

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge
fmt, mabau, mecha, medte, tema, tp, ...

09.03.2023

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.
- 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 Name und Matrikelnummer!) oder verwenden Sie die leere Rückseite des vorigen Lösungsblattes (von uns bevorzugt!).
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht oder in die verlangte Form gebracht werden.
- Geben Sie Ihre Ergebnisse (soweit nicht anders verlangt) als **Dezimalzahlen** an (z. B. 95,26) und **nicht** als Brüche (z. B. 4.763/50).
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und darin die Lösungsblätter und ggf. noch zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter brauchen **nicht** abgegeben werden.

Zugelassene Hilfsmittel:

- 6 Seiten Formelsammlung.
- Taschenrechner (auch programmierbar).

Hinweise:

- Die Hinzunahme fremder Hilfe bei Prüfungen ist ein Täuschungsversuch, der eine 5,0 als Prüfungsergebnis nach sich zieht.
- Die Benutzung kommunikationsfähiger Geräte während der Prüfung wird als Täuschungsversuch gewertet.

Aufgabe 1: Gleichstrom (20 Punkte)

Im Bild 1.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Gleichstrom-Netzwerkes, bestehend aus den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 und einem an die Klemmen A-B angeschlossenen veränderbaren (variabel einstellbaren) und über den Schalter S zuschaltbaren Lastwiderstand R_L abgebildet. Das Netzwerk beinhaltet eine Gleichstromquelle mit dem Quellstrom I_0 und eine Gleichspannungsquelle mit der Quellspannung U .

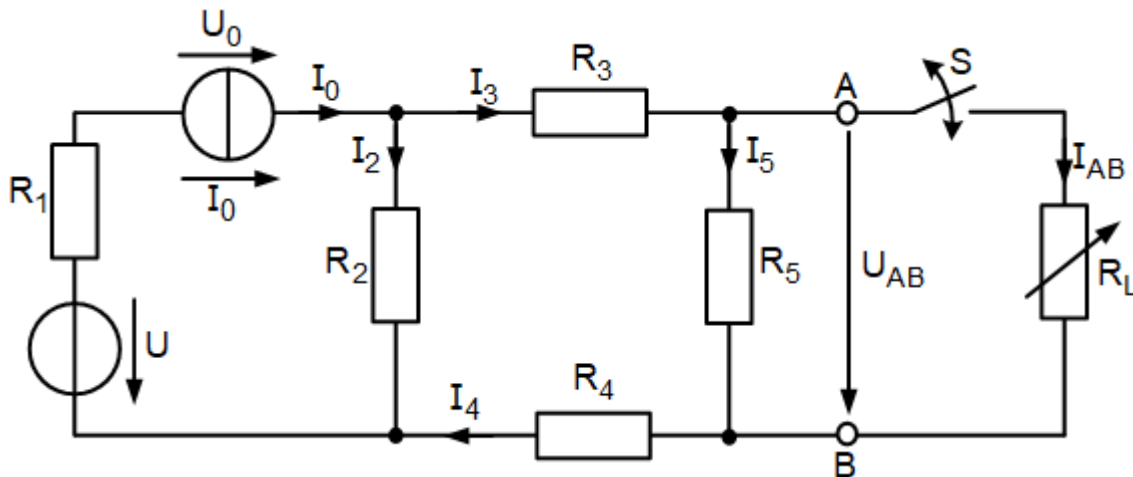


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnen und Zählpfeilen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Ohmsche Widerstände:	$R_L = 0 \, \Omega \dots \infty \, \Omega$
	$R_1 = 10 \, \Omega$
	$R_2 = 12 \, \Omega$
	$R_3 = 4 \, \Omega$
	$R_4 = 6 \, \Omega$
	$R_5 = 22 \, \Omega$
Quellstrom der Stromquelle:	$I_0 = 2,2 \, \text{A}$
Quellspannung der Spannungsquelle:	$U = 20 \, \text{V}$

Der Schalter S sei zunächst offen (Leerlauf).

