

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

11.03.2021

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 kartesischer 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 Lösungsfeldern nicht ausreicht, dann vermerken Sie dies innerhalb des Lösungsfeldes der entsprechenden Teilaufgabe und verwenden Sie ein zusätzliches Blatt (beschriftet mit Namen 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 zusätzliche beschriebene Blätter ab.

- Die Aufgabenblätter müssen nicht abgegeben werden.

Zugelassene Hilfsmittel:

- 6 Seiten handschriftliche Formelsammlung DIN A4.
- 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 Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_L , der Spannungsquelle U und der Stromquelle I_0 abgebildet.

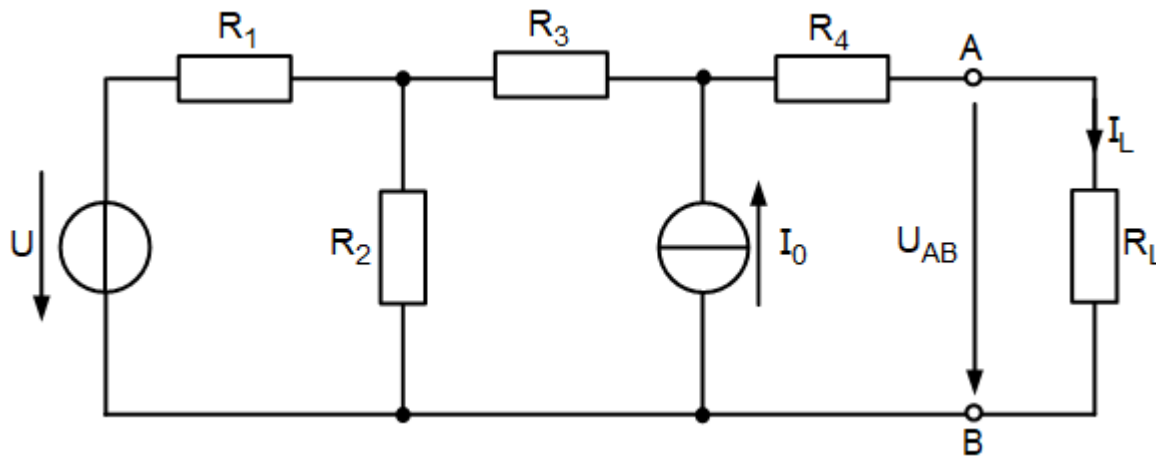


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle: $U = 30 \text{ V}$

Stromquelle: $I_0 = 1 \text{ A}$

Widerstände: $R_1 = 12 \text{ } \Omega$

$R_2 = 18 \text{ } \Omega$

$R_3 = 2,8 \text{ } \Omega$

$R_4 = 2 \text{ } \Omega$

Lastwiderstand: R_L siehe Aufgabenstellung.

Hinweis:

Auch wenn keine Ersatzschaltbilder explizit gefordert sein sollten empfiehlt es sich oft, für die entsprechende Fragestellung ein passendes Ersatzschaltbild zu zeichnen (auf den Lösungsblättern ist dafür etwas Platz vorgesehen).

Aufgabe 1.1 Überlagerungssatz (5 Punkte)

- a) Weshalb darf der Überlagerungssatz angewendet werden?
- b) Weshalb dürfen Ströme bzw. Spannungen durch Überlagerung von Teilströmen bzw. Teilspannungen berechnet werden?
- c) Weshalb darf man Leistungen nicht durch Überlagerung von Teilleistungen berechnen?
- d) Wie werden Spannungsquellen und Stromquellen wirkungslos gemacht?

Aufgabe 1.2 Ersatzspannungsquelle (9 Punkte)

Nun wird der Leerlauf betrachtet, d. h. formal $R_L = \infty \Omega$.

- a) Berechnen Sie die Teilspannung $U_{AB,LL,1}$ der Spannung $U_{AB,LL}$, welche sich aus der alleinigen Wirkung der Spannungsquelle U ergibt.
- b) Berechnen Sie die Teilspannung $U_{AB,LL,2}$ der Spannung $U_{AB,LL}$, welche sich aus der alleinigen Wirkung der Stromquelle I_0 ergibt.
- c) Wie groß ist die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$?
- d) Berechnen Sie den Ersatzwiderstand R_{ers} des Schaltungsteils links der Klemmen A-B (**Hinweis:** Leerlauf, d. h. R_L ist nicht angeschlossen!)
- e) Geben Sie das Ersatzschaltbild für die Ersatzspannungsquelle des Schaltungsteils links der Klemmen A-B und die Parameter U_q (Leerlaufspannung) sowie R_i (Innenwiderstand) der Ersatzspannungsquelle an.

