
Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

ee, fmt, mabau, mecha, medte, tema, tp, ...

08.09.2016

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 Ersatzwerten (sofern angegeben) 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: Gleichstromnetzwerk **(20 Punkte)**

In Abbildung 1-1 ist ein Gleichstromnetzwerk aus zwei parallel geschalteten realen Spannungsquellen (reale Spannungsquelle = ideale Spannungsquelle mit Serienwiderstand) und zwei dazu ebenfalls parallel geschalteten realen Stromquellen (reale Stromquelle = ideale Stromquelle mit Parallelwiderstand) dargestellt.

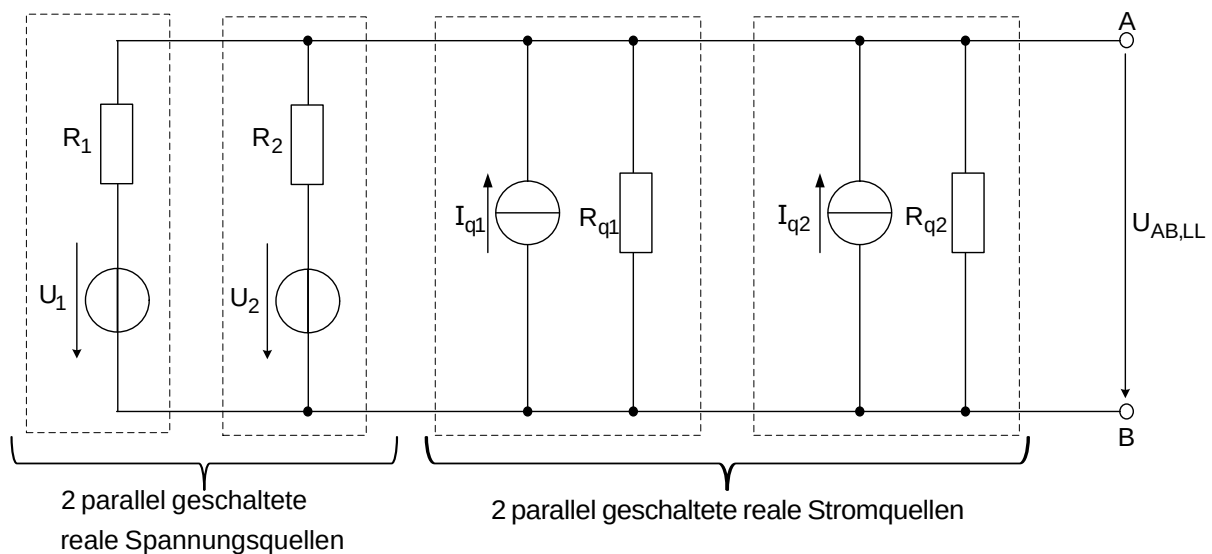


Abbildung 1-1: Gleichstromnetzwerk aus parallel geschalteten realen Spannungs- und Stromquellen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Quellenspannungen der Spannungsquellen: U_1, U_2

Ohm'sche Widerstände der Spannungsquellen: R_1, R_2

Quellenströme der Stromquellen: I_{q1}, I_{q2}

Ohm'sche Widerstände der Stromquellen: R_{q1}, R_{q2}

Rechnen Sie im Folgenden allgemein (d.h. ohne Zahlenwerte) mit den gegebenen Größen $U_1, U_2, R_1, R_2, I_{q1}, I_{q2}, R_{q1}$ und R_{q2} .

Aufgabe 1.1: Ersatzwiderstand (5 Punkte)

Zunächst soll der Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich des Klemmenpaares A-B bestimmt werden.

- a) Was müssen Sie zunächst mit den idealen Spannungsquellen U_1 und U_2 der realen Spannungsquellen und mit den idealen Stromquellen I_{q1} und I_{q2} der realen Stromquellen tun, damit Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} bestimmen können?
- b) Zeichnen Sie die Schaltung aus Abbildung 1-1 erneut auf, indem Sie die Erkenntnisse der Teilfrage a) einarbeiten.
- c) Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} .

Hinweis: Ihr Ergebnis darf Doppelbrüche enthalten.

Aufgabe 1.2: Kurzschlussstrom (7 Punkte)

Die Klemmen A-B werden nun kurzgeschlossen, d.h. mit einer Verbindung von $0\ \Omega$ versehen.

Im Folgenden soll der Kurzschlussstrom I_K im Kurzschlusszweig A-B mit Hilfe des Überlagerungssatzes bestimmt werden.