Aufgabe 1.1 Ströme und Spannungen bei offenem Schalter (8 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Ströme I_2 , I_3 , I_4 und I_5 .
- b) Berechnen Sie die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$.
- c) Berechnen Sie die Spannung U_0 an der Stromquelle.

Aufgabe 1.2 Leistungen (5 Punkte)

- a) Berechnen Sie die von beiden Quellen abgegebene elektrische Leistung P_{el} (gesamte abgegebene elektrische Leistung).
- b) Berechnen Sie die in den Widerständen R_1 bis R_5 in Wärme umgewandelte Leistung P_R und vergleichen Sie P_R mit P_{el} .

Der Schalter S wird nun geschlossen.

Aufgabe 1.3 Kurzschlussstrom und Ersatzwiderstand (7 Punkte)

- a) Auf welchen Wert muss man R_L einstellen, damit im Zweig A-B der Kurzschlussstrom $I_{AB,KS}$ fließt und wie groß ist der Kurzschlussstrom $I_{AB,KS}$?
- b) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand R_{ers} des Schaltungsteils links der Klemmen AB unter Verwendung des Kurzschlussstromes $I_{AB,KS}$ und der Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$.
- c) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand R_{ers} des Schaltungsteils links der Klemmen A-B durch Zusammenfassen der Widerstände und vergleichen Sie dieses Ergebnis mit dem aus Teilaufgabe b).
- d) Auf welchen Wert muss man R_L einstellen (ohne Herleitung!), damit in R_L die maximal mögliche Leistung $P_{L,max}$ entsteht und wie groß ist $P_{L,max}$?

Hinweis: Stichwort „Leistungsanpassung“!

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Kondensator (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist ein elektrisches Netzwerk mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 und einem Kondensator mit der Kapazität C abgebildet. Über den Schalter S kann ein Teil des Netzwerkes zu- bzw. abgeschaltet werden.

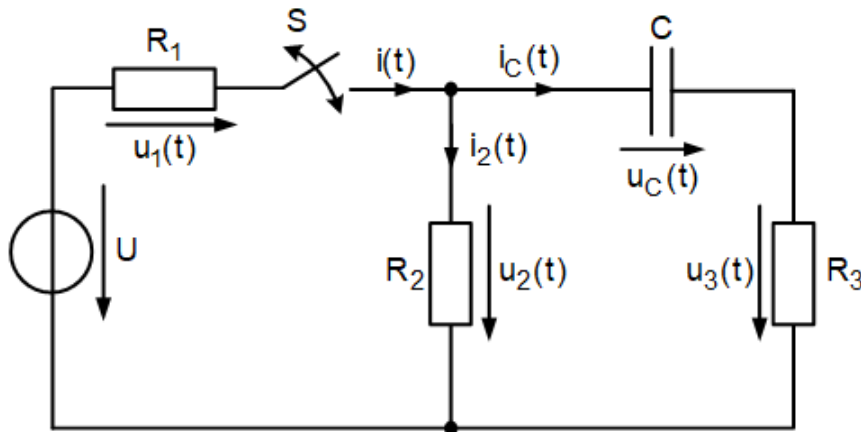


Bild 2.1: Elektrisches Netzwerk aus Widerständen und Kondensator.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung $U = 20 \text{ V}$

Ohmsche Widerstände $R_1 = 10 \text{ } \Omega$

$R_2 = 15 \text{ } \Omega$

$R_3 = 30 \text{ } \Omega$

Kapazität des Kondensators $C = 200 \text{ } \mu\text{F}$

Der Kondensator ist anfangs ungeladen.

Der Schalter S war zunächst unendlich lange geöffnet.

Zum Zeitpunkt $t = 0 \text{ s}$ wird S geschlossen und zum Zeitpunkt t_1 wird S wieder geöffnet.

