

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)

12.03.2015

Allgemeine Hinweise:

- Es werden nur Ergebnisse mit vollständigem Rechenweg gewertet. Begründen Sie Ihre Annahmen und erläutern Sie, wenn Sie Zwischenschritte auslassen konnten.
- Wenn Sie Funktionen eines programmierbaren Taschenrechners (GTR) benutzen (z.B. Umrechnung kartesische Koordinaten in Exponentialform, Lösen einer quadratischen Gleichung, etc.), so kennzeichnen Sie dies bitte in Ihrer Lösung.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit gegebenen Ersatzwerten weiterführen.
- Verwenden Sie für Ihre Lösungen die extra ausgeteilten Lösungsblätter.
- Wenn der vorgegebene Platz in den Lösungsblättern nicht ausreicht, dann vermerken Sie dies innerhalb des Lösungsfeldes der entsprechenden Teilaufgabe und verwenden Sie ein zusätzliches Blatt, beschriftet mit Namen und Matrikelnummer.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) mit innenliegenden Lösungsblättern und ggf. noch zusätzlich beschriebenen Blättern ab. Die Aufgabenblätter selbst bitte nicht mit abgeben

Aufgabe 1: Komplexe Wechselstromrechnung **(20 Punkte)**

Die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung mit der Frequenz f betrieben. Nachfolgend soll das Verhalten der Schaltung in Abhängigkeit der Bauteile und ihrer Werte berechnet werden.

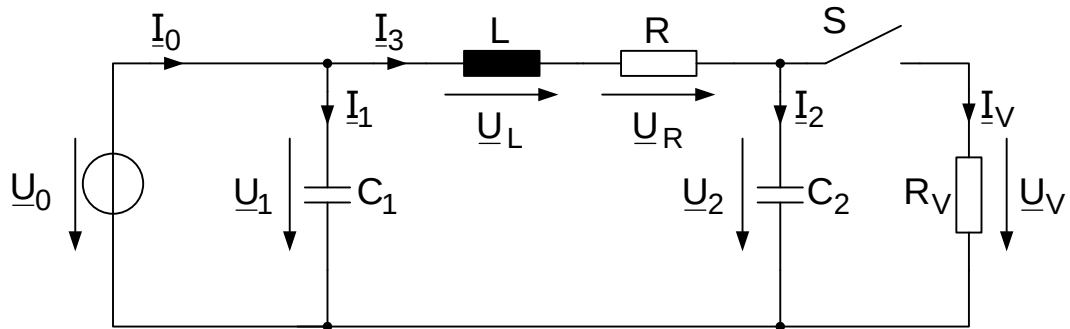


Bild 1.1: Ersatzschaltbild der Schaltung

Generell gilt:

- Stellen Sie Endergebnisse mit komplexen Zahlen in kartesischer Schreibweise dar, also Realteil + $j \cdot$ Imaginärteil!
- Die Aufgabenteile 1.1 bis 1.3 sind unabhängig voneinander lösbar.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Frequenz der Spannungsquelle: $f = 50\text{Hz}$

Induktivität der Spule: $L = 0,5 \cdot \pi^{-1} \text{H}$

Kapazität der Kondensatoren: $C_1 = C_2 = (5000 \cdot \pi)^{-1} \text{F}$

Ohm'scher Widerstand: $R = 25\Omega$

Aufgabe 1.1: Spannungen und Ströme (8 Punkte)

Der Schalter S ist vorerst geöffnet, d.h. $\underline{I}_V = 0 \text{ A}$. Es gilt: $\underline{U}_0 = 50 \text{ V}$

- Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_0$, den die Quelle liefern muss.
- Berechnen Sie die Phasenverschiebung φ zwischen dem Strom $\underline{I}_0$ und der Spannung $\underline{U}_0$.
- Bestimmen Sie die Spannung $\underline{U}_2$ und geben Sie das Verhältnis der Amplitude $\hat{u}_2$ zur Amplitude $\hat{u}_0$ der Spannung $\underline{U}_0$ an.