- a) Beschreiben Sie kurz die Aussage des Überlagerungssatzes und geben Sie an, unter welchen Voraussetzungen der Überlagerungssatz angewendet werden darf.
- b) Berechnen Sie die Teilkurzschlussströme I_{K1} und I_{K2} , die sich aus der jeweilig alleinigen Wirkung der Spannungsquellen U_1 und U_2 ergeben.
- c) Berechnen Sie die Teilkurzschlussströme I_{Kq1} und I_{Kq2} , die sich aus der jeweilig alleinigen Wirkung der Stromquellen I_{q1} und I_{q2} ergeben.
- d) Berechnen Sie den Kurzschlussstrom I_K .

Hinweis: Zu einem Kurzschluss parallel geschaltete Widerstände sind wirkungslos!

Aufgabe 1.3: Ersatzstromquellendarstellung (6 Punkte)

Die in Abbildung 1-1 gegebene Schaltung kann als Ersatzstromquelle (Ersatzstromquelle = reale Stromquelle) mit dem Quellenstrom I_q und dem Innenwiderstand R_i dargestellt werden.

- a) Zeichnen Sie für die in Abbildung 1-1 gegebene Schaltung das Ersatzschaltbild als Ersatzstromquelle, bestehend aus Quellenstrom I_q und Innenwiderstand R_i .

Tragen Sie die Klemmen A-B und die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ ein.

- b) Geben Sie unter Verwendung der Ergebnisse aus den Aufgaben 1.1 und 1.2 den Quellenstrom I_q und den Innenwiderstand R_i an.

- c) Berechnen Sie die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ zunächst in Abhängigkeit von I_q und R_i .

Geben Sie nun $U_{AB,LL}$ in Abhängigkeit von U_1 , U_2 , R_1 , R_2 , I_{q1} , I_{q2} , R_{q1} und R_{q2} an.

Hinweis: Ihr Ergebnis darf Doppelbrüche enthalten.

Aufgabe 1.4: Verallgemeinerung der Ergebnisse (2 Punkte)

Die Berechnung der Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ für die in Abbildung 1-1 gegebene Schaltung ergibt folgende Lösungsformel:

$$U_{AB,LL} = \frac{\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + I_{q1} + I_{q2}}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{q1}} + \frac{1}{R_{q2}}} = \frac{\sum_{n=1}^2 \frac{U_n}{R_n} + \sum_{n=1}^2 I_{qn}}{\sum_{n=1}^2 \frac{1}{R_n} + \sum_{n=1}^2 \frac{1}{R_{qn}}} \quad (1)$$

Verallgemeinern Sie die obige Gleichung (1) für den Fall einer Schaltung gemäß Abbildung 1-1 in der k reale Spannungsquellen ($U_1, \dots, U_k$ mit $R_1, \dots, R_k$) und ℓ reale Stromquellen ($I_{q1}, \dots, I_{q\ell}$ mit $R_{q1}, \dots, R_{q\ell}$) parallelgeschaltet sind.

Aufgabe 2: Wechselstromrechnung **(20 Punkte)**

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und einem ohmschen Widerstand gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

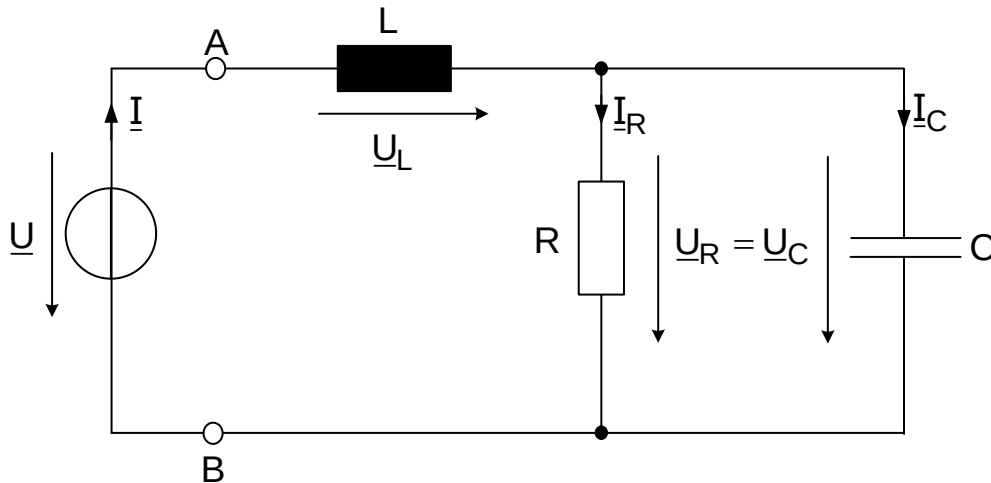


Abbildung 2-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert:	U
Kreisfrequenz der sinusförmigen Spannung:	ω
Ohm'scher Widerstand:	R
Kapazität des Kondensators:	C
Induktivität der Spule:	L

Rechnen Sie im Folgenden zunächst allgemein (d.h. ohne Zahlenwerte) mit den gegebenen Größen U , ω , R , L und C .