Aufgabe 1.3 Ströme und Leistungen (6 Punkte)

- a) Wie groß ist der Kurzschluss-Strom I_K , d. h. I_L für $R_L = 0 \Omega$?
- b) Welcher Teilkurzschluss-Strom $I_{K,2}$ wird allein von der Stromquelle I_0 hervorgerufen, wenn der allein durch die Spannungsquelle U hervorgerufene Teilkurzschluss-Strom $I_{K,1} = 1,5 \text{ A}$ beträgt?
- c) Welche Leistung P_L wird im Lastwiderstand $R_L = 6 \Omega$ in Wärme umgesetzt?
- d) Auf welchen Wert muss R_L eingestellt werden, damit die maximale Leistung $P_{L,max}$ umgesetzt wird (ohne Rechnung, Begründung genügt!)?
- e) Berechnen Sie $P_{L,max}$.

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Verhalten der Spule (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , einer Gleichspannungsquelle U und einer Spule L abgebildet. Über den Schalter S kann der Schaltungsteil aus R_2 , L und R_3 zugeschaltet und abgeschaltet werden.

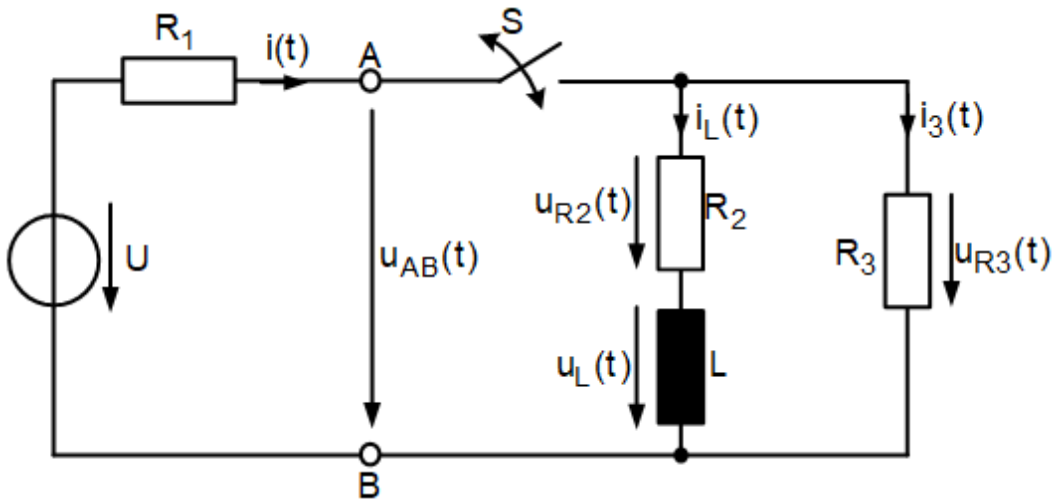


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes

Wichtige Hinweise:

- Sie müssen **keine** Einschwingvorgänge berechnen!
- Sie müssen **keine** Differentialgleichungen aufstellen und auch **keine** Differentialgleichungen lösen!
- Sie können die Aufgabe durch einfache Überlegungen anhand des Verhaltens der Spule zu den betrachteten Zeitpunkten lösen, d. h. anhand:
 - Wie verhält sich die Spule bei Gleichstrom stationär?
 - Wie lautet die Stetigkeitsbedingung für die Energie kennzeichnende Größe?
- Geben Sie Ihre Ergebnisse **allgemein** in Abhängigkeit der Größen U , R_1 , R_2 , R_3 und L an. Sie müssen **keine Werte** berechnen!
- Begründen Sie Ihre Ergebnisse, wenn gefordert in der Form:
Strom muss ..., Strom darf ..., Maschenregel (MR), ohmsches Gesetz (OG), ohmsches Gesetz und Maschenregel (OG + MR), ..., Spannungsteiler-Regel, ...