Aufgabe 1.2: Zeigerdiagramm (2 Punkte)

Der Schalter S ist weiterhin geöffnet, d.h. $\underline{I}_V = 0 \text{ A}$.

- Vervollständigen Sie auf dem Lösungsblatt das qualitative Zeigerdiagramm für die in Bild 1.1 dargestellte Schaltung so, dass alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthalten sind.

Aufgabe 1.3: Schein-, Wirk- und Blindleistung (10 Punkte)

Der Schalter S sei nun geschlossen, sodass ein Strom durch den Verbraucher mit $R_V = 50 \Omega$ fließen kann. Die Spannung $\underline{U}_0$ soll neu berechnet werden, sodass am Verbraucher die Spannung $\underline{U}_V = 100 \text{ V}$ anliegt.

- Bestimmen Sie die neue Spannung $\underline{U}_0$ der Spannungsquelle.
- Welche Schein-, Wirk- und Blindleistung muss die Quelle liefern?

Aufgabe 2: Lade- und Entladevorgänge **(20 Punkte)**

Im nachfolgenden Bild 2.1 ist eine Schaltung gegeben, in welcher ein Kondensator C sowie die beiden Widerstände R_1 und R_2 über einen idealen Schalter S an eine ideale Gleichspannungsquelle U_0 angeschlossen sind.

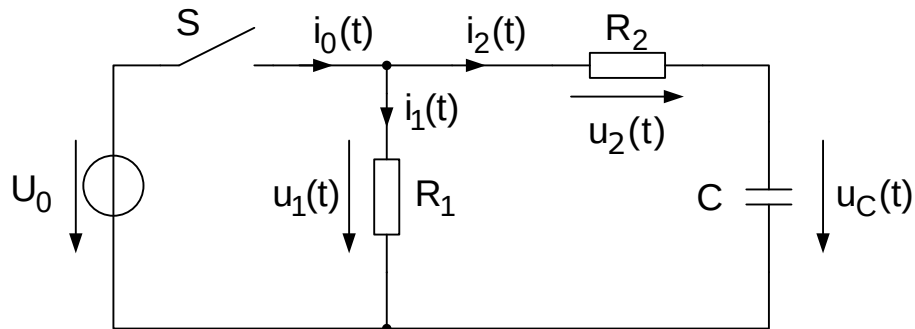


Bild 2.1: Schaltung zum Laden und Entladen eines Kondensators

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle: $U_0 = 10\text{ V}$

Kondensator: $C = 10\mu\text{F}$

Widerstände $R_1 = 20\Omega$ sowie $R_2 = 80\Omega$

Aufgabe 2.1: Einschaltvorgang (15 Punkte)

Der Kondensator war vor dem Einschaltzeitpunkt vollständig entladen und der Schalter S geöffnet. Zum Zeitpunkt $t_{\text{ein}} = 0 \text{ s}$ wird nun der Schalter S geschlossen.

- Stellen Sie mit Hilfe der Grundgleichungen der Bauelemente R_1 , R_2 und C die für den Einschwingvorgang geltende Differentialgleichung (DGL) für $u_C(t)$ auf.
- Lösen Sie die DGL mit dem Ansatz $u_C(t) = a \cdot \exp\left(-\frac{t - t_{\text{ein}}}{\tau_1}\right) + b$ für $t_{\text{ein}} = 0 \text{ s}$ und bestimmen Sie die Konstanten a , b sowie τ_1 .
- Geben Sie die zeitliche Funktion der Spannung $u_C(t)$ sowie die des Stromes $i_0(t)$ für $t > t_{\text{ein}}$ an.
- Welchen Wert strebt $u_C(t)$ für $t \rightarrow \infty$ an und zu welchem Zeitpunkt t_x werden 90% dieses Wertes erreicht?

