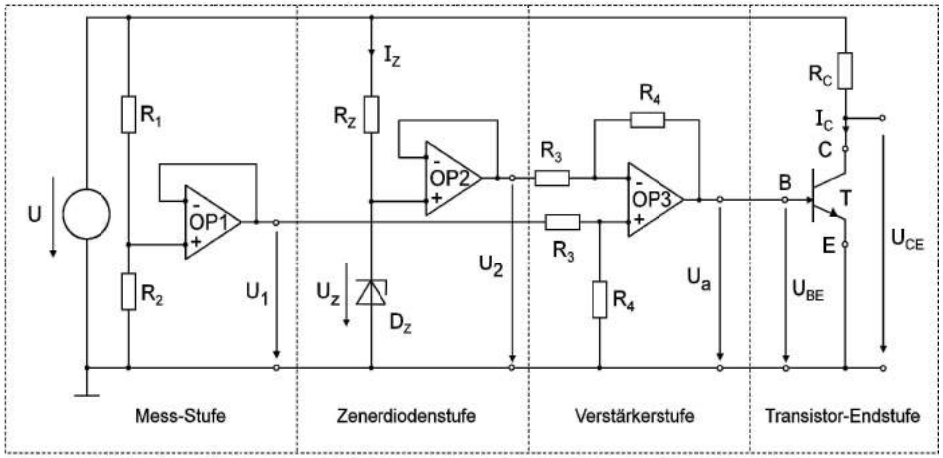


Abbildung 3-1: Spannungsbegrenzungsschaltung zum Schutz eines elektrischen Verbrauchers vor Überspannungen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Widerstände

$R_1 = 30\ k\Omega$

$R_2 = 10\ k\Omega$

$R_3 = 50\ k\Omega$

$R_4 = 40\ k\Omega$

$R_Z = 360\ \Omega$

$R_C = 20\ \Omega$

Operationsverstärker

Die Operationsverstärker (OP1, OP2 und OP3) dürfen als ideal betrachtet werden! Die Spannungsversorgung der OPs ist in Abbildung 3-1 nicht eingezeichnet.

Zenerdiode

Dynamischer Widerstand im Arbeitsbereich	$R_{DZ} = 0\ \Omega$
Durchlassstrom im Arbeitspunkt bei U = 24 V	$I_Z = 50\ mA$

Transistor

Stromverstärkung	B = 50
Basis-Emitter-Widerstand	$R_{BE} = 200\ \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand	$R_{CE} = \infty$
Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Strecke	$U_{BE0} = 0\ V$

Aufgabe 3.1 Mess-Stufe – (5 Punkte)

Um welche Operationsverstärker-Grundschaltung handelt es sich in diesem Schaltungsteil? Über welche Eigenschaften verfügt diese OP-Grundschaltung?

Geben Sie die Beziehung $U_1 = f(U, R_1, R_2)$ an.

Wenn es zwischen R_1 und R_2 in der Mess-Stufe und R_3 in der Verstärkerstufe anstatt OP1 eine direkte Verbindung gibt, gilt dann die obige Beziehung für U_1 auch noch? Begründen Sie Ihre Antwort (keine Rechnung erforderlich).

Berechnen Sie die Werte der Spannung U_1 für verschiedene Spannungen U = 24 V und U = 28 V.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_1(U = 24\ V) = 6\ V$ und $U_1(U = 28\ V) = 7\ V$ weiter.

Aufgabe 3.2 Zenerdiodenstufe – (3 Punkte)

Geben Sie die allgemeine Beziehung für $U_Z = f(U, I_Z, R_Z)$ an.

Berechnen Sie die Spannung U_Z für U = 24 V und für U = 28 V.

Erläutern Sie das Ergebnis.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_Z(U = 24\ V) = 6\ V$ und $U_Z(U = 28\ V) = 6\ V$ weiter.

Aufgabe 3.3 Verstärkerstufe mit Operationsverstärker OP3 – (3 Punkte)

Welche Operationsverstärker-Grundschaltung wird bei diesem Schaltungsteil verwendet?

Geben Sie die Beziehung $U_a = f(U_1, U_2, R_3, R_4)$ an.

Wie groß ist die Spannung U_a für den Fall, dass U = 24 V und für den Fall, dass U = 28 V beträgt?

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 3.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_a(U = 24\ V) = 0\ V$ und $U_a(U = 28\ V) = 0{,}8\ V$ weiter.

Aufgabe 3.4 Gleichstromersatzschaltbild – (4 Punkte)

Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe" und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Größen U, U_a, U_{BE}, I_B, I_C und I_{C0}. Beachten Sie die angenommenen Vereinfachungen ($R_{CE} = \infty$ und $U_{BE0} = 0\ V$)!

Aufgabe 3.5 Betriebspunkte mit verschiedenen Spannungen – (5 Punkte)

Bestimmen Sie den Basistrom I_B, den Kollektorstrom I_C sowie die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} bei U = 24 V und U = 28 V.

Aufgabe 4:

- Pro Frage ist genau ***eine*** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
  Richtige Antwort: +1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
  Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Es gilt folgende Aussage:

a) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.

b) Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung entspricht im Allgemeinen nicht der umgesetzten Leistung im Originalnetzwerk.

c) Die Leistungen sind nur im Leerlauf gleich.

4.2 Der Ersatzwiderstand von *n* parallelgeschalteten ohmschen Widerständen ist

a) die arithmetische Summe der n Widerstände.

b) der Kehrwert der Summe der Leitwerte der *n* Widerstände.

c) die Summe der Kehrwerte der *n* Widerstände.

4.3 Eine reale Stromquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch

a) Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

b) Parallelschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.

c) Parallelschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

4.4 Die Methode des Überlagerungssatzes kann angewendet werden bei einer Schaltung mit

a) mehreren Quellen und linearen Elementen.

b) mehreren Quellen und nichtlinearen Elementen.

c) mehreren Quellen und linearen sowie nichtlinearen Elementen.

4.5 Bei einer idealen Spule

a) sind Strom und Spannung in Phase.

b) eilt die Spannung dem Strom um $+\frac{\pi}{2}$ vor.

c) eilt die Spannung dem Strom um $+\frac{\pi}{2}$ nach.

4.6 Die Impedanz $\underline{Z}_C$ eines Kondensators ist definiert als

a) $\underline{Z}_C = j\omega C$

b) $\underline{Z}_C = -j\frac{1}{\omega C}$

c) $\underline{Z}_C = \frac{1}{\omega C}$

4.7 Welche Aussage bezüglich einer Spule stimmt?

a) Der Spulenstrom kann nicht springen.

b) Die Spannung an der Spule kann nicht springen.

c) Weder Strom noch Spannung können springen.

4.8 Ein RLC-Reihenschwingkreis verhält sich bei Resonanz

a) kapazitiv.

b) induktiv.

c) ohmsch.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Die Dotierung eines Halbleiterkristalls

a) dient der Erhöhung der Leitfähigkeit.

b) dient der Reduzierung der Leitfähigkeit.

c) hat keinen Einfluss auf die Leitfähigkeit.

4.10 Ein n-dotierter Silizium-Kristall enthält Fremdatome der

a) 3. Hauptgruppe des Periodensystems.

b) 4. Hauptgruppe des Periodensystems.

c) 5. Hauptgruppe des Periodensystems.

4.11 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode enthält u.a.

a) eine ideale Diode und eine stromgesteuerte Spannungsquelle.

b) eine spannungsgesteuerte Stromquelle und einen Widerstand.

c) eine Gleichspannungsquelle und einen Widerstand.

4.12 Im linearisierten Ersatzschaltbild des Bipolartransistors gibt es

a) eine spannungsgesteuerte Stromquelle.

b) eine stromgesteuerte Stromquelle.

c) gar keine Quellen.

4.13 Ein nicht rückgekoppelter Operationsverstärker kann eingesetzt werden,

a) als Integrierer.

b) als Subtrahierverstärker.

c) als Komparator.

4.14 Ein idealer Operationsverstärker

a) hat einen niedrigen Eingangswiderstand und einen sehr hohen Ausgangswiderstand.

b) hat einen niedrigen Eingangswiderstand und einen sehr hohen Verstärkungsfaktor.

c) hat einen niedrigen Ausgangswiderstand und einen sehr hohen Verstärkungsfaktor.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 Welche Aussage stimmt?

a) Die Strang- und Leiterspannung sind bei Sternschaltung gleich.

b) Die Strang- und Leiterspannung sind bei Dreiecksschaltung gleich.

c) Der Strangstrom der Sternschaltung ist der $\sqrt{3}$-fache Leiterstrom.

4.16 In einer Leiterschleife wird keine Spannung induziert, wenn sich die Leiterschleife

a) in einem zeitlich wechselnden Magnetfeld befindet und ruht.

b) in einem zeitlich konstanten Magnetfeld dreht und die Drehachse weder parallel zum Feld noch zur Normalen der von der Leiterschleife aufgespannten Fläche steht.

c) in einem zeitlich konstanten elektrischen Feld bewegt.

4.17 Die Lorentzkraft beschreibt

a) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unter anderem abhängig von der elektrischen Stromstärke.

b) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.

c) die Kraft auf einen stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge.

4.18 Das Anlaufdrehmoment einer fremderregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

a) der Ankerspannung U_A, dem Ankerwiderstand R_A und dem Erregerstrom I_F.

b) der Ankerspannung U_A und der Leerlaufdrehzahl n_0.

c) dem Ankernennstrom I_{AN} und der Leerlaufdrehzahl n_0.