Aufgabe 2.1: Zeigerdiagramm (6 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches alle die in Abbildung 2-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält.
- b) Zeichnen Sie in das Zeigerdiagramm den Phasenverschiebungswinkel φ zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$ ein und geben Sie an, ob die Schaltung gemäß dem von Ihnen gezeichneten Zeigerdiagramm ohmsch, ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv, induktiv oder kapazitiv wirkt (kurze Begründung).

Aufgabe 2.2: Komplexe Widerstände - Impedanzen (14 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{RC}$ der Parallelschaltung von R und C und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- b) Berechnen Sie die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ der Schaltung (Ersatzimpedanz bezüglich der Klemmen A-B) und geben Sie das Ergebnis in kartesischer Form an.
- c) Wie groß muss L in Abhängigkeit von ω , R und C gewählt werden, damit die Impedanz $\underline{Z}$ rein reell wird (d.h. $\underline{Z} = Z$)? Geben Sie $\underline{Z} = Z$ in Abhängigkeit von ω , R und C an.

Verwenden Sie im Folgenden diese Werte:

$U = 10 \text{ V}$, $R = 10 \text{ } \Omega$, $\omega = 314 \text{ s}^{-1}$ und $C = 318 \text{ } \mu\text{F}$

und berechnen Sie (unter obiger Voraussetzung $\underline{Z} = Z$):

- L in mH (Millihenry)
- Z in Ω (Ohm)
- Den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$ in A (Ampere)
- Den Betrag S der Scheinleistung $\underline{S}$ in VA (Volt-Ampere)
- Die Wirkleistung P in W (Watt)
- Den Effektivwert I_R des Stromes $\underline{I}_R$ in A (Ampere)
- Den Effektivwert U_C der Spannung $\underline{U}_C$ in V (Volt)

Aufgabe 3: Einschwingvorgang **(20 Punkte)**

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Kondensator und drei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer Gleichspannungsquelle U betrieben. Infolge eines Schaltvorganges mittels des Schalters S kommt es zu einem Einschwingvorgang.

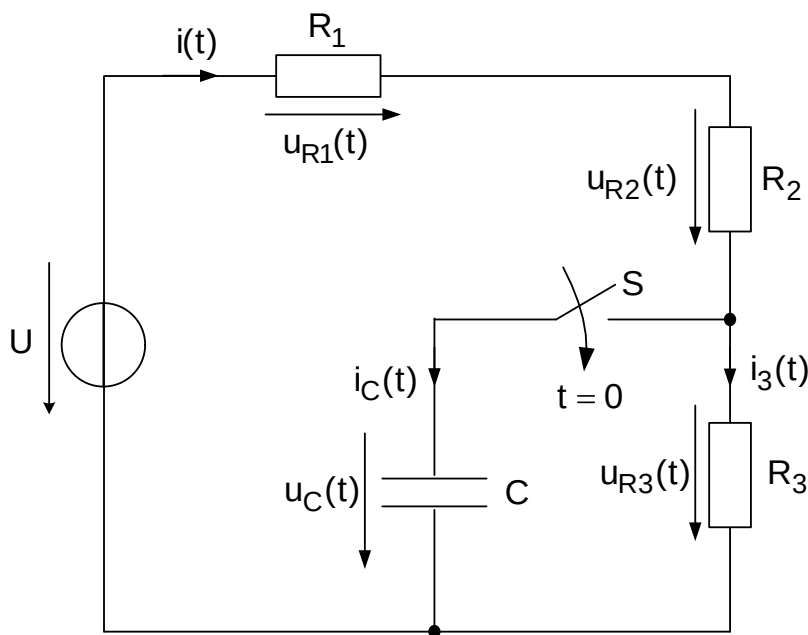


Abbildung 3-1: Einschwingvorgang am Kondensator

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung: $U = 18 \text{ V}$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 100 \, \Omega$

$R_2 = 200 \, \Omega$

$R_3 = 150 \, \Omega$

Kapazität des Kondensators: $C = 150 \, \mu\text{F}$

Der Kondensator ist zunächst ungeladen, d.h. es gilt: $u_C(t \leq 0) = 0 \text{ V}$

Aufgabe 3.1: Stationäre Ströme und Spannungen (7 Punkte)

Zunächst sollen die stationären Ströme und Spannungen bei offenem Schalter S berechnet werden, d.h. für $t \leq 0$.