Die Zeitfunktion für die Spannung $u_C(t)$ lautet für $0 \text{ s} \leq t \leq t_1$ (nach dem Schließen von S bis zum wieder Öffnen von S):

$$u_C(t) = \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau_1}} \right) \quad (1)$$

Für die Zeitkonstante τ_1 gilt:

$$\tau_1 = \left(R_3 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \right) \cdot C \quad (2)$$

Aufgabe 2.1 Kondensator (4 Punkte)

- a) Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Spannung $u_C(t)$ und dem Strom $i_C(t)$?
- b) Welche Größe – $i_C(t)$ oder $u_C(t)$ – ist beim Kondensator Energie kennzeichnend und was muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?
- c) Wie verhält sich der Kondensator im Bild 2.1 für $t = 0$ s (Zeitpunkt zu dem S gerade geschlossen ist) und für $t \rightarrow \infty$ s, d. h. nachdem der Schalter S theoretisch unendlich lange Zeit geschlossen ist

Hinweis: Leerlauf oder Kurzschluss?

Aufgabe 2.2 Der Schalter S wird bei $t = 0$ s geschlossen (10 Punkte)

Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird der Schalter S geschlossen.

- a) Zeigen Sie anhand von Gleichung (1), dass der Kondensator vor dem Schließen von S ungeladen war, d. h. $u_C(t < 0 \text{ s}) = 0 \text{ V}$.
- b) Berechnen Sie die Zeitkonstante τ_1 in ms und die Spannung $u_{C,\text{stat}}$, auf die der Kondensator für $t \rightarrow \infty$ s aufgeladen würde.
- c) Berechnen Sie den Kondensatorstrom $i_C(t = 0 \text{ s})$ im Einschaltzeitpunkt.
- d) Berechnen Sie die Kondensatorspannung $u_C(t_1)$ und den Kondensatorstrom $i_C(t_1)$ zum Zeitpunkt $t_1 = 1,8 \cdot \tau_1$.

Aufgabe 2.3 S wird bei $t_1 = 1,8 \cdot \tau_1$ wieder geöffnet (6 Punkte)

Für den nun ablaufenden Ausgleichsvorgang gilt für die Kondensatorspannung:

$$u_C(t) = k \cdot e^{-\frac{(t-t_1)}{\tau_2}} \quad \text{für } t \geq t_1 \quad (3)$$

Für die Zeitkonstante τ_2 gilt: $\tau_2 = (R_2 + R_3) \cdot C \quad (4)$

- a) Bestimmen Sie die Konstante k , sodass für die Kondensatorspannung zum Zeitpunkt $t = t_1$ die Stetigkeitsbedingung erfüllt ist.
- b) Welchen Wert nimmt die Kondensatorspannung für $t \rightarrow \infty$ s an?
- c) Wie groß ist der Strom $i_C(t = t_1)$, d. h. kurz nach dem Öffnen von S?
- d) Nach welcher Zeit $t = t_2$ erreicht die Kondensatorspannung den Wert $u_C(t_2) = 2 \text{ V}$?

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist das elektrische Ersatzschaltbild einer R-L-C-Schaltung, die an einer sinusförmigen Spannungsquelle betrieben wird, dargestellt.