4.19 Die Leerlaufdrehzahl einer fremderregten Gleichstrommaschine sinkt, wenn

a) die Ankerspannung durch einen Ankervorwiderstand vermindert wird.

b) der Erregerstrom durch einen Erregervorwiderstand vermindert wird.

c) der Erregerstrom durch Erhöhung der Erregerspannung vergrößert wird.

4.20 Die synchrone Winkelgeschwindigkeit einer Asynchronmaschine

a) hängt nur von der Versorgungsfrequenz ab.

b) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Polpaarzahl der Asynchronmaschine ab.

c) hängt von der Versorgungsfrequenz und der Versorgungsspannung ab.

Universität Stuttgart

Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

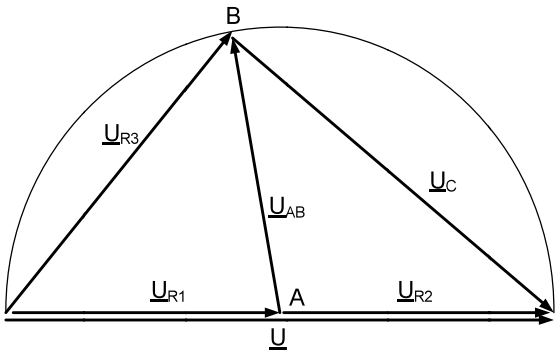
8.3.2012

Lösungsvorschläge zur Prüfung

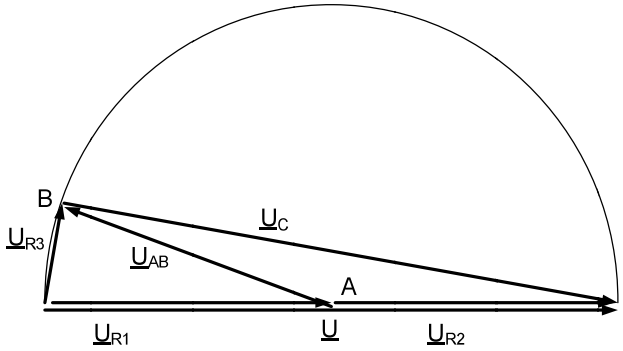
Aufgabe 1

1.1 Zeigerdiagramme

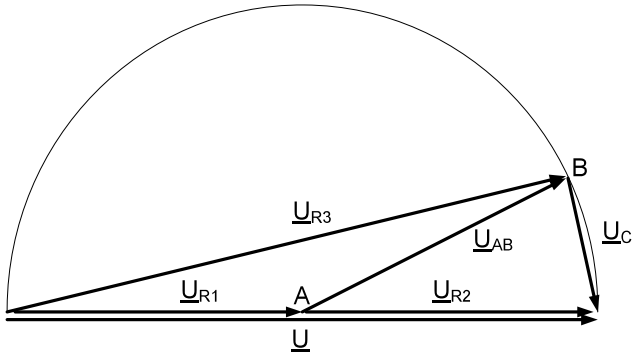
Zeigerdiagramm allgemein



Zeigerdiagramm für $U_{R3} << U_C$



Zeigerdiagramm für $U_{R3} >> U_C$



Aus dem Zeigerdiagramm für $U_{R3} << U_C$ ist ersichtlich, dass der Winkel von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$ gegen 180° zustrebt wenn U_{R3} gegen Null geht (d.h. sehr viel kleiner als U_C ist). U_{R3} geht gegen Null, wenn R_3 gegen Null geht (Reihenschaltung aus R und C).

Aus dem Zeigerdiagramm für $U_{R3} >> U_C$ ist ersichtlich, dass der Winkel von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$ gegen 0° zustrebt wenn U_{R3} gegen unendlich geht (d.h. sehr viel größer als U_C ist). U_{R3} wird maximal U, wenn R_3 gegen unendlich geht (Reihenschaltung aus R und C).

Der Betrag der Spannung $\underline{U}_{AB}$ ändert sich nicht mit R_3, er beträgt immer ½·U, da $R_1=R_2$ (Thaleskreis).

1.2 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 100\ \Omega$

Anmerk.: Hier ist nach komplexen Größen gefragt! Deshalb sind alle Größen unterstrichen! (Wer den Unterstrich weglässt verschenkt unnötig Punkte… da nichtunterstrichene Größen nunmal Effektivwerte bzw. Gleichgrößen sind.)
Gefragte Abhängigkeiten beachten.

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}}{R_1 + R_2} = \frac{U}{R_1 + R_2} = \frac{100\ \text{V}}{500\ \Omega + 500\ \Omega} = 0{,}1\ \text{A}$$

$$\underline{U}_{R2} = R_2 \cdot \underline{I}_2 = 500\ \Omega \cdot 0{,}1\ \text{A} = 50\ \text{V}$$

$$\underline{Z} = R_3 + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} = R_3 - j \cdot \frac{1}{\omega \cdot C} = R_3 - j \cdot X_C$$

$$\underline{Z} = 100\ \Omega - j \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50\,\frac{1}{\text{s}} \cdot 6 \cdot 10^{-6}\ \text{F}} \approx 100\ \Omega - j \cdot 530\ \Omega$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{100\ \text{V}}{539\ \Omega \cdot e^{-j \cdot 79°}} = 186\ \text{mA} \cdot e^{j \cdot 79°}$$

$$\underline{U}_C = -j \cdot X_C \cdot \underline{I}_2 = -j \cdot 530\ \Omega \cdot 0{,}186\ \text{A} \cdot e^{j \cdot 79°} = 98{,}58\ \text{V} \cdot e^{j \cdot (79° - 90°)} = 98{,}58\ \text{V} \cdot e^{-j \cdot 11}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_C = 50\ \text{V} - 98{,}58\ \text{V} \cdot e^{-j \cdot 11°} = 50\ \text{V} - 98{,}58\ \text{V} \cdot \left[\cos(-11°) + j \cdot \sin(-11°)\right]$$
$$\underline{U}_{AB} = 50\ \text{V} - 96{,}77\ \text{V} - j \cdot 18{,}8\ \text{V} = -46{,}77\ \text{V} + j \cdot 18{,}8\ \text{V}$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{U_{AB}} - \varphi_U = \varphi_{U_{AB}} - 0° = \varphi_{U_{AB}} = 180° + \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{U}_{AB})}{\text{Re}(\underline{U}_{AB})}\right)$$
$$\varphi_{AB} = 180° + \arctan\left(\frac{18{,}8\ \text{V}}{-46{,}77\ \text{V}}\right) = 158°$$

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ vor, da der Winkel positiv ist.

(Oder, aus Zeigerdiagramm ersichtlich, dass $\underline{U}_{AB}$ immer voreilend zu $\underline{U}$ ist!).

1.3 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 10\ \text{k}\Omega$

$$\underline{Z} = R_3 - j \cdot X_C = 10000\ \Omega - j \cdot 530\ \Omega = 10014\ \Omega \cdot e^{-j \cdot 3°}$$

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_2} = \frac{100\ \text{V}}{10014\ \Omega \cdot e^{-j \cdot 3°}} \approx 10\ \text{mA} \cdot e^{j \cdot 3°}$$

$$\underline{U}_C = -j \cdot X_C \cdot \underline{I}_2 = -j \cdot 530\ \Omega \cdot 0{,}01\ \text{A} \cdot e^{j \cdot 3°} = 5{,}3\ \text{V} \cdot e^{j \cdot (3° - 90°)} = 5{,}3\ \text{V} \cdot e^{-j \cdot 87°}$$

$$\underline{U}_{AB} = \underline{U}_{R2} - \underline{U}_C = 50\ \text{V} - 98{,}58\ \text{V} \cdot e^{-j \cdot 11°} = 50\ \text{V} - 5{,}3\ \text{V} \cdot \left[\cos(-87°) + j \cdot \sin(-87°)\right]$$
$$\underline{U}_{AB} = 50\ \text{V} - 0{,}28\ \text{V} + j \cdot 5{,}29\ \text{V} = 49{,}72\ \text{V} + j \cdot 5{,}29\ \text{V}$$

$$\varphi_{AB} = \varphi_{U_{AB}} - \varphi_U = \varphi_{U_{AB}} - 0° = \varphi_{U_{AB}} = \arctan\left(\frac{\text{Im}(\underline{U}_{AB})}{\text{Re}(\underline{U}_{AB})}\right)$$
$$\varphi_{AB} = \arctan\left(\frac{5{,}29\ \text{V}}{49{,}72\ \text{V}}\right) \approx 6°$$

Die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eilt der Spannung $\underline{U}$ vor, da der Winkel positiv ist.

(Oder, aus Zeigerdiagramm ersichtlich, dass $\underline{U}_{AB}$ immer voreilend zu $\underline{U}$ ist!).

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

(Geforderte Abhängigkeiten beachten!)