- a) Wie groß sind die Ströme $i_C(t)$, $i(t)$ und $i_3(t)$ für $t \leq 0$?
- b) Wie groß sind die Spannungen $u_{R1}(t)$, $u_{R2}(t)$, $u_{R3}(t)$ und $u_C(t)$ für $t \leq 0$?

Nun sollen die stationären Ströme und Spannungen bestimmt werden, die sich einstellen, wenn der Schalter S bereits unendlich lange Zeit geschlossen ist, d.h. für $t \rightarrow \infty$.

- c) Was ändert sich im Vergleich zu den Ergebnissen aus den Frageteilen a) und b) und was bleibt gleich?

Aufgabe 3.2: DGL für den Einschwingvorgang (8 Punkte)

Nun soll der Einschwingvorgang betrachtet werden, der nach dem Schließen des bis dahin unendlich lange geöffneten Schalters S abläuft, d.h. für $0 < t \leq \infty$.

- a) Begründen Sie kurz, weshalb es nach dem Schließen des Schalters S zu einem Einschwingvorgang kommt.
- b) Geben Sie den Zusammenhang zwischen $i_C(t)$ und $u_C(t)$ an (Grundgesetz für den Kondensator).
- c) Stellen Sie die Knotengleichung und die Maschengleichung auf und bestimmen Sie zusammen mit dem Grundgesetz für C die für den ablaufenden Einschwingvorgang gültige Differentialgleichung (DGL) in $u_C(t)$.

Bringen Sie die DGL auf folgende Form:

$$u_{C,\text{stat}} = \tau \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + 1 \cdot u_C(t), \text{ d.h. der „Vorfaktor“ bei } u_C(t) \text{ ist „1“}$$

- d) Berechnen Sie die Zeitkonstante τ in ms (Millisekunden) und $u_{C,\text{stat}}$ in V (Volt).

Aufgabe 3.3: Lösung für die Kondensatorspannung (5 Punkte)

Aus obiger DGL ergibt sich für die Kondensatorspannung im Zeitintervall $0 < t \leq \infty$ folgende allgemeine Lösung:

$$u_C(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{C,stat}$$

- a) Bestimmen Sie mit Hilfe der Anfangsbedingung $u_C(t=0) = 0 \text{ V}$ die noch unbekannte Konstante k und geben Sie den Wert von k in Volt an.
- b) Geben Sie die Zeitfunktion für $u_C(t)$ mit Zahlenwerten und Einheiten an.
- c) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_{R3}(t)$ (das ist kein Druckfehler – es wird $u_{R3}(t)$ verlangt!) in das vorbereitete Diagramm auf dem Lösungsblatt ein.

Aufgabe 4: Kleinsignalverstärker mit Bipolartransistor **(20 Punkte)**

In Abbildung 4-1 ist die Schaltung eines Kleinsignalverstärkers gegeben. Die Schaltung soll im Folgenden analysiert und dimensioniert werden. Es wird die Abkürzung AP für Arbeitspunkt verwendet.