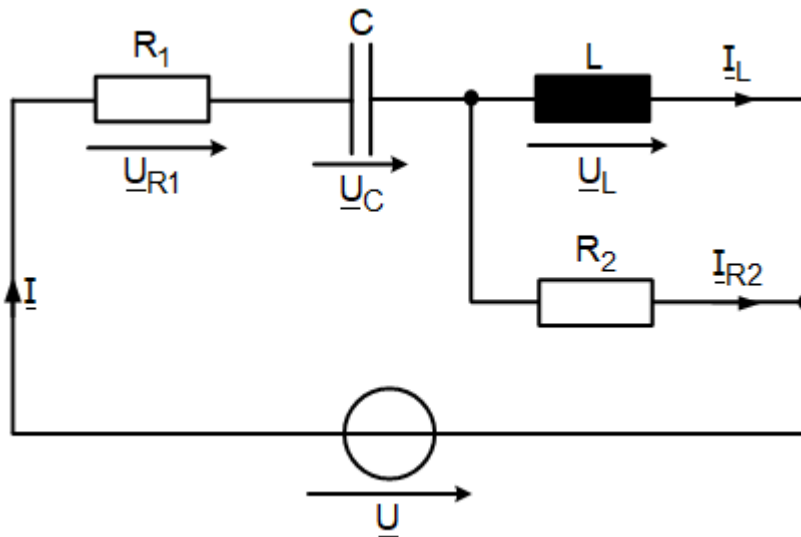


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$

$$U = 100 \text{ V}$$

Frequenz der sinusförmigen Spannung

$$f = 50 \text{ Hz}$$

Ohmsche Widerstände

$$R_1 = 6 \text{ } \Omega$$

$$R_2 = 120 \text{ } \Omega$$

Blindwiderstand der Spule

$$X_L = 36 \text{ } \Omega$$

Blindwiderstand des Kondensators

$$X_C = 60 \text{ } \Omega$$

Aufgabe 3.1 L und C (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Induktivität L der Spule in mH und die Kapazität C des Kondensators in μF .
- b) Wodurch unterscheiden sich Spule und Kondensator bei Anregung mit sinusförmigem Wechselstrom bzw. sinusförmiger Wechselspannung?

Aufgabe 3.2 Impedanzen, Ströme und Spannungen (10 Punkte)

- a) Berechnen Sie:
- Die Impedanz $\underline{Z}_{RC}$ der Reihenschaltung aus R_1 und C .
 - Die Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Parallelschaltung aus R_2 und L .
 - Die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$.
 - Den Strom $\underline{I}$ und dessen Effektivwert I .
 - Die Spannung $\underline{U}_L$ und die Ströme $\underline{I}_L$ und $\underline{I}_{R2}$
- Hinweis:** Ohne Unterstrich = Effektivwerte!
- b) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und geben Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q an. Handelt es sich um induktive oder um kapazitive Blindleistung (Begründung!)?
- c) Bestimmen Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q aus Teilleistungen.

Aufgabe 3.3 $\underline{U}_L$ und $\underline{U}$ sollen 90° phasenverschoben sein (6 Punkte)

Ein Student hat berechnet, dass für den Fall $X_C = X_{C1} = X_L \cdot \frac{R_1 + R_2}{R_2}$ die Spannung $\underline{U}_L$ gegenüber der Spannung $\underline{U}$ um 90° in der Phase verschoben ist.

- a) Berechnen Sie X_{C1} in Ohm.
- b) Berechnen Sie unter der Bedingung $X_C = X_{C1}$:
- Die Gesamtimpedanz $\underline{Z}$ (R_1 , R_2 und X_L bleiben, wie oben gegeben, unverändert!).
 - Den Strom $\underline{I}$.
 - Die Spannung $\underline{U}_L$.
 - Den Winkel (Argument) der Spannung $\underline{U}_L$ und geben Sie an, ob $\underline{U}_L$ der Spannung $\underline{U}$ um 90° vor oder nach eilt (kurze Begründung).

Aufgabe 4: Kleinsignalverstärker (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist das elektrische Ersatzschaltbild eines Kleinsignalverstärkers dargestellt. An die Klemmen A1-A2 ist ein Lautsprecher mit dem ohmschen Widerstand R_L angeschlossen.