Aufgabe 2.1 Grundgesetz für die Spule L (3 Punkte)

- Welche Eigenschaft unterscheidet die Spule von einem Ohmwiderstand?
- Wie lautet der Zusammenhang (das Grundgesetz für L) zwischen der Spulenspannung $u_L(t)$ und dem Spulenstrom $i_L(t)$?
- Welche Größe – $i_L(t)$ oder $u_L(t)$ – ist die Energie kennzeichnende Größe?
- Welche Bedingung muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?

Sie brauchen in Ihren Lösungen das „von t“ nicht auszuschreiben. Z. B. genügt es, wenn Sie i_L anstatt $i_L(t = 0_+)$ schreiben!

Aufgabe 2.2 Schalter S ist unendlich lange offen (7 Punkte)

Es wird der Zeitpunkt $t = 0_-$ (Bezeichnung: „Null-Index-Minus“) betrachtet, nachdem der Schalter S bereits seit (theoretisch) unendlich langer Zeit **offen** ist.

Geben Sie für diesen Zustand (S bereits unendlich lange offen) folgende Größen an:

- $i(t = 0_-)$, $i_L(t = 0_-)$, $u_{R2}(t = 0_-)$, $i_3(t = 0_-)$, $u_{R3}(t = 0_-)$, $u_L(t = 0_-)$, $u_{AB}(t = 0_-)$.

Aufgabe 2.3 Schalter S wird geschlossen (4 Punkte)

Zum Zeitpunkt $t = 0$ wird der Schalter S geschlossen. Betrachtet wird der Zeitpunkt $t = 0_+$ (Bezeichnung: „Null-Index-Plus“) „**kurz**“ (theoretisch unendlich kurz) nachdem S geschlossen ist.

Geben Sie für diesen Zustand (kurz nachdem S geschlossen ist) folgende Größen an:

- $i_L(t = 0_+)$, $u_{R2}(t = 0_+)$, $i(t = 0_+)$, $i_3(t = 0_+)$, $u_{R3}(t = 0_+)$, $u_L(t = 0_+)$, $u_{AB}(t = 0_+)$.

Aufgabe 2.4 Schalter S ist unendlich lange geschlossen (6 Punkte)

Betrachtet wird der Zeitpunkt $t = \infty$ (theoretisch unendlich lange) nachdem S geschlossen ist.

- Geben Sie für diesen Zustand (S unendlich lange geschlossen) folgende Größen an:
 - $u_L(t = \infty)$, $i(t = \infty)$, $u_{AB}(t = \infty)$, $u_{R2}(t = \infty)$, $u_{R3}(t = \infty)$, $i_L(t = \infty)$.
- Beschreiben Sie kurz was passieren würde, wenn man jetzt S wieder öffnen täte (**Hinweis:** gehen Sie auch auf die in der Spule L zunächst gespeicherte Energie ein, was passiert mit ihr?).

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist eine R-L-C-Schaltung dargestellt, die an einer idealen Spannungsquelle mit sinusförmiger Spannungsform betrieben wird.

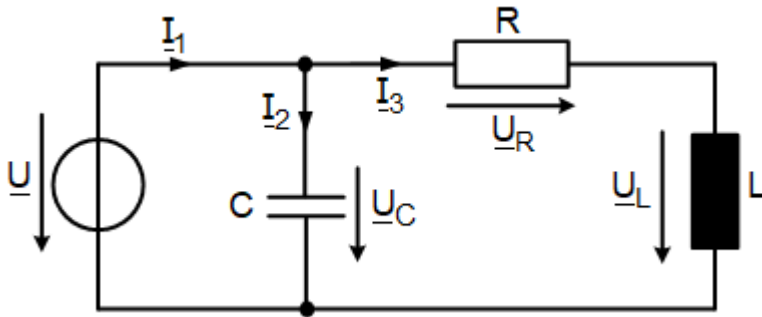


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Spannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung (Effektivwert):	$U = 200 \text{ V}$
Frequenz:	$f = 50 \text{ Hz}$
Ohmscher Widerstand:	$R = 100 \text{ } \Omega$
Kapazität des Kondensators:	$C = 40 \text{ } \mu\text{F}$
Induktivität der Spule:	$L = 200 \text{ mH}$

Lösen Sie die Aufgabe mit der komplexen Wechselstromrechnung!