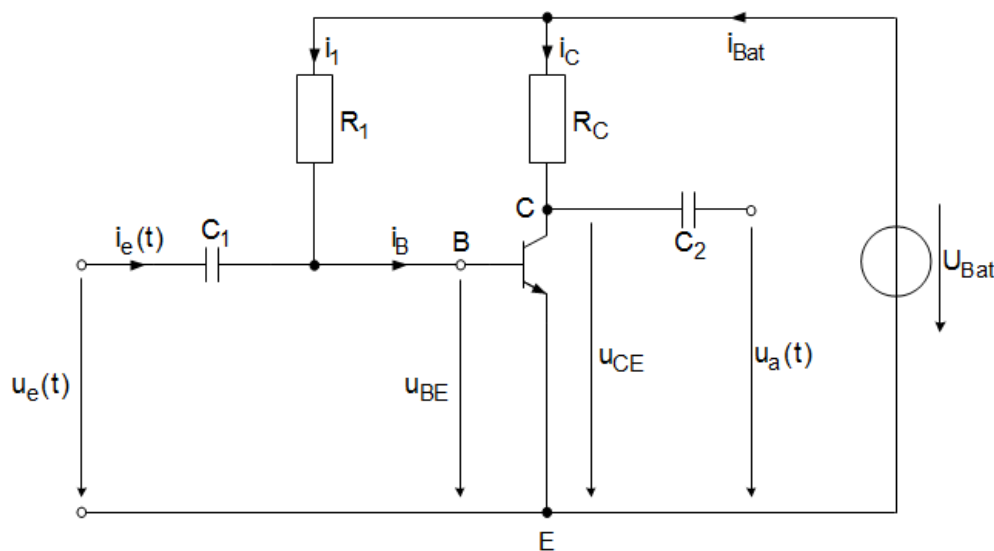


Abbildung 4-1: Kleinsignalverstärker mit einem npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Gleichstromverstärkung:	$B = 200$
Kollektorstrom im AP:	$I_{\text{C,AP}} = 20 \text{ mA}$
Kollektor-Emitter-Spannung im AP:	$U_{\text{CE,AP}} = 0,5 \cdot U_{\text{Bat}}$
Gleichanteil der Basis-Emitter-Spannung im AP:	$U_{\text{BE,AP}} = 0,62 \text{ V}$
Diffusionsspannung der Basis-Emitter-Diode:	$U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$
Kollektor-Emitter-Widerstand vernachlässigbar, d.h.:	$R_{\text{CE}} \rightarrow \infty \Omega$

Bezeichnungen in Abbildung 4-1:

Gleichgrößen werden durch Großbuchstaben gekennzeichnet.

Die sinusförmigen Wechselgrößen werden bezeichnet durch (t) , also z.B. $u_e(t)$ oder $u_a(t)$.

Mischgrößen werden nur durch Kleinbuchstaben (ohne (t)) bezeichnet, z.B. u_{CE} , i_1 , i_2 , i_B ...

Aufgabe 4.1: Allgemeinverständnis - (10 Punkte)

Ein Student ist mit der Funktion des Verstärkers unzufrieden. Daraufhin legt er eine sinusförmige Eingangsspannung $u_e(t)$ an und misst die Spannung u_{CE} mit folgendem Signalverlauf:

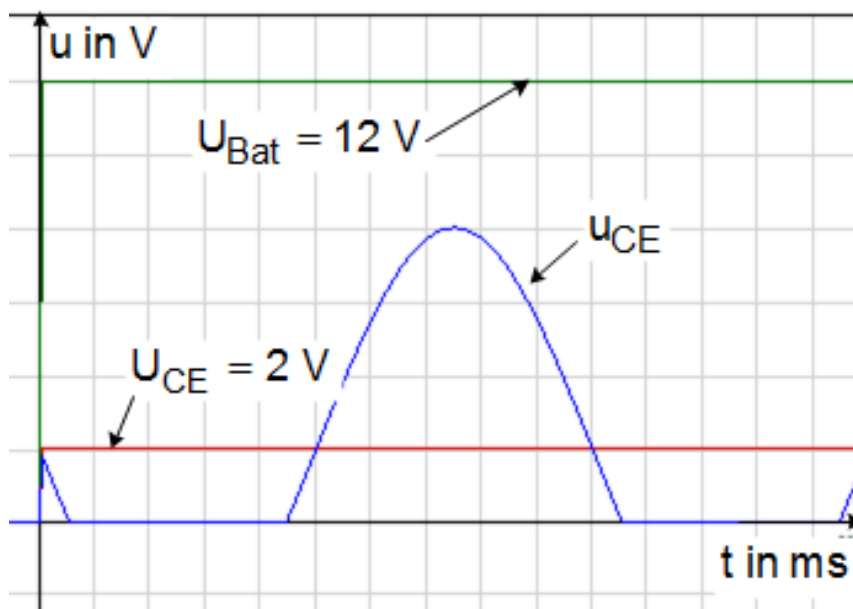


Abbildung 4-2: Spannungsverläufe u_{CE} , U_{CE} und U_{Bat}

- Weshalb ist der Verstärker für die Verstärkung der sinusförmigen Eingangsspannung $u_e(t)$ unbrauchbar?
- Wie müsste ein korrektes, d.h. wünschenswertes Spannungssignal u_{CE} aussehen?
- Durch welche Maßnahme kann die Funktion des Verstärkers verbessert, d.h. korrigiert werden?