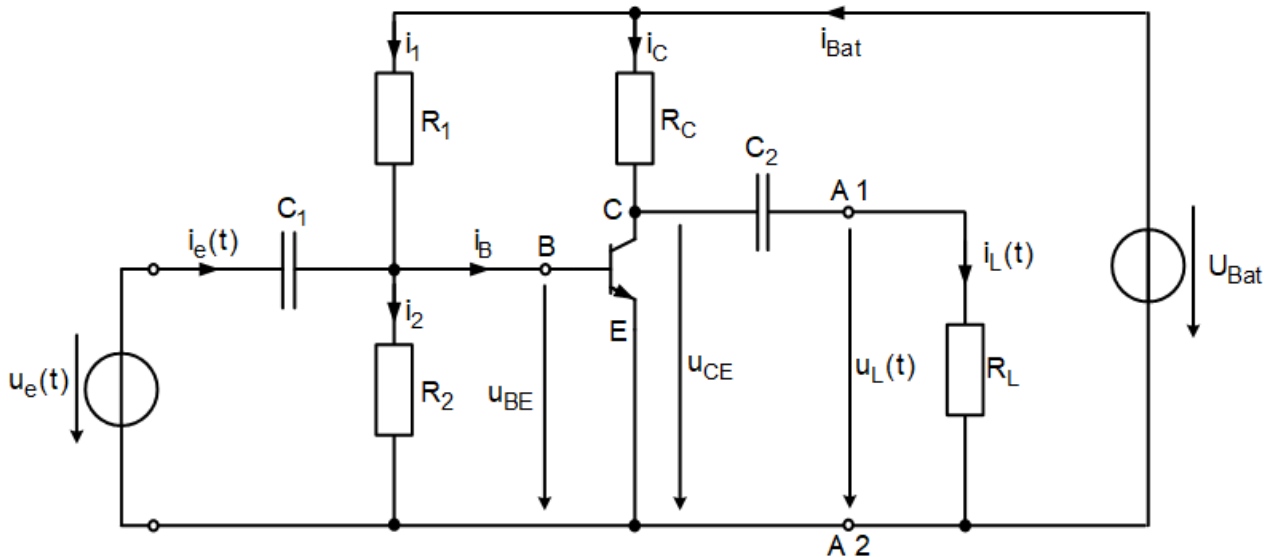


Bild 4.1: Kleinsignalverstärker mit npn - Bipolartransistor

Es sind folgende Daten gegeben:

Versorgungsspannung

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

Kollektorstrom im Arbeitspunkt

$$I_{\text{C,AP}} = 60 \text{ mA}$$

Kollektor-Emitter-Spannung im Arbeitspunkt

$$U_{\text{CE,AP}} = 6 \text{ V}$$

Stromverstärkungen

$$\beta = \beta = 250$$

Basis-Emitter-Widerstand

$$R_{\text{BE}} = 150 \Omega$$

Kollektor-Emitter-Widerstand

$$R_{\text{CE}} = 1.200 \Omega$$

Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode

$$U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$$

Lautsprecher-Widerstand

$$R_L = 92,3 \Omega$$

Amplitude der sinusförmigen Eingangswechselspannung

$$\hat{u}_e = 12 \text{ mV}$$

Vereinfachende Annahmen:

Die Kapazitäten der Koppel-Kondensatoren C_1 und C_2 dürfen als unendlich groß angenommen werden.

Aufgabe 4.1 Gleichstrom-ESB, AP-Einstellung (12 Punkte)

- a) Weshalb sind im Gleichstrom-Ersatzschaltbild die Kondensatoren C_1 und C_2 bedeutungslos?
- b) Zeichnen Sie das Gleichstrom-Ersatzschaltbild (mit Bezeichner für Ströme und Spannungen).
- c) Berechnen Sie:
- Den Strom $I_{R_{CE,AP}}$ durch den Widerstand R_{CE} .
 - Den Strom $I_{C_0,AP}$ der gesteuerten Quelle.
 - Den Basisstrom $I_{B,AP}$.
 - Den Widerstand R_C .
- d) Bestimmen Sie die Widerstände R_1 und R_2 unter der Maßgabe, dass der Strom $I_2 = 6 \cdot I_{B,AP}$ betragen soll.
- e) Wie groß ist die Transistor-Verlustleistung $P_{VT,AP}$ im Arbeitspunkt (AP)?
Hinweis: Die Verluste im Basis-Emitter-Kreis können vernachlässigt werden.