Unterstrichene Größen (z. B. $\underline{Z}$, $\underline{U}$, $\underline{I}$) sind komplexe Größen!

Größen ohne Unterstriche (z. B. Z , U , I) sind Beträge, bei Strömen und Spannungen entsprechen sie den Effektivwerten.

Aufgabe 3.1 Zeigerdiagramm (4,5 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches sämtliche im Ersatzschaltbild (Bild 3.1) durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Größen enthält.
- b) Tragen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ ein und geben Sie an, ob die Schaltung (gemäß Ihrem Zeigerdiagramm) induktive, kapazitive oder keine Blindleistung aufnimmt (Begründung).

Aufgabe 3.2 Impedanzen (1,5 Punkte)

Berechnen Sie folgende Impedanzen und geben Sie sie in kartesischer Form an:

- Die Impedanzen $\underline{Z}_C$ des Kondensators und $\underline{Z}_L$ der Spule.
- Die Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Reihenschaltung aus R und L.

Aufgabe 3.3 Ströme, Spannungen, Impedanz (10 Punkte)

Berechnen Sie folgende Ströme und Spannungen sowie die Impedanz $\underline{Z}$ und geben Sie die komplexen Größen in kartesischer Form an:

- Den Strom $\underline{I}_2$.
- Den Strom $\underline{I}_3$ und dessen Effektivwert I_3 .
- Die Spannung $\underline{U}_L$ und deren Effektivwert U_L .
- Den Strom $\underline{I}_1$.
- Die Impedanz $\underline{Z}$ der Schaltung.

Aufgabe 3.4 Leistungen (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Scheinleistung $\underline{S}$ und geben Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q an.
Handelt es sich um induktive oder um kapazitive Blindleistung (kurze Begründung)?
- b) Bestimmen Sie die im Widerstand R in Wärme umgesetzte Leistung P_R mit Hilfe des Effektivwerte I_3 aus Aufgabe 3.3 und vergleichen Sie das Ergebnis mit der gerade eben bestimmten Wirkleistung P.

Aufgabe 4: Transistorschaltung (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist eine elektrische Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor dargestellt. Mit der Schaltung soll die Spannung U_L am Lastwiderstand R_L eingestellt werden.

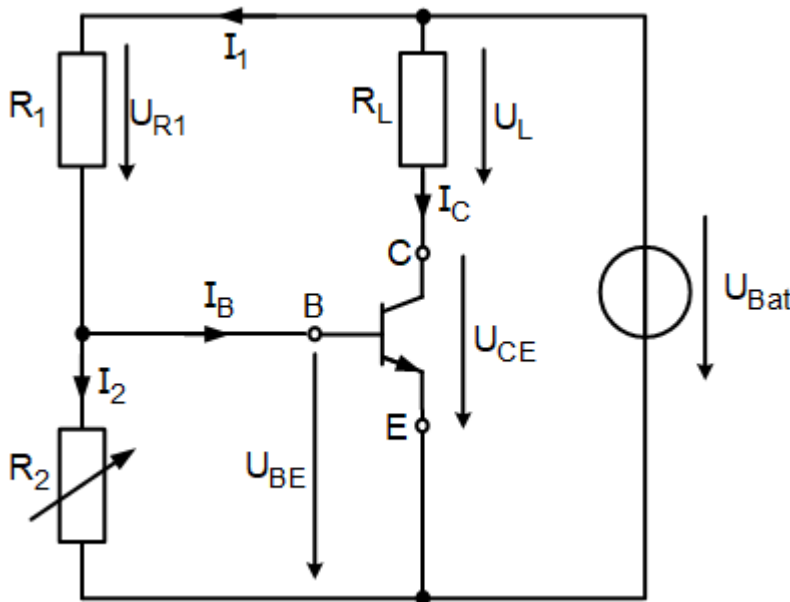


Bild 4.1: Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Widerstände:

$$R_1 = 1 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 0 \dots 100 \text{ }\Omega$$

Transistor:

Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode:

$$U_{BE0} = 0,62 \text{ V}$$

Basis-Emitter-Widerstand:

$$R_{BE} = 100 \text{ }\Omega$$

Weitere Daten können aus dem im Lösungsblatt gegebenen Ausgangskennlinienfeld $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ und der für den Lastwiderstand R_L bereits eingetragenen Arbeitsgeraden abgelesen bzw. berechnet werden.