Wirkleistung *(tritt an allen drei ohmschen Widerständen auf)*

$$P = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot I_2^2 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R_3^2 + X_C^2}} \right)^2 = \frac{U^2}{R_1 + R_2} + R_3 \cdot \frac{U^2}{R_3^2 + X_C^2}$$

Blindleistung *(tritt in dieser Aufgabe nur am Kondensator auf)*

$$Q = Q_C = -X_C \cdot I_2^2 = -X_C \cdot \left(\frac{U}{\sqrt{R_3^2 + X_C^2}} \right)^2 = -X_C \cdot \frac{U^2}{R_3^2 + X_C^2}$$

Scheinleistung $\underline{S} = P + j \cdot Q$

Betrag der Scheinleistung $S = \sqrt{P^2 + Q^2}$

Aufgabe 2

Aufgabe 2.1 Asynchronmaschine

Anmerk.: In der Aufgabenstellung steht, dass die Abweichung der Nenndrehzahl von der Leerlaufdrehzahl (also der Schlupf) WENIGER als 3% beträgt! Da steht nicht der Schlupf ist 3%!

Die Polpaarzahl ist eine GANZE NATÜRLICHE Zahl! Alle „Lösungen“ mit Kommastellen oder „ungefähr“ sind falsch und damit NULL Punkte wert…

Polpaarzahl: $p = 2$

Leerlaufdrehzahl $n_0 = \frac{f}{p} = 1500\ \text{min}^{-1}$ nur dann ist der Schlupf KLEINER als 3%

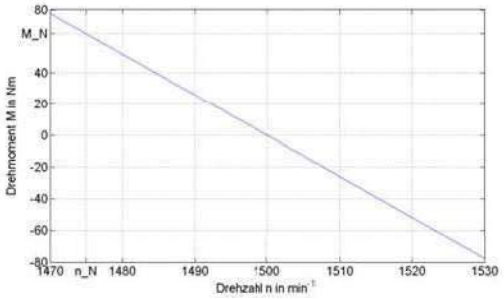
Mechanische Leistung $P_{mech,N} = M_N \cdot \Omega_N$

$$P_{mech,N} = 2\pi \cdot \frac{1475\ \text{min}^{-1}}{60\ \frac{\text{s}}{\text{min}}} \cdot 64{,}74\ \text{Nm} = 10\ \text{kW}$$

Stellen Sie diesen Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl grafisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich

$1470\,\mathrm{min}^{-1} < n <= 1530\,\mathrm{min}^{-1}$ dar.

(Es ist eine Gerade, von der zwei Punkte bekannt sind. Leerlauf(und Nennpunkt). Achsenbeschriftung und Lineal nicht vergessen)



Geradengleichung aufstellen: ()

$$M\ (n) = \frac{M_N}{n_N - n_0}(n - n_0)$$

$$P_{mech,ASM}(n) = M\ (n) \cdot 2\pi \cdot n$$

$$P_{mech,ASM}(n) = \frac{2\pi \cdot M_N}{n_N - n_0}(n^2 - n \cdot n_0)$$

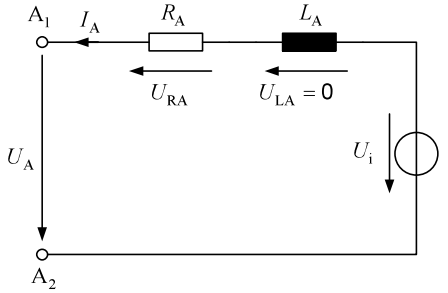
$$a = \frac{2\pi \cdot M_N}{n_N - n_0}$$

Anmerk.: *a<0 ! Da Nenndrehzahl kleiner Leerlaufdrehzahl*

$$b = n_0$$

Aufgabe 2.2 ESB Ankerkreis GM, Wirkungsgrad, Ankerwiderstand (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises der GM inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.



(Vorgegebene Richtung des Ankerstromes beachten!)

Ankerstrom $I_{A,N} = \frac{P_{A,N}}{U_{A,N}}$

$$I_{A,N} = \frac{9200\,\mathrm{W}}{115\,\mathrm{V}} = 80\,\mathrm{A}$$

Verlustleistungen im Anker $P_{VA,N} = P_{mech,N} - P_{A,N}$

$$P_{VA,N} = 10\,\mathrm{kW} - 9{,}2\,\mathrm{kW} = 800\,\mathrm{W}$$

Wirkungsgrad:

$$\eta_N = \frac{P_{A,N}}{P_{A,N} + P_{VA,N} + P_{F,N}} = \frac{P_{A,N}}{P_{mech,N} + P_{F,N}}$$

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{mech,N} + \frac{(U_{F,N})^2}{R_F}} = \frac{9200\,\mathrm{W}}{10000\,\mathrm{W} + \frac{(200\,\mathrm{V})^2}{200\,\Omega}} = \frac{9{,}2\,\mathrm{kW}}{10{,}2\,\mathrm{kW}} = 90{,}2\%$$

Ankerwiderstand R_A.

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{(I_{A,N})^2} = \frac{800\,\mathrm{W}}{(80\,\mathrm{A})^2} = 0{,}125\,\Omega$$

Aufgabe 2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss der GM (2 Punkte)

Induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb:

$$U_{i,N} \cdot I_{A,N} = P_{mech,N}$$

$$U_{i,N} = \frac{P_{mech,N}}{I_{A,N}} \qquad \textit{alternativ:}\ \text{MR:}\ U_{i,N} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,N}$$

$$U_{i,N} = \frac{10\,\text{kW}}{80\,\text{A}} = 125\,\text{V}$$

Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \Phi_N$.für den Nennbetrieb.

$$U_{i,N} = c \cdot \Phi_N \cdot \Omega_N$$

$$c \cdot \Phi_N = \frac{U_{i,N}}{2\pi \cdot n_N} = \frac{125\,\text{V}}{2\pi \cdot \frac{1475\,\text{min}^{-1}}{60\,\frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0{,}8093\,\text{Vs}$$

Aufgabe 2.4 Leerlauf(3 Punkte)

Leerlauf: $n_{AP1} = n_0 = 1500\,\text{min}^{-1}$ entspricht Leerlaufdrehzahl der ASM!

$$U_{i,AP1} = U_{A,AP1} = 115\,\text{V}$$

Auf welchen Werte müssen $c \cdot \Phi_{AP1}$ und $U_{F,AP1}$ verringert werden?

$$U_{i,AP1} = c \cdot \Phi_{AP1} \cdot \Omega_{AP1}$$

$$c \cdot \Phi_{AP1} = \frac{U_{i,AP1}}{2\pi \cdot n_0}$$

$$c \cdot \Phi_{AP1} = \frac{115\,\text{V}}{2\pi \cdot \frac{1500\,\text{min}^{-1}}{60\,\frac{\text{s}}{\text{min}}}} = 0{,}7321\,\text{Vs}$$

linearer Zusammenhang zw. Erregerstrom und Fluss, bzw. Erregerspannung und Fluss:

$$U_{F,AP1} = U_{F,N} \cdot \frac{c \cdot \Phi_{AP1}}{c \cdot \Phi_N}$$

$$U_{F,AP1} = 200\,\text{V} \cdot \frac{0{,}7321\,\text{Vs}}{0{,}8093\,\text{Vs}} = 180{,}9\,\text{V}$$

Aufgabe 2.5 Teillastbetrieb(5 Punkte)

Wie groß ist der Ankerstrom $I_{A,AP2}$? Welchen Wert hat die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$?

Ankerstrom : $$I_{A,AP2} = \frac{P_{A,AP2}}{U_{A,AP2}}$$

$$I_{A,AP2} = \frac{4600\,\text{W}}{115\,\text{V}} = 40\,\text{A}$$

Induzierte Spannung: $$U_{i,AP2} = U_{A,AP2} + I_{A,AP2} \cdot R_A$$

$$U_{i,AP2} = 115\,\text{V} + 40\text{A} \cdot 0{,}125\,\Omega = 120\,\text{V}$$

Mechanische Leistung : $$P_{mech,AP2} = U_{i,AP2} \cdot I_{A,AP2} = P_{A,AP2} + R_A \cdot I_{A,AP2}^2$$

$$P_{mech,AP2} = 120\,\text{V} \cdot 40\,\text{A} = 4800\,\text{W}$$

Berechnen Sie die sich einstellende Drehzahl $n_{AP,2}$ in min^{-1}.

$$n^2 - n \cdot b - \frac{P_{mech}(n)}{a} = 0$$

$$n_{1/2} = \frac{b \pm \sqrt{b^2 + 4 \cdot \frac{P_{mech}}{a}}}{2}$$

$$n_{1/2} = \frac{25\,\text{s}^{-1} \pm \sqrt{(25\,\text{s}^{-1})^2 - 4 \cdot \frac{4800\,\text{W}}{976\,\text{Nm} \cdot \text{s}}}}{2}$$

$$n_{1/2} = \frac{25\,\text{s}^{-1} \pm \sqrt{625\,\text{s}^{-2} - 19{,}67\,\text{s}^{-2}}}{2} = \frac{25\,\text{s}^{-1} \pm 24{,}6\,\text{s}^{-1}}{2}$$

$n_1 = 24{,}8\,\text{s}^{-1} = 1488\,\text{min}^{-1}$

$n_2 = 0{,}2\,\text{s}^{-1} = 12\,\text{min}^{-1}$ unsinnig, und auch außerhalb der Gültigkeit (angenommene lineare Kennlinie)

Aufgabe 3 Diode, Operationsverstärker, Transistor

3.1 Mess-Stufe

Es handelt sich um einen Impedanzwandler.