Nachdem der Student das Problem angeblich behoben hat, misst er noch einmal bei einem sinusförmigen Eingangssignal $u_e(t)$ die Spannung u_{CE} :

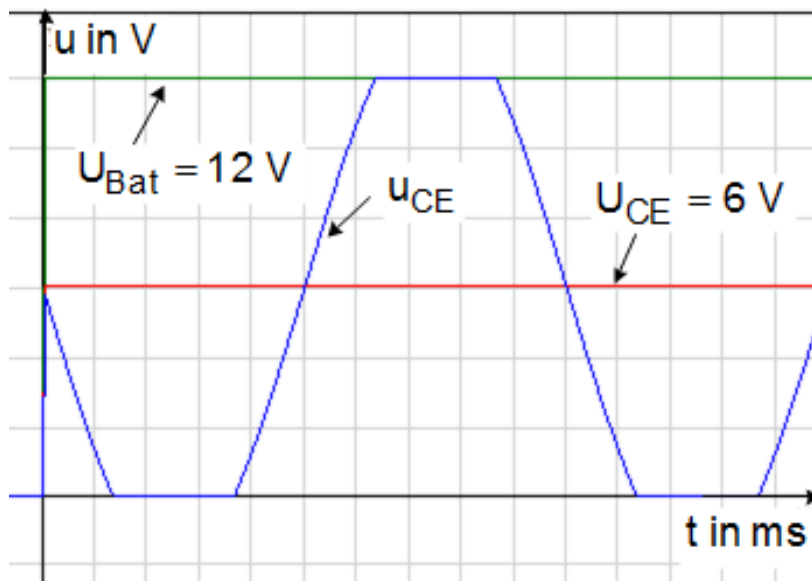


Abbildung 4-3: Spannungsverläufe u_{CE} , U_{CE} und U_{Bat}

- d) Weshalb kann der Student mit diesem Ergebnis wieder nicht zufrieden sein?
- e) Wie kann das Problem behoben werden?

Aufgabe 4.2: Arbeitspunkteinstellung - (10 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Widerstand R_C und den Gleichanteil $I_{B,AP}$ des Basisstromes i_B , sodass sich der geforderte AP einstellt.
- b) Berechnen Sie den Basis-Vorwiderstand R_1 , sodass sich der geforderte AP einstellt.
- c) Wie groß ist der ohmsche Widerstand R_{BE} der Basis-Emitter-Strecke des Transistors?
- d) Welche Verlustleistung $P_{VT,AP}$ entsteht in diesem AP im Transistor?

Hinweis: Bei der Berechnung der Transistorverluste dürfen Sie die Verluste im Basis-Emitter-Kreis vernachlässigen.

Aufgabe 5: Schaltung mit Operationsverstärker **(20 Punkte)**

In Abbildung 5-1 ist eine Schaltung mit einem Operationsverstärker (OP) dargestellt.

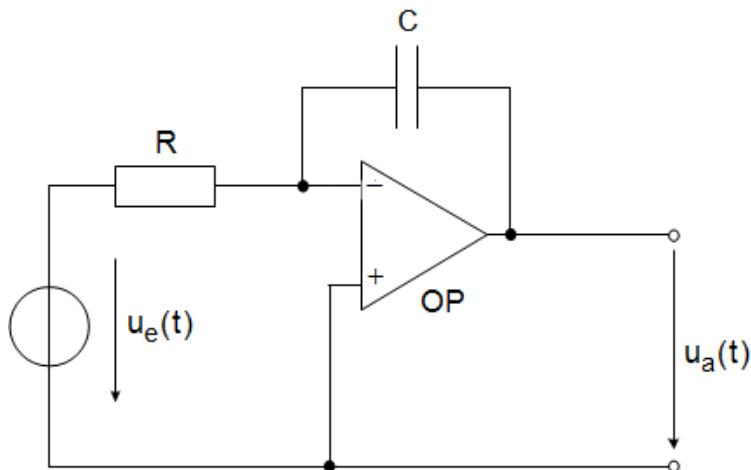


Abbildung 5-1: Schaltung mit idealem OP

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Ohm'scher Widerstand:	$R = 10 \text{ k}\Omega$
Kondensator:	$C = 100 \text{ }\mu\text{F}$

Annahmen:

- Der Operationsverstärker darf als ideal betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung des Operationsverstärkers von $\pm 15 \text{ V}$ ist in Abbildung 5-1 nicht eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundsaltung dürfen ohne erneute Herleitung verwendet werden.
- Der Kondensator sei zu Beginn der Betrachtung ungeladen, d.h. $u_C(t = 0) = 0 \text{ V}$!

Aufgabe 5.1: Grundsaltung (7 Punkte)

- Um welche OP-Grundsaltung handelt es sich?
- Geben Sie $u_a(t)$ als Funktion von $u_e(t)$, R und C an und bestimmen Sie den Wert (mit Einheit) der Konstanten $-1/(R \cdot C)$.
- Berechnen Sie die Ausgangsspannung $u_a(t)$ für den Fall, dass $u_e(t) = -2 \text{ V}$ (zeitlich konstante Eingangsspannung) ist und zeichnen Sie den Verlauf von $u_a(t)$ in das vorbereitete Diagramm ein.