Aufgabe 4.1 Daten aus dem Kennlinienfeld (4 Punkte)

- a) Ermitteln Sie aus dem gegebenen Kennlinienfeld
- die Batteriespannung U_{Bat} .
 - den Gleichstromverstärkungsfaktor B des Transistors.
 - den Kollektor-Emitter-Widerstand R_{CE} im nicht gesättigten Bereich des Transistors.
- b) Berechnen Sie den Widerstandswert des Lastwiderstandes R_L für die gegebene Arbeitsgerade.

Aufgabe 4.2 Arbeitspunkte (16 Punkte)

- a) Welcher maximale Strom $I_{\text{C,max}}$ durch R_L kann eingestellt werden? Zeichnen Sie diesen Arbeitspunkt in das Kennlinienfeld als AP 1 ein. Welcher Basisstrom $I_{\text{B,min}}$ muss dafür mindestens eingestellt werden? Wie groß ist die Spannung U_L an R_L in diesem Arbeitspunkt?
Hinweis: Lesen Sie möglichst viele Werte direkt aus dem Diagramm ab.

Nun soll der Arbeitspunkt AP 2 bei $U_{\text{CE}} = 0,5 \cdot U_{\text{Bat}} = 6 \text{ V}$ eingestellt werden.

- b) Zeichnen Sie den AP 2 in das Kennlinienfeld ein und bestimmen Sie für diesen Arbeitspunkt
- den Strom $I_{\text{C,AP2}}$ und den erforderlichen Basisstrom $I_{\text{B,AP2}}$.
 - die Spannung $U_{\text{BE,AP2}}$ und die Spannung $U_{\text{R1,AP2}}$ am Widerstand R_1 .
 - den Strom $I_{\text{1,AP2}}$ durch R_1 .
 - den Strom $I_{\text{2,AP2}}$ durch R_2 .
 - den Widerstandswert auf den R_2 eingestellt werden muss.
 - die Leistung $P_{\text{L,AP2}}$, die im Lastwiderstand R_L in Wärme umgesetzt wird.
- c) Was ist am Arbeitspunkt AP 2 besonders
Hinweis: Denken Sie an die Verluste im Transistor.

Aufgabe 5: Operationsverstärkerschaltung (20 Punkte)

Im Bild 5.1 ist eine Schaltung mit dem Operationsverstärker OP 1 im Schaltungsteil 1 und einem zunächst noch unbekannten Schaltungsteil, dargestellt als Rechteck mit Fragezeichen, abgebildet.