Er wird zum Koppeln von niederohmigen Verbrauchern an Quellen mit hohem Innenwiderstand benutzt.

$$U_1 = U \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Bei direkter Verbindung wird der Spannungsteiler zusätzlich belastet,
$R_2' = R_2 \| (R_3 + R_4)$,

und somit $U_1 = U \frac{R_2'}{R_1 + R_2'}$

(vgl. belasteter Spannungsteiler)

$$U_1(U = 24\,\mathrm{V}) = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 24\,\mathrm{V} \frac{10\,\mathrm{k\Omega}}{30\,\mathrm{k\Omega} + 10\,\mathrm{k\Omega}} = 6\,\mathrm{V}$$

$$U_1(U = 28\,\mathrm{V}) = U \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 28\,\mathrm{V} \frac{10\,\mathrm{k\Omega}}{30\,\mathrm{k\Omega} + 10\,\mathrm{k\Omega}} = 7\,\mathrm{V}$$

3.2 Zenerdiodenstufe

$$U = I_Z \cdot R_Z + U_Z$$

$$U_Z = U - I_Z \cdot R_Z = 24\,\mathrm{V} - 50\mathrm{mA} \cdot 360\,\Omega = 6\,\mathrm{V}$$

U_Z bleibt weiterhin bei 6V, da $U_Z = I_Z \cdot R_{DZ} + U_{Z0} = 0 + U_{Z0}$
(quasi ideale Zenerdiode, da der dynamische Widerstand Null ist)

3.3 Verstärkerstufe

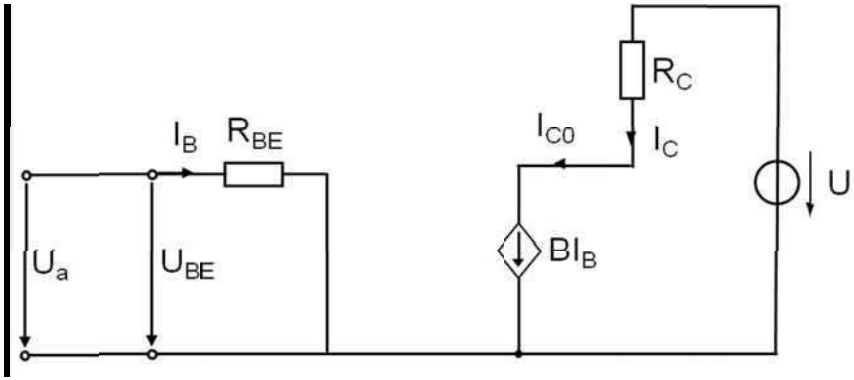
Es handelt sich um einen Subtrahierer.

$$U_a = \frac{R_4}{R_3}(U_1 - U_2)$$

$$U_a(U = 24\,\mathrm{V}) = \frac{R_4}{R_3}(U_1 - U_2) = \frac{40\,\mathrm{k\Omega}}{50\,\mathrm{k\Omega}}(6\,\mathrm{V} - 6\mathrm{V}) = 0\,\mathrm{V}$$

$$U_a(U = 28\,\mathrm{V}) = \frac{R_4}{R_3}(U_1 - U_2) = \frac{40\,\mathrm{k\Omega}}{50\,\mathrm{k\Omega}}(7\,\mathrm{V} - 6\mathrm{V}) = 0{,}8\,\mathrm{V}$$

3.4 Gleichstromersatzschaltbild



Gleichstromersatzschaltbild der Transistor-Endstufe

3.5 Betriebspunkte mit verschiedenen Spannungen U_{Bat}

$$I_B = \frac{U_{BE} - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

U_{BE0} nicht zwingend erforderlich in den Formeln, da in dieser Aufgabenstellung ausnahmsweise U_{BE0} =0V gegeben ist.

$$I_B(U = 24\,V) = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{0\,V}{200\Omega} = 0\,A$$

$$I_B(U = 28\,V) = \frac{U_a - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{0{,}8\,V}{200\Omega} = 4\,mA$$

$$I_C = I_{C0} = B I_B$$

$$I_C(U = 24\,V) = 0\,A$$

$$I_C(U = 28\,V) = 50 \cdot 4\,mA = 200\,mA$$

$$U_{CE} = U - R_C I_C$$

$$U_{CE}(U = 24\,V) = 24\,V - 0\,V = 24\,V$$

$$U_{CE}(U = 28\,V) = 28V - 20\Omega 200mA = 24\,V$$

Universität Stuttgart

iew
Institut für
Elektrische Energiewandlung

Prüfung „Einführung in die Elektrotechnik (I+II)“

15.09.2011

Allgemeine Hinweise:

Für die Aufgaben 1 bis 3 gilt jeweils:

- Pro Aufgabe können insgesamt 20 Punkte erreicht werden.
- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit den gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Beschriften Sie jedes abgegebene Blatt mit Ihrem Namen und Matrikelnummer.
- Beginnen Sie jede Aufgabe auf einem neuen Blatt.

Für die Aufgabe 4

- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein. Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang, Lösungen Aufgabe 4!) und Ihre Lösungsblätter ab.
Die Aufgabenblätter selbst müssen nicht mit abgegeben werden.

Aufgabe 1: Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Abbildung 1-1 dargestellte Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung $\underline{U}$ mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben.

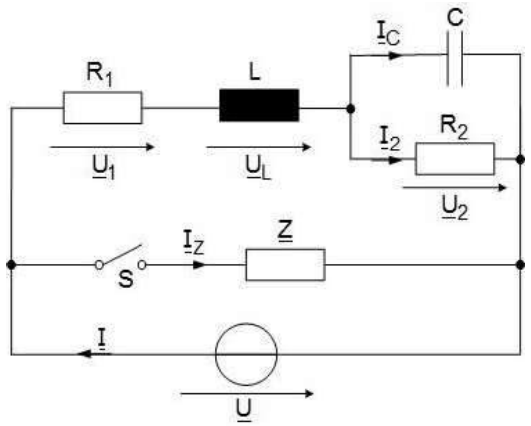


Abbildung 1-1: Wechselstromschaltung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung am Widerstand R_2	$\underline{U}_2 = U_2 = 48\,\mathrm{V}$
Widerstände	$R_1 = 10\ \Omega$
	$R_2 = 16\ \Omega$
Kapazität des Kondensators C	$C = \frac{25}{6 \cdot \pi}\,\mu\mathrm{F}$
Blindwiderstand des Kondensators C	$X_C = 12\ \Omega$
Blindwiderstand der Induktivität L	$X_L = 5\ \Omega$

Fragen:

Der Schalter S sei zunächst geöffnet.

1.1 Frequenz f und Induktivität L – (2 Punkte)

Berechnen Sie die Frequenz f in kHz und die Induktivität L in µH.

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $f = 10\,\text{kHz}$ *und* $L = 79{,}6\,\mu\text{H}$ *weiter.*

1.2 Ströme – (3 Punkte)

Berechnen Sie die Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ sowie den Gesamtstrom $\underline{I}$ und geben Sie sie sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an.

Geben Sie die Effektivwerte I_2, I_C und I der Ströme $\underline{I}_2$, $\underline{I}_C$ und $\underline{I}$ an.

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{I}_2 = 3\,\text{A}$, $\underline{I}_C = \text{j}\cdot 4\,\text{A}$, $\underline{I} = 3\text{A} + \text{j}\cdot 4\text{A}$ *weiter.*

1.3 Spannungen – (6 Punkte)

Berechnen Sie die Spannung $\underline{U}_1$ am ohmschen Widerstand R_1, die Spannung $\underline{U}_L$ an der Induktivität L sowie die Gesamtspannung (Quellenspannung) $\underline{U}$ der idealen Spannungsquelle und geben Sie die Spannungen sowohl in der Exponentialform als auch in kartesischer Form an. Geben Sie die Effektivwerte U_1, U_L und U der Spannungen $\underline{U}_1$, $\underline{U}_L$ und $\underline{U}$ an.

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $\underline{U} = (58 + \text{j}\cdot 55)\,\text{V}$ *weiter.*

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (3 Punkte)

Bestimmen Sie die von der Schaltung aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P sowie die vorzeichenbehaftete Blindleistung Q. Wie wirkt die Schaltung ohmsch-induktiv oder ohmsch kapazitiv (kurze Begründung)?

Hinweis: Wenn Sie Frage 1.4 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $P = 394\,\text{W}$ *und* $Q = -67\,\text{var}$ *weiter.*

1.5 Schein-, Wirk- und Blindleistung – (2,5 Punkte)

Bestimmen Sie die in der Schaltung umgesetzte Wirkleistung P und die Blindleistung Q aus den Teilleistungen in R_1 und R_2 bzw. X_L und X_C. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Frage 1.4.

Der Schalter S sei nun geschlossen.

1.6 Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation – (3,5 Punkte)

Welches Bauelement (Induktivität oder Kapazität) müssen Sie anstelle der allgemein eingezeichneten Impedanz $\underline{Z}$ verwenden, damit in der Schaltung nur noch Wirkleistung umgesetzt wird (kurze Begründung)? Berechnen Sie den Bauteilewert des zu verwendenden Bauteils (Induktivität in mH oder Kapazität in µF) für vollständige Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation. Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_Z$ und geben Sie dessen Effektivwert I_Z an.

Aufgabe 2: Fremderregte Gleichstrommaschine

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GM) wird in einer Windkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt. Diese wird über eine Leistungselektronik (LE) ins öffentliche Stromnetz eingespeist (siehe Abbildung 2-1).