Aufgabe 4.2 Wechselstromverhalten (8 Punkte)

- a) Vervollständigen Sie das auf dem Lösungsblatt vorgefertigte Wechselstrom-Ersatzschaltbild (fehlende Zweipole, Zählpfeile und Bezeichner für Ströme und Spannungen).
- b) Berechnen Sie:
- Die Amplitude $\hat{i}_B$ des Wechselanteils des Basisstromes i_B .
 - Die Amplitude $\hat{i}_{C_0}$ des Wechselanteils des Kollektorstromes i_{C_0} .
 - Den Innenwiderstand (Ausgangswiderstand) R_a bezüglich der (unbelasteten!) Ausgangsklemmen A1-A2.
 - Die Amplitude $\hat{u}_L$ der Wechselspannung am Lautsprecher.
 - Die im Lautsprecher umgesetzte Leistung P_L sowie die von der Signalspannungsquelle $u_e(t)$ gelieferte Leistung P_e .
- Hinweis:** Die Leistung berechnet man mit den Effektivwerten!
- Die Leistungsverstärkung $v_P = P_L/P_e$.

Aufgabe 5: Operationsverstärker (20 Punkte)

Im Folgenden sollen die Spannungen $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$ der im Bild 5.1 gegebenen Schaltung für die im Bild 5.2 gegebene Eingangsspannung $u_e(t)$ bestimmt werden.

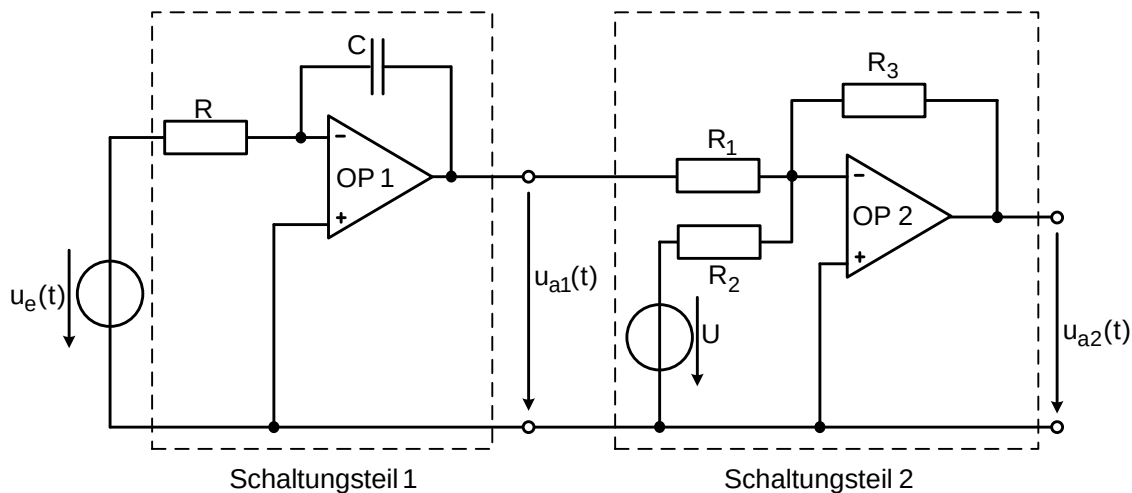


Bild 5.1: Elektrische Schaltung bestehend aus zwei OP-Grundsaltungen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Widerstand

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

Kapazität des Kondensators

$$C = 100 \text{ }\mu\text{F}$$

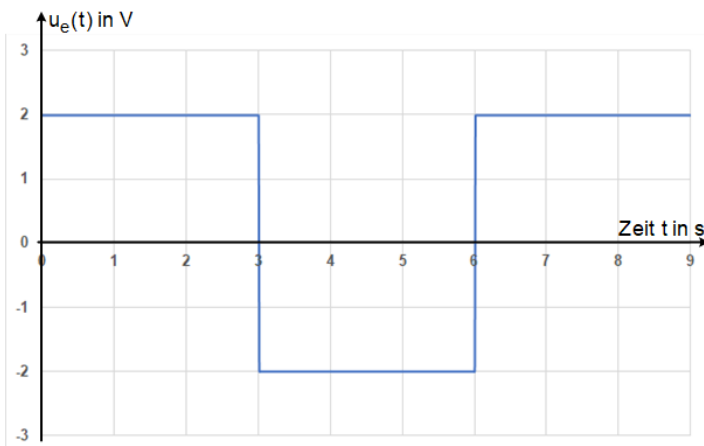


Bild 5.2: Eingangsspannung $u_e(t)$.