Aufgabe 5.2: Rechteckförmige Eingangsspannung (13 Punkte)

Nun werde eine rechteckförmige Eingangsspannung $u_e(t)$ (siehe Abbildung 5-2) mit der Periodendauer $T = 4 \text{ s}$ angelegt.

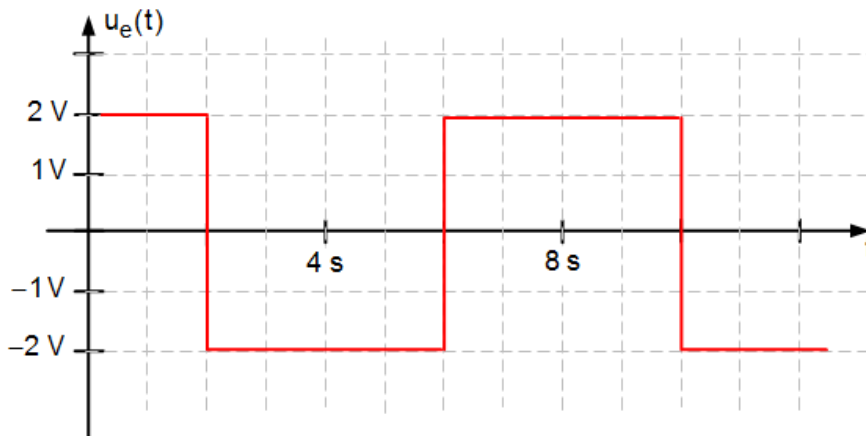


Abbildung 5-2: Rechteckförmige Eingangsspannung

- Geben Sie $u_a(t)$ für das Zeitintervall $0 \leq t \leq 2 \text{ s}$ an und berechnen Sie $u_a(t = 2 \text{ s})$. Hinweis: $u_c(t = 0) = 0 \text{ V}$.
- Geben Sie $u_a(t)$ für das Zeitintervall $2 \text{ s} < t \leq 6 \text{ s}$ an und berechnen Sie $u_a(t = 6 \text{ s})$. Beachten Sie, dass $u_a(t)$ stetig verlaufen muss (d.h. bei $t = 2 \text{ s}$ darf kein Sprung auftreten).
- Zeichnen Sie den Verlauf von $u_a(t)$ in das vorbereitete Lösungsdiagramm für $0 \leq t \leq 10 \text{ s}$ ein.
- Auf welchen Wert muss R eingestellt werden, wenn die Amplitude der dreieckförmigen Ausgangsspannung 10 V betragen soll?
- Welchen Wert darf R nicht unterschreiten, wenn die Ausgangsspannungsform stets dreieckförmig bleiben soll?

Aufgabe 6: Laborstromversorgung mit ASM und GSM **(20 Punkte)**

In Abbildung 6-1 ist das Übersichtsschaltbild für eine Laborstromversorgung mittels eines rotierenden Spannungsumformers gegeben. Die Asynchronmaschine (ASM) ist an ein starres Drehstromnetz angeschlossen und mechanisch starr mit einer fremderregten Gleichstrommaschine (GSM) gekuppelt. Die GSM wird als Generator betrieben und versorgt ein Labor (im Ersatzschaltbild als R_L dargestellt) mit einer einstellbaren, d.h. variablen Gleichspannung U_A .