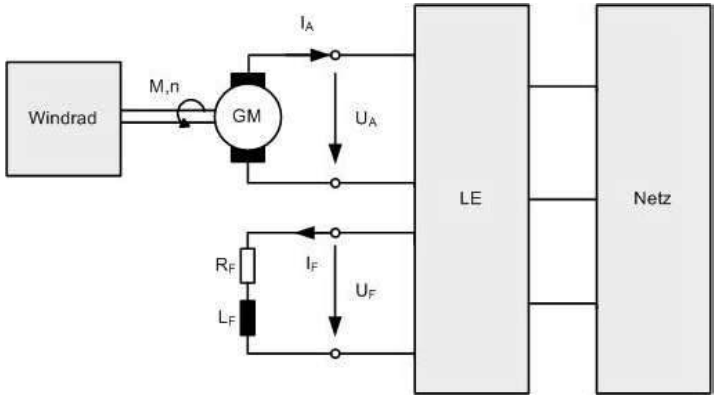


Abbildung 2-1: Übersichtsschaltbild des Windkraftwerks, bestehend aus Windrad, Gleichstrommaschine (GM), Erregerkreis und Leistungselektronik (LE)

Folgende Annahmen bzw. Vernachlässigungen dürfen stets zugrunde gelegt werden:

1. Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
2. Alle Ströme und Spannungen sind Gleichgrößen.
3. Erregerstrom und Erregerfluss sind stets proportional.
4. Es treten keine mechanischen Verluste (Reibung) auf.
5. Sämtliche Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.
6. In der LE treten keinerlei Verluste auf.
7. Die LE kann einen beliebigen Erreger- bzw. Ankerstrom einstellen.
8. Das Drehmoment M ist positiv, wenn das Windrad ein Drehmoment an die GM abgibt.
9. Der Ankerstrom I_A ist positiv, wenn die GM im generatorischen Betrieb arbeitet. (Beachten Sie die Pfeilrichtung in Abbildung 2-1)

Von der Gleichstrommaschine sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 800\,\text{V}$
Ankernennstrom	$I_{A,N} = 100\,\text{A}$
Erregernennstrom	$I_{F,N} = 10\,\text{A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 10\,\Omega$
Nenndrehzahl	$n_N = 80\,\text{min}^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 10{,}1\,\text{kNm}$

Fragen:

2.1 Leistungen, Wirkungsgrad (5 Punkte)

- Welche mechanische Leistung $P_{mech,N}$ nimmt die GM bei Nennbetrieb auf?
- Welche elektrische Leistung $P_{el,N}$ gibt sie an den Ankerklemmen ab?
- Wie groß sind die ohmschen Verluste im Anker und Erregerkreis?
- Wie groß ist der Wirkungsgrad η_N der GM bei Nennbetrieb?

2.2 ESB Ankerkreis, Ankerwiderstand (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild des Ankerkreises inklusive aller Bezeichner, sowie Strom- und Spannungspfeilen.
- Berechnen Sie den Ankerwiderstand R_A.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.2 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_A = 0{,}45\,\Omega$ weiter.

2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss (3 Punkte)

- Wie groß ist die induzierte Spannung $U_{i,N}$ bei Nennbetrieb?
- Berechnen Sie das Produkt aus Maschinenkonstante und Erregernennfluss $c \cdot \phi_N$ für den Nennbetrieb.

Hinweis: Wenn Sie Aufgabe 2.3 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $U_{i,N} = 845\,V$ *und* $c \cdot \phi_N = 101\,Vs$ *weiter.*

2.4 Betrieb bei veränderter Drehzahl (5 Punkte)

Im Folgenden wird der Betrieb bei erhöhter Drehzahl betrachtet (AP1):

Die Drehzahl beträgt $n_{AP1} = 100\,min^{-1}$. Die LE stellt sowohl den Ankerstrom als auch den Erregerstrom auf den jeweiligen Nennwert ein.

Es gilt: $I_{A,AP1} = I_{A,N} = 100\,A$ und $I_{F,AP1} = I_{F,N} = 10\,A$

- Welche Spannung $U_{i,AP1}$ wird in diesem Arbeitspunkt in der GM induziert?
- Wie groß ist die Ankerspannung $U_{A,AP1}$?
- Geben Sie den Zusammenhang zwischen der Ankerspannung U_A und der Drehzahl n an und stellen Sie diesen Zusammenhang graphisch maßstabsgerecht für einen Drehzahlbereich $0\,min^{-1} \le n \le 100\,min^{-1}$ dar.

Hinweis: Ankerstrom und Erregerstrom werden durch die LE auf den jeweiligen Nennwert eingestellt und dürfen als konstant angenommen werden. Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Frei Hand gezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet! Verwenden Sie ca. eine halbe Seite DIN A4 für das Diagramm.

2.5 Betrieb bei erhöhter Drehzahl und Veränderung des Erregerflusses (4 Punkte)

Um die Leistungselektronik vor zu hohen Spannungen zu schützen, soll der Erregerstrom I_F durch die LE so eingestellt werden, dass bei einem Betrieb bei $n_{AP2} = 100\,min^{-1}$ und $I_{A,AP2} = I_{A,N} = 100\,A$ die Ankerspannung $U_{A,AP2}$ auch ihrem Nennwert entspricht.

- Welchen Wert muss die induzierte Spannung $U_{i,AP2}$ haben um dies zu erreichen?
- Auf welchen Wert muss $c \cdot \phi_{AP2}$ eingestellt werden?
- Auf welchen Wert muss der Erregerstrom $I_{F,AP2}$ eingestellt werden?
- Welches Drehmoment M_{AP2} wird vom Windrad abgegeben?

Aufgabe 3: Diode, Operationsverstärker, Transistor

Der Arbeitspunkt eines Transistors ändert sich mit der Umgebungstemperatur, da die Stromverstärkung für gewöhnlich temperaturabhängig ist, also beispielsweise $B_{20°C} \neq B_{40°C}$ und $\beta_{20°C} \neq \beta_{40°C}$. Zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts in einem bestimmten Temperaturbereich kann ein temperaturabhängiges Bauelement zwischen Basis und Emitter des Transistors geschaltet werden. Eine solche Schaltung mit einer realen Diode ist in Abbildung 3-1 dargestellt. Diese Schaltung besteht hier aus zwei Stufen:

1. In der OP-Verstärkerstufe wird ein Differenzsignal aus zwei Signalspannungen gebildet und verstärkt.
2. In der Transistor-Endstufe wird das Ausgangssignal aus der vorherigen Stufe nochmals verstärkt.

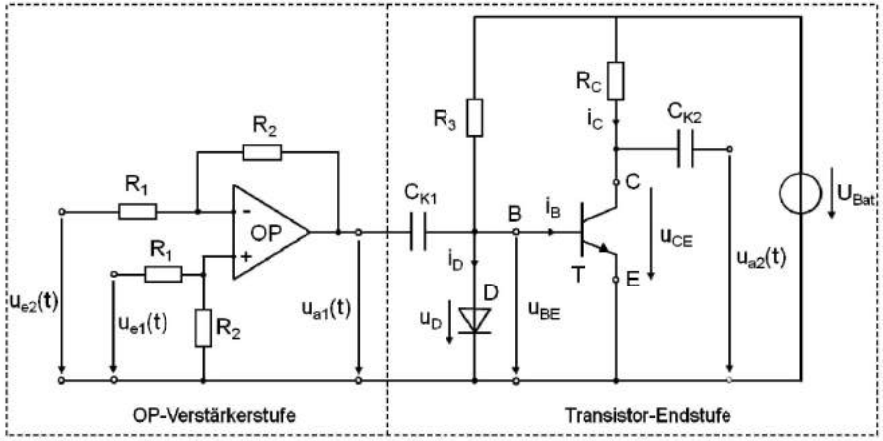


Abbildung 3-1: Schaltung zur Stabilisierung eines Arbeitspunkts bei verschiedenen Temperaturen

Für die Berechnung der Schaltung werden die beiden Eingangsspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$ als sinusförmig mit der gleichen Frequenz und gleichphasig zueinander angenommen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung $U_{Bat} = 12\ V$

Amplituden der Signalspannungen $\hat{u}_{e1} = 442\ mV$

$\hat{u}_{e2} = 400\ mV$

Widerstände $R_1 = 10\ k\Omega$

$R_3 = 10\ k\Omega$

$R_C = 60\ \Omega$

Operationsverstärker

Der Operationsverstärker (OP) darf als ideal angenommen werden. Die Spannungsversorgung des OP ist in Abbildung 3-1 nicht eingezeichnet.

Diode

Schwellenspannung bei 20°C $U_{S(AP),20°C} = 0{,}746\ V$

bei 40°C $U_{S(AP),40°C} = 0{,}687\ V$

Dynamischer Widerstand $R_{d(AP),20°C} = R_{d(AP),40°C} = 1\,k\Omega$

Transistor

Gleich- bzw. Wechselstromverstärkung

$B(20°C) = \beta(20°C) = 100$

$B(40°C) = \beta(40°C) = 105$

Basis-Emitter-Widerstand $R_{BE} = 210\ \Omega$

Kollektor-Emitter-Widerstand $R_{CE} \rightarrow \infty$

Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Strecke $U_{BE0} = 0{,}65\ V$

Koppelkondensatoren $C_{K1}, C_{K2} \rightarrow \infty$

Fragen:

Zuerst soll der Schaltungsteil „OP-Verstärkerstufe“ betrachtet werden

3.1 OP-Verstärkerstufe – (2 Punkte)

- Welche Operationsverstärker-Grundschaltung wird bei diesem Schaltungsteil verwendet?
- Geben Sie die Beziehung $u_{a1}(t) = f(u_{e1}(t), u_{e2}(t), R_1, R_2)$ an.
- Berechnen Sie den Wert des Widerstandes R_2 unter der Vorgabe, dass die Amplitude der Ausgangswechselspannung $\hat{u}_{a1} = 0{,}21\,\text{V}$ betragen soll.