Aufgabe 2.2: Ausschaltvorgang (5 Punkte)

Zum Zeitpunkt $t = t_{\text{aus}}$ wird der Schalter S wieder geöffnet. Dabei gilt:
 $u_C(t_{\text{aus}}) = 5 \text{ V}$

- Stellen Sie die für den Ausschaltvorgang geltende DGL für $u_C(t)$ auf.
- Wählen Sie einen geeigneten Ansatz für $u_C(t)$ und geben Sie die zeitliche Funktion der Spannung $u_C(t)$ für $t > t_{\text{aus}}$ als Lösung der DGL an. Die Zwischenschritte müssen hierbei nicht angegeben werden.
- Wie verhält sich die Zeitkonstante τ_2 (Ausschaltvorgang) zur Zeitkonstante τ_1 (Einschaltvorgang)?

Aufgabe 3: Kurz- und Verständnisfragen zu EET1 **(10 Punkte)**

Die folgenden Fragen werden wie folgt bewertet:

- 2 Punkte für eine richtige Antwort
- 0,5 Punkte für die Antwort „ich weiß es nicht“
- 0 Punkte bei keiner oder falscher Antwort

Kreuzen Sie Ihre Antwort auf dem entsprechenden Lösungsblatt an.

- a) Welchen Ersatzleitwert (Zahl und Einheit) besitzen zwei parallel geschaltete Widerstände, wenn die beiden Widerstände jeweils einen Wert von 100Ω haben?
- b) Welchen Wert hat die Phasenverschiebung zwischen Spulenstrom und der Spulenspannung bei einer idealen Spule?
- c) Wie verändert sich die Klemmenspannung einer idealen Spannungsquelle bei steigendem Klemmenstrom?
- d) Wodurch werden nichtbetrachtete Stromquellen beim Überlagerungssatz ersetzt?
- e) Wie lässt sich die Eigeninduktivität einer Spule berechnen?

Aufgabe 4: Kurz- und Verständnisfragen zu EET2 **(10 Punkte)**

Die folgenden Fragen werden wie folgt bewertet:

- 2 Punkte für eine richtige Antwort
- 0,5 Punkte für die Antwort „ich weiß es nicht“
- 0 Punkte bei keiner oder falscher Antwort

Kreuzen Sie Ihre Antwort auf dem entsprechenden Lösungsblatt an.

- a) Geben Sie die niedrigste mögliche Frequenz des speisenden Netzes an, wenn eine daran angeschlossene Asynchronmaschine eine Synchrondrehzahl von $n_{\text{sync}} = 1200 \text{ min}^{-1}$ besitzt.
- b) Kann eine Asynchronmaschine, die an einem Netz mit einer Netzfrequenz von $f_{\text{Netz}} = 50 \text{ Hz}$ angeschlossen ist, eine Synchrondrehzahl von $n_{\text{sync}} = 1200 \text{ min}^{-1}$ besitzen? Wenn ja, welche Polpaarzahl besitzt die ASM?
- c) Durch welche Art der Rückkopplung ist ein Schmitt-Trigger gekennzeichnet?
- d) Wie muss bei einer fremderregten Gleichstrommaschine der Erregerstrom beeinflusst werden, um das abgegebene Drehmoment bei gleichbleibendem Ankerstrom zu verringern?
- e) Welchen Maximalwert kann der Strom in den invertierenden Eingang eines idealen Operationsverstärkers annehmen?

Aufgabe 5: Gleichstrommaschine **(15 Punkte)**

Eine permanentmagnetisch erregte Gleichstrommaschine (GM) für kleine Leistungen soll im Motorbetrieb untersucht werden. Dazu wird der Motor an eine ideale Spannungsquelle mit $U_q = 4,2 \text{ V}$ angeschlossen und die folgenden zwei Messungen werden durchgeführt:

Erste Messung:

Bei festgebremstem Motor (Stillstand) gemessen:

$$I_{A,st} = 2,1 \text{ A}$$

Zweite Messung:

Bei realem Leerlauf (kein Moment nach außen hin abgegeben, es muss lediglich die Reibung innerhalb der Maschine überwunden werden) gemessen:

$$n_{r0} = 15000 \text{ min}^{-1}$$

$$I_{A,r0} = 0,1 \text{ A}$$

Vereinfachungen, die angenommen werden dürfen:

- Es dürfen stets stationäre Betriebsverhältnisse angenommen werden, d.h. alle Größen der GM sind Gleichgrößen.
- Kupferverluste und Reibung müssen berücksichtigt werden, alle anderen Verlusteffekte dürfen vernachlässigt werden.
- Die Reibung darf als konstantes, drehzahlunabhängiges Drehmoment angenommen werden.