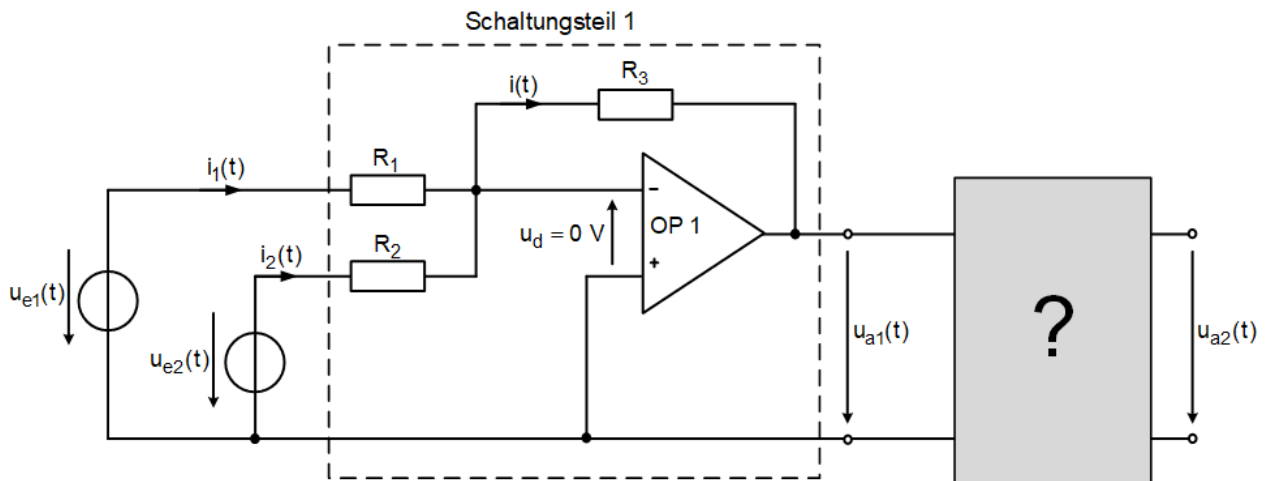


Bild 5.1: Schaltung mit Operationsverstärker.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Eingangsspannung $u_{e1}(t)$: $u_{e1}(t) = 2 \text{ V} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{10 \text{ ms}} \cdot t\right)$

Eingangsspannung $u_{e2}(t)$: $u_{e2}(t) = 6 \text{ V}$

Widerstände: $R_1 = R_2 = R_3$

(Es werden keine konkreten Werte benötigt!)

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die OP Betriebsspannung $\pm U_V$ ist im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Operationsverstärker dürfen grundsätzlich als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für die OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Grundlagen (9 Punkte)

- a) Durch welche drei Eigenschaften ist ein idealer OP gekennzeichnet?
- b) Was versteht man unter Rück-Kopplung und welche zwei Arten von Rück-Kopplung gibt es?
- c) Welche Art der Rück-Kopplung wird im Schaltungsteil 1 der Schaltung aus Bild 5.1 angewendet und woran erkennen Sie dies?
- d) Erklären Sie kurz, weshalb beim OP 1 des Schaltungsteils 1 die Differenzspannung u_d zu null Volt (d. h. $u_d = 0$ V) vorausgesetzt werden darf.
- e) Was versteht man im Zusammenhang mit OP-Schaltungen unter dem Begriff Begrenzung?

Beim Schaltungsteil 1 handelt es sich um einen Summierer (auch als Addierer oder Summierverstärker bezeichnet). Zwischen der Ausgangsspannung $u_{a1}(t)$ und den Eingangsspannungen $u_{e1}(t)$ und $u_{e2}(t)$ besteht der folgende Zusammenhang:

$$u_{a1}(t) = - \left[\frac{R_3}{R_1} \cdot u_{e1}(t) + \frac{R_3}{R_2} \cdot u_{e2}(t) \right]$$

Aufgabe 5.2 Schaltungsteil 1 mit OP 1 (11 Punkte)

- a) Erklären Sie die obige Beziehung kurz verbal, d. h. beschreiben Sie kurz allgemein was der Summierverstärker mit den Eingangsspannungen tut und wie die Ausgangsspannung zustande kommt und anschließend kurz, was dies für den Sonderfall $R_1 = R_2 = R_3$ bedeutet.
Hinweis: Erklären Sie es in drei Schritten (kurz!).
- b) Geben Sie die Amplitude $\hat{u}_{e1}$ und die Periodendauer T_1 der Spannung $u_{e1}(t)$ an.
- c) Zeichnen Sie die Spannungen $u_{e1}(t)$, $u_{e2}(t)$ und $u_{a1}(t)$ in die vorbereiteten Liniendiagramme auf dem Lösungsblatt ein (**Hinweis:** $R_1 = R_2 = R_3$).
- d) Was für eine OP-Schaltung muss in dem unbekannten Schaltungsteil, (im Bild 5.1 dargestellt als Rechteck mit Fragezeichen), vorhanden sein, damit sich der im gegebenen Liniendiagramm dargestellte Verlauf der Ausgangsspannung $u_{a2}(t)$ ergibt (Bezeichnung der Schaltung und kurze Begründung weshalb gerade diese Schaltung)?

Aufgabe 6: Fremderregte Gleichstrommaschine (20 Punkte)

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GSM) dient als Antrieb für ein Förderband. Die gesamte Förderanlage besteht aus Antriebsmaschine (GSM), Getriebe (G) und Förderband (siehe Bild 6.1).