Hinweis: Wenn Sie Frage 3.1 nicht lösen konnten, dann rechnen Sie im Folgenden mit $R_2 = 50\,\text{k}\Omega$ weiter.

Nun soll der Schaltungsteil „Transistor-Endstufe“ betrachtet werden.

3.2 Gleichstromersatzschaltbild – (5 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“ und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Größen U_D, U_s, U_{BE}, U_{BE0}, U_{CE}, U_{Bat}, I_B, I_{C0} und I_C.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass es sich bei der Diode um eine reale Diode mit der Klemmenspannung U_D handelt.

3.3 Arbeitspunkteinstellung – (5 Punkte)

Für zwei verschiedene Temperaturen, nämlich 20°C und 40°C, wird die Einstellung des Arbeitspunktes untersucht. Gehen Sie dabei von $U_{D(AP),20°C} = 0{,}86\,\text{V}$ und $U_{D(AP),40°C} = 0{,}85\,\text{V}$ aus.

- Geben Sie die Beziehung $U_{CE} = f(U_{Bat}, R_C, R_{BE}, B, U_D, U_{BE0})$ an.
- Bestimmen Sie die Kollektor-Emitterspannung U_{CE} bei 20°C und 40°C.

3.4 Wechselstromersatzschaltbild – (5 Punkte)

Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) des Schaltungsteils „Transistor-Endstufe“. Versehen Sie das WS-ESB mit Zählpfeilen und tragen Sie folgende Größen ein: $u_{a1}(t)$, $u_{BE}(t)$, $u_{CE}(t)$, $u_{a2}(t)$, $i_B(t)$ und $i_{C0}(t)$.

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass die Spannungsquelle im Dioden-ESB eine Gleichspannungsquelle ist.

3.5 Wechselstromanalyse – (3 Punkte)

Bestimmen Sie mit der Vorgabe von $\hat{u}_{a1} = 0{,}21\,\text{V}$ aus Frage 3.1 die Amplitude $\hat{u}_{a2}$ des Kollektor-Emitter-Wechselspannungsanteils bei 20°C.

Aufgabe 4:

- Pro Frage ist genau ***eine*** Antwort richtig. Es wird wie folgt bewertet:
  Richtige Antwort: +1 Punkt
  Keine Antwort: 0 Punkte
  Falsche Antwort: –1 Punkt
- Jeder Themenblock wird separat und mit mindestens 0 Punkten bewertet.
- Tragen Sie Ihre Lösungen auf der Rückseite des Umschlagbogens ein.
  Es werden nur die dort eingetragenen Lösungen bewertet!

Block 1: Grundlagen – (8 Punkte)

4.1 Die elektrische Spannung zwischen zwei elektrisch geladenen Platten ist

a) umgekehrt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten, aber direkt proportional zum Plattenabstand.

b) direkt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten und dem Plattenabstand.

c) direkt proportional zum elektrischen Feld zwischen den Platten, aber unabhängig vom Plattenabstand.

4.2 Ein Netzwerk wird mit Hilfe der Methode der Ersatzspannungsquelle berechnet. Die in der Ersatzspannungsquelle umgesetzte Leistung ist

a) immer doppelt so groß wie die umgesetzte Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

b) genau gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

c) im Allgemeinen nicht gleich der umgesetzten Leistung im ursprünglichen Netzwerk.

4.3 Eine reale Spannungsquelle wird im Ersatzschaltbild dargestellt durch

a) die Reihenschaltung einer idealen Stromquelle und eines Widerstands.

b) die Reihenschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.

c) die Parallelschaltung einer idealen Spannungsquelle und eines Widerstands.

4.4 Die Methode des Überlagerungssatzes kann angewendet werden bei einer Schaltung mit

a) mehreren Quellen und linearen Elementen.

b) mehreren Quellen und nichtlinearen Elementen.

c) mehreren Quellen und linearen und nichtlinearen Elementen.

4.5 Die Gesamtkapazität von n in Reihe geschalteten Kondensatoren beträgt

a) $C = \sum_{k=1}^{n} C_k$

b) $C = \dfrac{1}{\sum_{k=1}^{n} \dfrac{1}{C_k}}$

c) $C = \dfrac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \ldots \cdot C_n}{C_1 + C_2 + C_3 + \ldots + C_n}$

4.6 Bei einem gedämpften Reihenschwingkreis (Reihenschaltung von R, L und C) wird der Effektivwert des Stromes I bei Resonanz ($f = f_r$)

a) minimal.

b) maximal.

c) imaginär.

4.7 In einem Zeigerdiagramm können dargestellt werden:

a) nur Gleichspannungen und Gleichströme.

b) nur Wechselspannungen und Wechselströme gleicher Frequenz.

c) nur Wechselspannungen und Wechselströme mit unterschiedlichen Frequenzen.

4.8 Welche Aussage bezüglich einer Kapazität C stimmt?

a) Der Kondensatorstrom kann nicht springen.

b) Die Spannung am Kondensator kann nicht springen.

c) Weder Strom noch Spannung können springen.

Block 2: Halbleitertechnik – (6 Punkte)

4.9 Welche Aussage stimmt?

a) Eine Diode wird leitend, wenn die Breite der Sperrschicht abnimmt.

b) Eine Diode wird leitend, wenn die Breite der Sperrschicht zunimmt.

c) Die Sperrschichtbreite spielt keine Rolle bei der Leitfähigkeit einer Diode.

4.10 Das linearisierte Ersatzschaltbild einer Diode ist gültig

a) im gesamten Bereich der Strom-Spannungskennlinie der Diode.

b) nur für spezielle Diodentypen.

c) nur in einem Bereich um den gewählten Arbeitspunkt.

4.11 Wozu werden Zener-Dioden bevorzugt verwendet?

a) Lichterzeugung.

b) Stromgleichrichtung.

c) Spannungsstabilisierung.

4.12 Charakteristisch für einen Bipolartransistor ist, dass

a) eine große Änderung des Basisstroms zu einer kleinen Änderung des Kollektorstroms führt.

b) eine kleine Änderung des Basisstroms zu einer großen Änderung des Kollektorstroms führt.

c) der Basisstrom gleich groß ist wie der Kollektorstrom.

4.13 Bei einem invertierenden Verstärker mit idealem Operationsverstärker

a) muss der Verstärkungsfaktor des Operationsverstärkers klein sein.

b) darf der Ausgang des Operationsverstärkers nicht belastet werden.

c) sind die Eingänge des Operationsverstärkers stromlos.

4.14 Ein nicht rückgekoppelter Operationsverstärker kann eingesetzt werden,

a) um Spannungen zu verstärken.

b) um Ströme zu verstärken.

c) um zwei Spannungen miteinander zu vergleichen.

Block 3: Elektrische Maschinen – (6 Punkte)

4.15 Eine Spannung wird induziert wenn

a) eine ruhende Leiterschleife von einem elektrischen Wechselfeld durchsetzt wird.

b) sich eine ruhende Leiterschleife in einem zeitlich konstanten Magnetfeld befindet.

c) eine Leiterschleife von einem magnetischen Wechselfeld durchsetzt wird.

4.16 Die Lorentzkraft beschreibt

a) die Kraft auf stromdurchflossene Leiter in einem Magnetfeld und ist unabhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.

b) die Kraft auf einen stromdurchflossenen Leiter in einem Magnetfeld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge im Magnetfeld.

c) die Kraft auf einen stromdurchflossene Leiter im elektrischen Feld und ist unter anderem abhängig von der Leiterlänge.

4.17 Das Anlaufdrehmoment einer permanentmagnetisch erregten Gleichstrommaschine ist abhängig von

a) der Ankerspannung U_A und dem Ankerwiderstand R_A.

b) der Ankerspannung U_A und der Drehzahl n.

c) dem Ankerstrom I_A und der Drehzahl n.

4.18 Mit steigendem Erregerstrom I_F gilt bei einer fremderregten Gleichstrommaschine:

a) Die Leerlaufdrehzahl und das Anlaufdrehmoment nehmen zu.

b) Die Leerlaufdrehzahl nimmt ab und das Anlaufdrehmoment nimmt zu.

c) Die Leerlaufdrehzahl nimmt zu und das Anlaufdrehmoment nimmt ab.

4.19 Als Ankerrückwirkung bei einer Gleichstrommaschine wird

a) das durch die Ankerströme verursachte Bremsdrehmoment bezeichnet.

b) die Geräuschentwicklung in der Maschine durch die Kohlebürsten am Anker bezeichnet.

c) die Verzerrung des Hauptmagnetfelds durch das Ankerquerfeld bezeichnet.

4.20 Wie kann die Leerlaufdrehzahl von Asynchronmotoren am Netz beeinflusst werden?

a) Durch die Veränderung der Polpaarzahl p.

b) Durch die Veränderung der Höhe der Netzspannung.

c) Durch die Erhöhung des Kippdrehmomentes.