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannungen der Operationsverstärker (OP) von $\pm 15 \text{ V}$ sind im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Die Operationsverstärker (OP) dürfen als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für die OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Schaltungsteil 1 (10 Punkte)

- a) Um welche OP-Grundschialtung handelt es sich bei diesem Schaltungsteil?
- b) Geben Sie den allgemeinen Zusammenhang zwischen $u_{a1}(t)$ und $u_e(t)$ an, d. h. $u_{a1}(t) = f(u_e(t), R, C)$.
- c) Geben Sie unter der Voraussetzung (Anfangsbedingung), dass $u_C(t = 0 \text{ s}) = 0 \text{ V}$ beträgt die Zeitfunktion $u_{a1}(t)$ für das Intervall $0 \text{ s} \leq t \leq 3 \text{ s}$ an und berechnen Sie $u_{a1}(t = 3 \text{ s})$.
- d) Geben Sie die Zeitfunktion $u_{a1}(t)$ für das Intervall $3 \text{ s} \leq t \leq 6 \text{ s}$ an und berechnen Sie $u_{a1}(t = 6 \text{ s})$.
Hinweis: Berücksichtigen Sie, dass die Kondensatorspannung bei $t = 3 \text{ s}$ keinen Sprung aufweisen darf.
- e) Zeichnen Sie den Verlauf der Spannung $u_{a1}(t)$ für $0 \text{ s} \leq t \leq 6 \text{ s}$ in das vorbereitete Diagramm auf dem Lösungsblatt ein.

Aufgabe 5.2 Schaltungsteil 2 (10 Punkte)

- a) Um welche OP-Grundschialtung handelt es sich bei diesem Schaltungsteil?
- b) Geben Sie den allgemeinen Zusammenhang zwischen $u_{a2}(t)$ und $u_{a1}(t)$ und U an, d. h. $u_{a2}(t) = f(u_{a1}(t), U, R_1, R_2, R_3)$.
Geben Sie $u_{a2}(t)$ für den Sonderfall $R_1 = R_2 = R_3$ an.
- c) Berechnen Sie unter den Voraussetzungen $U = -9 \text{ V}$ und $R_1 = R_2 = R_3$ die Werte $u_{a2}(t = 0 \text{ s})$, $u_{a2}(t = 3 \text{ s})$ und $u_{a2}(t = 6 \text{ s})$ und zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf von $u_{a2}(t)$ für das Intervall $0 \text{ s} \leq t \leq 6 \text{ s}$ in das Diagramm auf dem Lösungsblatt ein.
Ergänzen Sie die zeitlichen Verläufe von $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$ bis $t = 9 \text{ s}$ (ohne Rechnung, durch Überlegung genügt).
- d) Was passiert mit $u_{a2}(t)$, wenn U kleiner als -9 V wird (z. B. $U = -12 \text{ V}$)?

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GSM) wird als Antrieb für eine Werkzeugmaschine verwendet. Im Bild 6.1 ist die Übersichtsanordnung aus GSM und der direkt angekuppelten Werkzeugmaschine dargestellt.