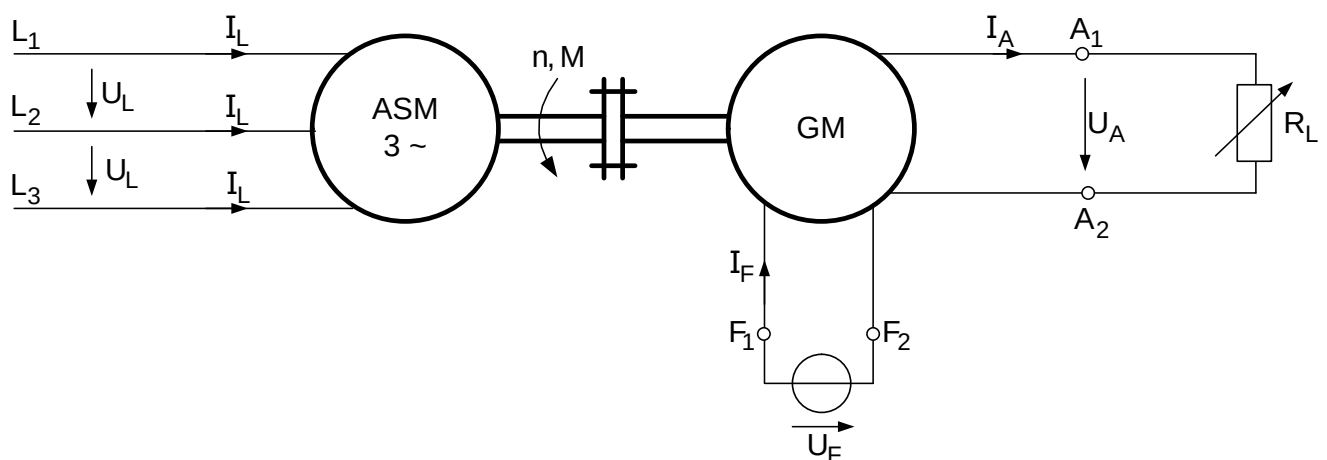


Abbildung 6-1: Spannungsumformer für eine Laborstromversorgung

Von der Anlage sind folgende Daten bekannt:

Leiterspannung des Drehstromsystems:	$U_L = 400 \text{ V}$
Frequenz des Drehstromsystems:	$f = 50 \text{ Hz}$
Polpaarzahl der ASM:	$p = 1$
Nennschlupf der ASM:	$s_N = 2 \%$
Nennwirkungsgrad der ASM:	$\eta_N = 80 \%$
Nennleistung der ASM (mechanische Leistung)	$P_N = 40 \text{ kW}$
Ankernennspannung der GSM:	$U_{AN} = 460 \text{ V}$
Ankernennstrom der GSM:	$I_{AN} = 80 \text{ A}$
Erregernennspannung der GSM:	$U_{FN} = 200 \text{ V}$

Erregernennstrom der GSM:

$$I_{FN} = 1,5 \text{ A}$$

Ankerwiderstand der GSM:

$$R_A = 0,5 \Omega$$

Annahmen:

- Es werden stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt.
- Bis auf die ohmschen Verluste im Ankerkreis der Gleichstrommaschine und die Verluste der ASM (siehe Wirkungsgrad der ASM) dürfen alle weiteren Verluste vernachlässigt werden.
- Im Erregerkreis der GSM werden stets lineare Verhältnisse vorausgesetzt.

Aufgabe 6.1: Betrachtung der ASM im Nennbetrieb (8 Punkte)

a) Berechnen Sie für die ASM folgende Größen:

- Synchrondrehzahl n_s
- Nenndrehzahl n_N
- Elektrisch aufgenommene Wirkleistung $P_{el,N}$

b) Wie groß ist der Effektivwert des Leiterstromes I_{LN} , wenn der Leistungsfaktor der ASM im Nennbetrieb zu $\cos(\varphi_N) = 0,80$ angenommen wird?

Im Folgenden wird angenommen, dass die GSM von der ASM mit der konstanten Drehzahl $n = 2.940 \text{ min}^{-1}$ angetrieben wird.

Aufgabe 6.2: Betrachtung der GSM im Nennbetrieb (5 Punkte)

Berechnen Sie für die GSM (Generator) folgende Größen im Nennbetrieb:

- Die abgegebene elektrische Leistung $P_{el,ab,N}$
- Die im Ankerwiderstand auftretenden Verluste $P_{VA,N}$
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$
- Den Wirkungsgrad $\eta_{GSM,N}$

Aufgabe 6.3: Arbeitspunkt ungleich Nennbetrieb (7 Punkte)

a) Berechnen Sie für die GSM (Generator) folgende Größen, wenn der Generator bei einer Spannung $U_A = 240 \text{ V}$ eine elektrische Leistung von 18 kW liefern muss

- Den Ankerstrom I_A
- Die Verluste P_{VA} im Ankerwiderstand R_A
- Die induzierte Spannung U_i
- Den einzustellenden Erregerstrom I_F und die zugehörige Erregerspannung U_F
- Den Wirkungsgrad η_{GSM} in diesem Arbeitspunkt

Hinweis: *Es wird nach wie vor angenommen, dass die GSM von der ASM mit der konstanten Drehzahl $n = 2.940 \text{ min}^{-1}$ angetrieben wird. Außerdem werden im Erregerkreis der GSM lineare Verhältnisse vorausgesetzt.*

Die getroffene Annahme, dass die Drehzahl n bei Abweichung vom Nennbetriebspunkt konstant bleibt, gilt lediglich näherungsweise. In Wirklichkeit ändert sich die von der ASM vorgegebene Drehzahl mit der Belastung des Generators.

b) Beschreiben und begründen Sie kurz in Worten, wie sich die Drehzahl bei Veränderung der Belastung des Generators tatsächlich verändern würde.