Universität Stuttgart

Institut für Elektrische Energiewandlung

Prüfung Einführung in die Elektrotechnik (I+II)

15.09.2011

Lösungsvorschläge zur Prüfung

Aufgabe 1

1.1 Frequenz f und Induktivität L

$$X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C} \Leftrightarrow f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot C \cdot X_C} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \frac{25}{6 \cdot \pi} \cdot 10^{-6}\,\mathrm{F} \cdot 12\,\Omega} = 10\,\mathrm{kHz}$$

$$X_L = \omega \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \Leftrightarrow L = \frac{X_L}{2 \cdot \pi \cdot f} = \frac{5\,\Omega}{2 \cdot \pi \cdot 10\,\mathrm{kHz}} = 7{,}96 \cdot 10^{-5}\,\mathrm{H} = 79{,}6\,\mu\mathrm{H}$$

1.2 Ströme

Anmerk.: Hier ist zuerst nach komplexen Größen gefragt! Deshalb sind alle komplexen Größen unterstrichen! (Wer den Unterstrich weglässt verschenkt unnötig Punkte… da nichtunterstrichene Größen nunmal Effektivwerte bzw. Gleichgrößen sind.)

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{U}_2}{R_2} = \frac{48\,\mathrm{V}}{16\,\Omega} = 3\,\mathrm{A} = 3\,\mathrm{A} \cdot e^{j \cdot 0°}$$ *(Dieser Strom hat keinen imaginären Anteil…)*

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}_2}{-j \cdot X_C} = j \cdot \frac{48\,\mathrm{V}}{12\,\Omega} = j \cdot 4\,\mathrm{A} = 4\,\mathrm{A} \cdot e^{j \cdot 90°}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_2 + \underline{I}_C = 3\,\mathrm{A} + j \cdot 4\,\mathrm{A} = \sqrt{(3\,\mathrm{A})^2 + (4\,\mathrm{A})^2} \cdot e^{j \cdot \arctan\left(\frac{4\,\mathrm{A}}{3\,\mathrm{A}}\right)} = 5\,\mathrm{A} \cdot e^{j \cdot 53{,}13°}$$

Effektivwerte:

$I_2 = |\underline{I}_2| = 3\,\mathrm{A}$

$I_C = |\underline{I}_C| = 4\,\mathrm{A}$

$I = |\underline{I}| = 5\,\mathrm{A}$

1.3 Spannungen

$$\underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I} = 10\,\Omega \cdot 5\,\mathrm{A} \cdot e^{j \cdot 53{,}13°} = 50\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 53{,}13°}$$

$$\underline{U}_1 = 50\,\mathrm{V} \cdot \left[\cos(53{,}13°) + j \cdot \sin(53{,}13°)\right] = (30 + j \cdot 40)\,\mathrm{V}$$

(Oder erst in kartesischen Koordinaten, und dann umrechnen:)

$$\underline{U}_1 = R_1 \cdot \underline{I} = 10\,\Omega \cdot (3\mathrm{A} + j \cdot 4\mathrm{A}) = (30\mathrm{V} + j \cdot 40\mathrm{V})$$

$$\underline{U}_1 = 50\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 53{,}13°}$$

$$\underline{U}_L = j \cdot X_L \cdot \underline{I} = j \cdot 5\,\Omega \cdot 5\,\mathrm{A} \cdot e^{j \cdot 53{,}13°} = 25\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot (90° + 53{,}13°)} = 25\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot (143{,}13°)}$$

$$\underline{U}_L = 25\,\mathrm{V} \cdot \left[\cos(143{,}13°) + j \cdot \sin(143{,}13°)\right] = (-20 + j \cdot 15)\,\mathrm{V}$$

$$\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_L + \underline{U}_2 = (30 + j \cdot 40)\,\mathrm{V} + (-20 + j \cdot 15)\,\mathrm{V} + 48\,\mathrm{V} = (58 + j \cdot 55)\,\mathrm{V}$$

$$\underline{U} = \underline{U}_1 + \underline{U}_L + \underline{U}_2 = \sqrt{(58\,\mathrm{V})^2 + (55\,\mathrm{V})^2} \cdot e^{j \cdot \arctan\left(\frac{55\,\mathrm{V}}{58\,\mathrm{V}}\right)} = 80\,\mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 43{,}5°}$$

Effektivwerte:

$U_1 = |\underline{U}_1| = 50\,\mathrm{V}$

$U_L = |\underline{U}_L| = 25\,\mathrm{V}$

$U = |\underline{U}| = 80\,\mathrm{V}$

1.4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^{*} = \left(80\ \mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 43{,}48°}\right) \cdot \left(5\ \mathrm{A} \cdot e^{-j \cdot 53{,}13°}\right) = 400\ \mathrm{VA} \cdot e^{-j \cdot 9{,}65°}$$

(Für den Strom ist der komplex konjugierte Wert zu verwenden!)

$$\underline{S} = 400\ \mathrm{VA} \cdot \left[\cos(-9{,}65°) + j \cdot \sin(-9{,}65°)\right] \approx (394 - j \cdot 67)\ \mathrm{VA}$$

$$P = \mathrm{Re}\{\underline{S}\} = 394\ \mathrm{W}$$

$$Q = \mathrm{Im}\{\underline{S}\} = -67\ \mathrm{var}$$

Die Schaltung wirkt ohmsch-kapazitiv, da (P ungleich Null ist und) Q < 0 ist!

1.5 Schein-, Wirk- und Blindleistung

$$P = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 = 10\ \Omega \cdot (5\ \mathrm{A})^2 + 16\ \Omega \cdot (3\ \mathrm{A})^2 = 394\ \mathrm{W}$$

$$Q = X_L \cdot I_1^2 - X_C \cdot I_C^2 = 5\ \Omega \cdot (5\ \mathrm{A})^2 - 12\ \Omega \cdot (4\ \mathrm{A})^2 = -67\ \mathrm{var}$$

Die Werte aus Frage 1.4 und 1.5 stimmen, so wie es sein muss, überein.

1.6 Blindleistungs- bzw. Blindstromkompensation

Es muss kapazitive Blindleistung kompensiert werden. Daher muss eine Induktivität verwendet werden, d.h. $\underline{Z} = j \cdot 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1 = X_{L1} \cdot e^{j \cdot 90°}$

$$|Q_{L1}| = |Q| = 67\ \mathrm{var}$$

$$Q_{L1} = \frac{U^2}{X_{L1}} = \frac{U^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot L_1} \Leftrightarrow L_1 = \frac{U^2}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot Q_{L1}} = \frac{(80\ \mathrm{V})^2}{2 \cdot \pi \cdot 10\ \mathrm{kHz} \cdot 67\ \mathrm{var}} = 1{,}52 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{H} = 1{,}52\ \mathrm{mH}$$

$$\underline{I}_Z = \frac{\underline{U}}{j \cdot X_{L1}} = \frac{\left(80\ \mathrm{V} \cdot e^{j \cdot 43{,}48°}\right)}{2 \cdot \pi \cdot 10\ \mathrm{kHz} \cdot 1{,}52\ \mathrm{mH} \cdot e^{j \cdot 90°}} = 0{,}838\ \mathrm{A} \cdot e^{-j \cdot 46{,}52°}$$

$$I_Z = |\underline{I}_Z| = 0{,}838\ \mathrm{A}$$

Aufgabe 2 Musterlösung

Fragen:

2.1 Leistungen, Wirkungsgrad

- $P_{mech,N} = M_N \cdot \Omega_N$

  $$P_{mech,N} = 10{,}1\mathrm{kNm} \cdot 2\pi \cdot \frac{80}{60\mathrm{s}} = 84{,}61\mathrm{kW}$$

- $P_{el,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N}$

  $$P_{el,N} = 800\mathrm{V} \cdot 100\mathrm{A} = 80\mathrm{kW}$$

- Verluste im Anker:

  $$P_{VA,N} = P_{mech,N} - P_{el,N}$$

  $$P_{VA,N} = 84{,}61\mathrm{kW} - 80\mathrm{kW} = 4{,}61\mathrm{kW}$$

  Verluste in Erregerwicklung:

  $$P_{VF,N} = P_{F,N} = R_F \cdot I_{F,N}^2$$

  $$P_{VF,N} = P_{F,N} = 10\Omega \cdot (10\mathrm{A})^2 = 1\mathrm{kW}$$

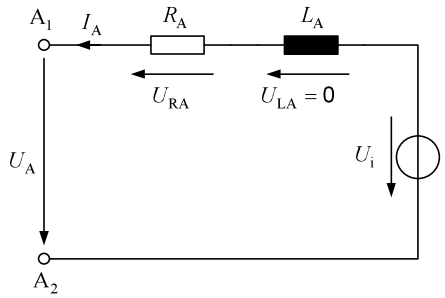
- $$\eta = \frac{P_{el,N}}{P_{el,N} + P_{VA,N} + P_{VF,N}} = \frac{P_{el,N}}{P_{mech,N} + P_{VF,N}}$$

  $$\eta = \frac{80\mathrm{kW}}{80\mathrm{kW} + 4{,}61\mathrm{kW} + 1\mathrm{kW}} = 93{,}4\%$$

  (Es muss sowohl mechanische Leistung als auch elektrische Leistung in der Erregerwicklung der Maschine zugeführt werden. Genutzt wird die Leistung an den Ankerklemmen.)