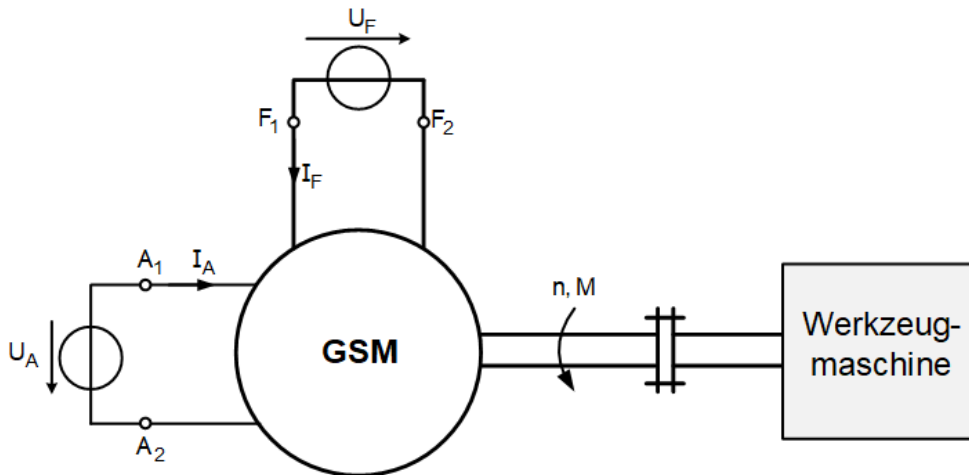


Bild 6.1: Übersicht der Anordnung aus GSM und Arbeitsmaschine.

Es sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 220 \text{ V}$
Nenndrehmoment	$M_N = 70 \text{ Nm}$
Nenndrehzahl	$n_N = 1.500 \text{ min}^{-1}$
Ankerstrom im Nennbetrieb	$I_{A,N} = 55 \text{ A}$
Nenn-Erregerspannung	$U_{F,N} = 200 \text{ V}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 100 \text{ } \Omega$

Annahmen:

- Es werden stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt.
- Es dürfen außer den ohmschen Verlusten im Anker- und im Erregerkreis der Gleichstrommaschine alle weiteren Verluste vernachlässigt werden.

Aufgabe 6.1 Elektrisches ESB (2 Punkte)

Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild (ESB) der GSM und tragen Sie Zählpfeile und Bezeichner für sämtliche elektrische Größen ein.

Aufgabe 6.2 Nennbetrieb (9 Punkte)

Berechnen Sie für den Nennbetrieb:

- Die vom Anker aufgenommene Leistung $P_{A,N}$.
- Die mechanisch an der Welle abgegebene Leistung P_N .
- Die im Anker auftretende Verlustleistung $P_{VA,N}$.
- Den Ankerwiderstand R_A .
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$.
- Das Produkt $(c \cdot \Phi)_N$ aus Maschinenkonstante c und Magnetfluss Φ in Vs.
- Die Leerlaufdrehzahl $n_{0,N}$ in min^{-1} .
- Die Verluste im Erregerkreis $P_{VF,N}$.
- Den Wirkungsgrad η_N der GSM.

Aufgabe 6.3 Stillstand (3 Punkte)

Berechnen Sie:

- Den Stillstandstrom $I_{A,St}$ und erklären Sie, weshalb dieser unzulässig ist.
- Das Stillstandmoment M_{St} .
- Auf welchen Wert $U_{A,St}$ muss die Ankerspannung U_A eingestellt werden, damit im Stillstand lediglich der 1,5-fache Ankernennstrom fließt?
Wie groß ist das zugehörige Stillstandmoment M_{St} ?

Aufgabe 6.4 M-n-Charakteristik und stationäre Drehzahl (6 Punkte)

Auf welchen Wert muss $(c \cdot \Phi)$ eingestellt werden, damit bei Belastung mit $M_{AP} = 0,5 \cdot M_N$ die Drehzahl den Wert $n_{AP} = 2.000 \text{ min}^{-1}$ erreicht?

Hinweis: Es wird nur der Magnetfluss, d. h. $(c \cdot \Phi)$ verändert!

Ermitteln Sie den sinnvollen Wert für $(c \cdot \Phi)_{AP}$, indem Sie in diesem Arbeitspunkt die zugehörigen Ankerströme berechnen und anhand dieser den sinnvollen Wert für $(c \cdot \Phi)_{AP}$ auswählen.