Aufgabe 5.1: Elektrisches ESB (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der gesamten Anordnung inklusive aller Ströme und Spannungen. Zeichnen Sie dabei ausschließlich solche Elemente ein, die unter Berücksichtigung der Vereinfachungen auch zur Rechnung benötigt werden.

Aufgabe 5.2: Maschinenparameter (4 Punkte)

Berechnen Sie aus den Werten der beiden gegebenen Messungen die folgenden Größen der GM:

- Ankerwiderstand R_A
- Produkt aus Maschinenkonstante und magnetischem Fluss $c \cdot \Phi$

Geben Sie $c \cdot \Phi$ in der Einheit „mVs“ (Milli-Volt-Sekunden) an und runden Sie auf die 4. Nachkommastelle.

Aufgabe 5.3: Reibung (4 Punkte)

Anhand der Messung im realen Leerlauf (Messung 2) soll nun die Reibung bestimmt werden:

- Berechnen Sie die Verlustleistung $P_{V,Rbg}$, welche bei der zweiten Messung durch die Reibung innerhalb der Maschine entsteht.
- Berechnen Sie das Reibungsmoment M_{Rbg} .

Aufgabe 5.4: Nennbetrieb (4 Punkte)

Von der Maschine sind die folgenden Nennwerte bekannt:

Ankernennspannung: $U_{A,N} = 4,2 \text{ V}$

Nenndrehzahl: $n_N = 12000 \text{ min}^{-1}$

Berechnen Sie die folgenden Größen für den Nennbetrieb:

- Ankernennstrom $I_{A,N}$
- Abgegebene mechanische Leistung $P_{ab,N}$

Aufgabe 6: Halbleiter (25 Punkte)

TEIL1: Wechselstromverstärker

Die in Bild 6.1 dargestellte Verstärkerschaltung auf Basis eines NPN-Transistors soll untersucht werden.

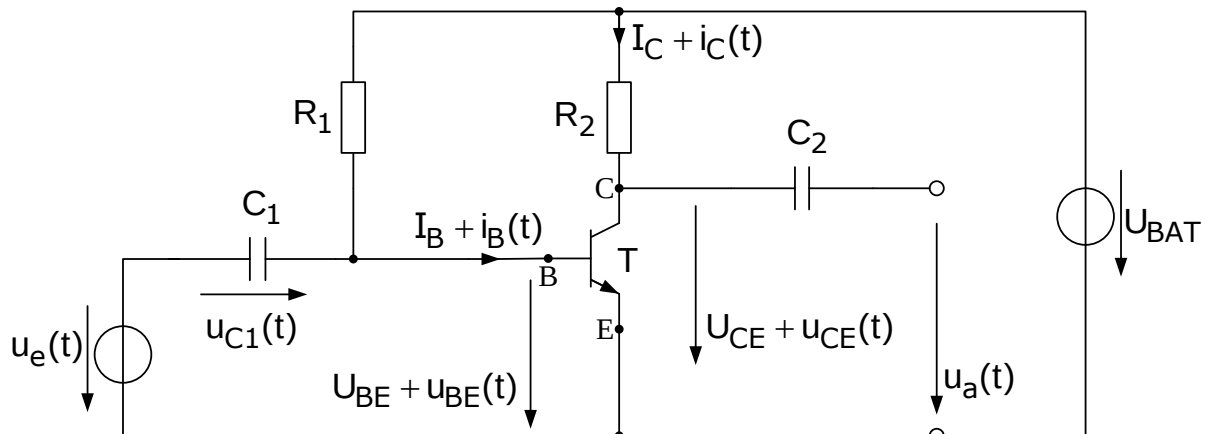


Bild 6.1: Verstärkerschaltung

Von der Schaltung ist folgendes bekannt:

Versorgungsspannung: $U_{\text{Bat}} = 30 \text{ V}$
Signalspannung: $u_{e1}(t) = 0,5 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 500 \text{ Hz} \cdot t)$
Widerstände: $R_1 = 57 \text{ k}\Omega$ sowie $R_2 = 300 \Omega$

Transistor T:

Basis-Emitter-Widerstand: $R_{\text{BE}} = 1600 \Omega$
Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{\text{CE}} \rightarrow \infty$
Basis-Emitter-Diffusionsspannung: $U_{\text{BE0}} = 0,7 \text{ V}$
Gleich- und Wechselstromverstärkung: $B = \beta = 100$
Kapazitive Effekte innerhalb des Transistors dürfen vernachlässigt werden.

Die Kapazität des Koppelkondensators C_2 darf als so groß angenommen werden, dass sein Wechselstromwiderstand vernachlässigbar klein ist.

Aufgabe 6.1: Gleichstromersatzschaltbild (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Gleichstromersatzschaltbild inklusive aller relevanten Ströme und Spannungen in das Lösungsblatt ein. Berücksichtigen Sie dabei sämtliche gegebenen Vereinfachungen.

Aufgabe 6.2: Arbeitspunkt (5 Punkte)

Im Folgenden soll der Arbeitspunkt bestimmt werden, welcher durch die Widerstände R_1 und R_2 eingestellt ist.

- Berechnen Sie den Basisstrom $I_{B,AP}$ im Arbeitspunkt.
- Berechnen Sie die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE,AP}$ im Arbeitspunkt.
- Ist der Arbeitspunkt sinnvoll gewählt? Begründen Sie Ihre Antwort!

Aufgabe 6.3: Wechselstromersatzschaltbild (3 Punkte)

- Zeichnen Sie das Wechselstromersatzschaltbild inklusive aller relevanten Ströme und Spannungen in das Lösungsblatt ein. Berücksichtigen Sie dabei sämtliche gegebenen Vereinfachungen.

Aufgabe 6.4: Koppelkondensator (4 Punkte)

Um die Wirkung des Koppelkondensators C_1 am Eingang der Schaltung vernachlässigen zu können, soll er so ausgelegt werden, dass der Spannungsabfall an ihm maximal 2% der Basis-Emitter-Spannung beträgt. Es soll also gelten: $\hat{u}_{C1} \leq 0,02 \cdot \hat{u}_{BE}$

- Berechnen Sie den minimal nötigen Blindwiderstand $X_{C1} = \frac{1}{\omega \cdot C_1}$ des Kondensators C_1 .

TEIL2: Operationsverstärkerschaltungen

Aufgabe 6.5: Analyse einer gegebenen OP-Schaltung (5 Punkte)

Gegeben ist die in Bild 6.2 dargestellte OP-Schaltung.

Von der Schaltung ist bekannt:

Signalspannung: $u_{e1}(t) = 2V \cdot \sin(2\pi \cdot 500\text{Hz} \cdot t)$

Signalspannung: $u_{e2}(t) = 4V$

Widerstände: $R_1 = R_2 = 10\text{ k}\Omega$ sowie $R_3 = 5\text{ k}\Omega$

Der Operationsverstärker darf als ideal angenommen werden.