2.2 ESB Ankerkreis, Ankerwiderstand

- ESB:



(In der Aufgabenstellung vorgegebene Pfeilungsrichtung für den Strom beachten!)

- $R_A = \frac{P_{A,N}}{(I_{A,N})^2}$

$R_A = \frac{4{,}61\,\text{kW}}{(100\,\text{A})^2} = 0{,}461\,\Omega$

2.3 Induzierte Spannung, Erregerfluss

- $U_{A,N} = U_{i,N} - U_{RA}$

(muss nicht unbedingt angegeben werden, aber das ist die Maschengleichung aus den ESB)

$U_{i,N} = U_{A,N} + R_A \cdot I_{A,N}$

(das „+“ ist wichtig! Wegen vorgegebener Pfeilungsrichtung vom Ankerstrom)

$U_{i,N} = 800\text{V} + 0{,}461\Omega \cdot 100\text{A} = 846{,}1\text{V}$

mit Ersatzwert von R_A:

$U_{i,N} = 800\text{V} + 0{,}45\Omega \cdot 100\text{A} = 845\text{V}$

- $c\phi_N = \frac{U_{A,N}}{\Omega_N}$

$c\phi_N = \frac{846{,}1\text{V}}{2\pi\frac{80}{60\text{s}}} = 101\,\text{Vs}$

mit Ersatzwert von R_A:

$c\phi_N = \frac{845\text{V}}{2\pi\frac{80}{60\text{s}}} = 100{,}86\,\text{Vs}$

2.4 Betrieb bei veränderter Drehzahl

- $U_{I,AP1} = c\phi_N \cdot \Omega_{AP1}$

  $U_{I,AP1} = 101Vs \cdot 2\pi \cdot \frac{100}{60s} = 1058V$

- $U_{A,AP1} = U_{I,AP1} - R_A \cdot I_{A,AP1}$

  $U_{A,AP1} = 1058V - 0,461\Omega \cdot 100A = 1012V$

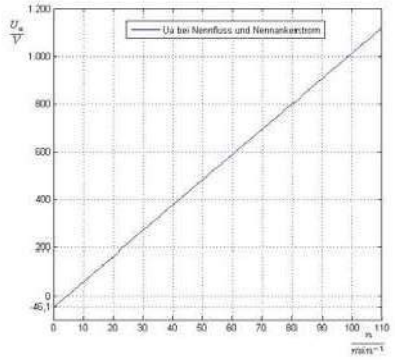
  mit Ersatzwert von R_A:

  $U_{A,AP1} = 1058V - 0,45\Omega \cdot 100A = 1013V$

- $U_A = U_I - U_{RA}$

  $U_A = c\phi_N \cdot \Omega - R_A \cdot I_{A,N}$

  $U_A = 101Vs \frac{2\pi \cdot n}{60} - 46,1V = 10,58V \cdot \frac{n}{1min} - 46,1V$



Hinweis: Ankerstrom und Erregerstrom werden durch die LE auf den jeweiligen Nennwert eingestellt und dürfen als konstant angenommen werden. Verwenden Sie ein Lineal und achten Sie auf vollständige Beschriftung. Frei Hand gezeichnete Diagramme werden mit 0 Punkten bewertet! Verwenden Sie ca. eine halbe Seite DIN A4 für das Diagramm.

2.5 Betrieb bei erhöhter Drehzahl und Veränderung des Erregerflusses

- $U_{I,AP2} = U_{I,N}$

  $U_{I,AP2} = 846,1V$

  mit Ersatzwert von R_A: $U_{A,AP1} = 845V$

- $c\phi_{AP2} = \frac{U_{I,AP2}}{\Omega_{AP2}}$

  $c\phi_{AP2} = \frac{846,1V}{2\pi \frac{100}{60s}} = 80,8Vs$

  mit Ersatzwert von U_I: $c\phi_N = \frac{845V}{2\pi \frac{100}{60s}} = 80,7Vs$

  Alternative: $c\phi_{AP2} = c\phi_N \frac{\Omega_N}{\Omega_{AP2}} = 101Vs \cdot \frac{80}{100}$

- $I_{F,AP2} = I_{F,N} \frac{c\phi_{AP2}}{c\phi_N}$

  (linearer Zusammenhang zwischen Fluss und Erregerstrom)

  $I_{F,AP2} = 10A \cdot \frac{80}{100} = 8A$

- Welches Moment M_{AP2} wird in diesem Fall vom Windrad abgegeben?

  $M_{AP2} = c\phi_{AP2} \cdot I_{A,AP2}$

  $M_{AP2} = 80,8Vs \cdot 100A = 8,08\ kNm$

Aufgabe 3

3.1 OP-Verstärkerstufe –

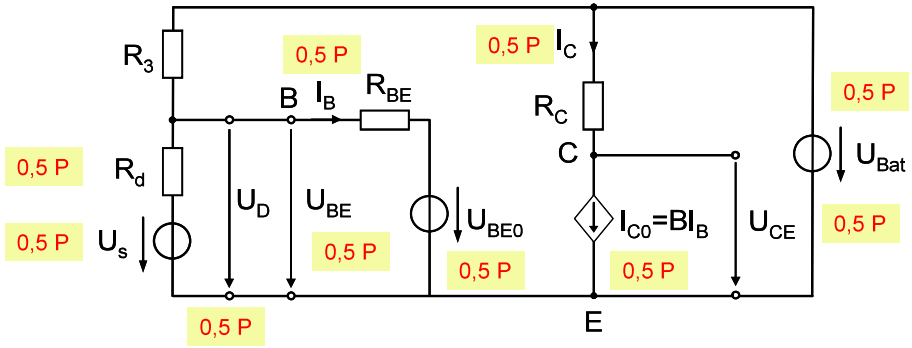
Subtrahierer

$$u_{a1}(t) = \frac{R_2}{R_1}(u_{e1}(t) - u_{e2}(t))$$

$$R_2 = R_1 \frac{\hat{u}_{a1}}{\hat{u}_{e1} - \hat{u}_{e2}}$$

$$= 10\text{k}\Omega \frac{0,21\text{V}}{442\text{mV} - 400\text{mV}} = 50\text{k}\Omega$$

3.2 Gleichstromersatzschaltbild –



3. 3 Arbeitspunkteinstellung

Diodenspannungen sind für beide Temperaturen gegeben und entsprechnen jeweils der Basis-Emitter-Spannung.

$$U_D = U_{BE}$$

Maschengleichung B-E-Strecke:

$$U_{BE} = U_{BE0} + R_{BE} I_B$$

$$I_B = \frac{U_{BE} - U_{BE0}}{R_{BE}} = \frac{U_D - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

Da R_{CE} vernachlässigt werden darf:

$$I_C = I_{C0} = B I_B$$

Maschengleichung:

$$U_{CE} = U_{Bat} - R_C I_C$$

Alles ineinander eingesetzt:

$$U_{CE} = U_{Bat} - R_C \cdot B \cdot \frac{U_D - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

Nun noch Werte ausrechnen:

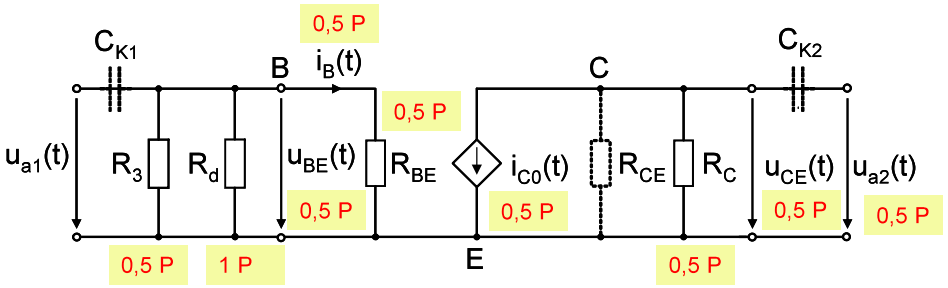
$$U_{CE,20^\circ C} = U_{Bat} - R_C B(20^\circ C) \frac{U_{D,20^\circ C} - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

$$= 12\text{V} - 60\Omega 100 \frac{0,86\text{V} - 0,65\text{V}}{210\Omega} = 6\text{V}$$

$$U_{CE,40^\circ C} = U_{Bat} - R_C B(40^\circ C) \frac{U_{D,40^\circ C} - U_{BE0}}{R_{BE}}$$

$$= 12\text{V} - 60\Omega 105 \frac{0,85\text{V} - 0,65\text{V}}{210\Omega} = 6\text{V}$$

3.4 Wechselstromersatzschaltbild – (5 Punkte)



3.5 Wechselstromanalyse – (3 Punkte)

Mit der Vorgabe aus Frage 3.1: $\hat{u}_{a1} = 0{,}21\,\text{V}$

$\hat{u}_{a1} = R_{BE}\,\hat{i}_B$

$\hat{i}_C = \beta\,\hat{i}_B$

$\hat{u}_{CE} = R_C\,\hat{i}_C$

$\hat{u}_{CE} = \hat{u}_{a2}$

$\hat{u}_{a2} = R_C\,\beta\,\hat{i}_B = R_C\,\beta(20^{\circ}\text{C})\,\hat{u}_{a1} / R_{BE} = 60\Omega\ 100\ 0{,}21\text{V} / 210\Omega = 6\text{V}$

Dachwerte sind immer Beträge, d.h. positive Größen!!