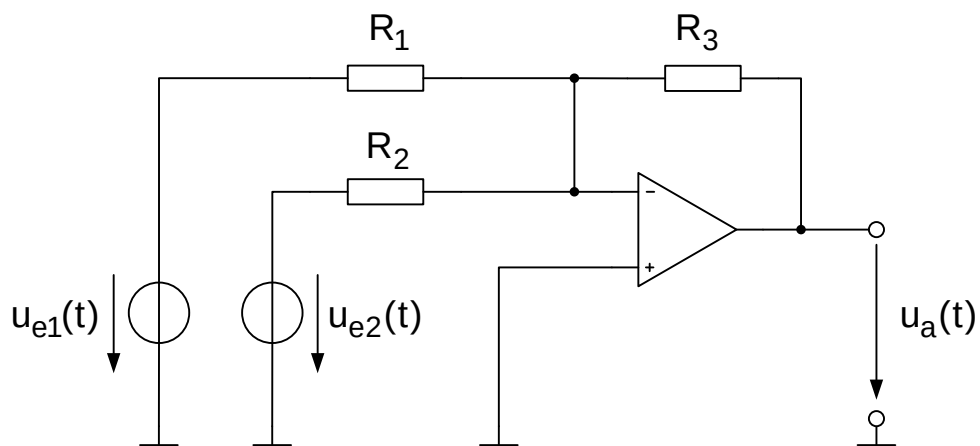


Bild 6.2: Ersatzschaltbild der OP-Schaltung

- Welche OP-Grundschialtung ist in Bild 6.2 dargestellt?
- Berechnen Sie $u_a(t)$ in Abhängigkeit der beiden Signalspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$.
- Zeichnen Sie die Verläufe der drei Spannungen $u_a(t)$, $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$ in das vorbereitete Diagramm auf dem Lösungsblatt ein und ergänzen Sie die Achsenbeschriftung.

Aufgabe 6.6: OP-Schaltung gesucht (5 Punkte)

Gesucht ist eine OP-Schaltung gemäß Bild 6.3. Die zeitlichen Verläufe der Eingangsspannung u_e und der Ausgangsspannung u_a der OP-Schaltung sind in Bild 6.4 dargestellt.

Für die Schaltung stehen zur Verfügung:

- genau 1 Operationsverstärker
- ein Widerstand R_x mit dem Wert $10\text{ k}\Omega$
- bis zu 3 weitere passive Bauteile (R, L oder C)

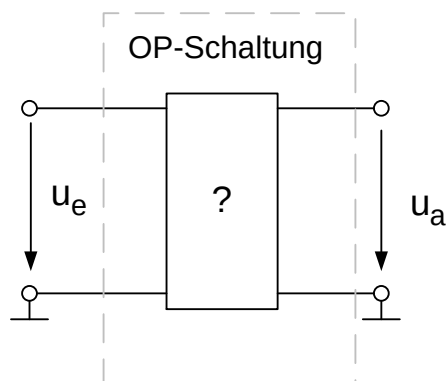


Bild 6.3: OP-Schaltung

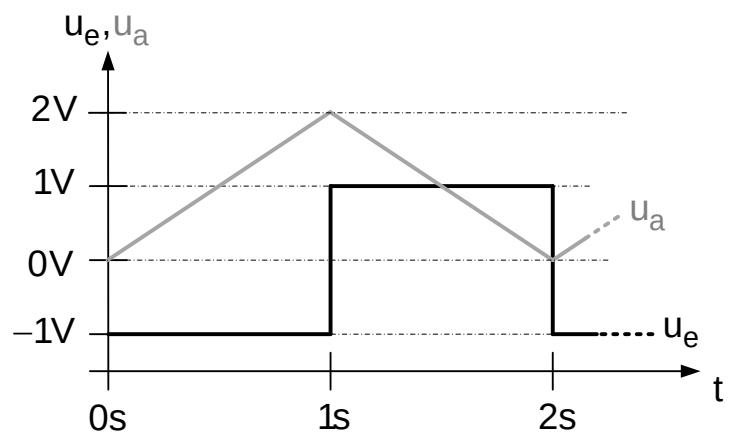


Bild 6.4: Zeitliche Verläufe der Ein- und Ausgangsspannung der gesuchten OP-Schaltung

- Welche OP-Grundschialtung ist gesucht?
- Zeichnen Sie eine mögliche Schaltung.
- Berechnen Sie den Wert bzw. die Werte der Bauteile, welche Sie für die Schaltung verwendet haben.