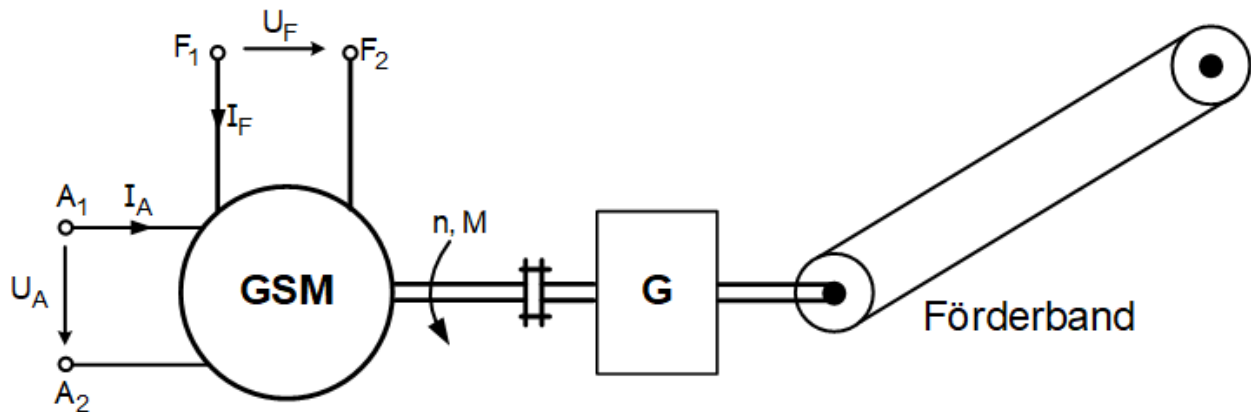


Bild 6.1: Förderanlage bestehend aus Antrieb (GSM), Getriebe G und Förderband

Für die GSM sind folgende Werte für den Nenn-Betrieb bekannt:

Anker-Nennspannung:	$U_{A,N} = 220 \text{ V}$
Anker-Nennstrom:	$I_{A,N} = 200 \text{ A}$
Nenndrehzahl:	$n_N = 3.000 \text{ min}^{-1}$
Ankerwiderstand:	$R_A = 60 \text{ m}\Omega$
Nenn-Erregerspannung:	$U_{F,N} = 220 \text{ V}$
Widerstand der Erregerwicklung:	$R_F = 40 \text{ }\Omega$

Explizite Daten für das Getriebe und das Förderband sind **nicht** erforderlich!

Es dürfen folgende Vereinfachungen angenommen werden:

- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
- Alle Ströme und Spannungen an der GSM sind Gleichgrößen.
- Außer den Verlusten im Ankerwiderstand R_A und im Erregerwiderstand R_F dürfen **für die GSM** alle anderen Verluste (z. B. auch Reibungsverluste) vernachlässigt werden.

Aufgabe 6.1 Elektrisches Ersatzschaltbild der GSM (3 Punkte)

Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der fremderregten GSM. Die Ankerinduktivität L_A darf vernachlässigt werden. Tragen Sie Zählpeile und Bezeichner für sämtliche Ströme und Spannungen ein.

Aufgabe 6.2 Weitere Daten für die GSM (12 Punkte)

- a) Berechnen Sie für den **Nennbetrieb** der GSM die folgenden Größen:
- Die Verluste $P_{VF,N}$ im Erregerkreis, die Verluste $P_{VA,N}$ im Ankerkreis und die Gesamtverluste $P_{VGSM,N}$ der GSM.
 - Die vom Ankerkreis elektrisch aufgenommene Leistung $P_{A,N}$ und die mechanisch von der GSM abgegebene mechanische Leistung $P_{mech,N}$.
 - Die induzierte Spannung $U_{i,N}$ und den Wert $(c \cdot \Phi)_N$.
 - Den Wirkungsgrad $\eta_{GSM,N}$ der GSM.
- b) Welche ideale Leerlaufdrehzahl $n_{0,N}$ würde sich einstellen, wenn die GSM mechanisch vom Getriebe abgekuppelt würde?

Während der Betriebsdauer von $T = 1 \text{ h}$ (1 Stunde) befördert das Förderband im Nennbetrieb eine Masse von $m = 610 \text{ t}$ ($1 \text{ t} = 1.000 \text{ kg}$) um die Höhe $h = 20 \text{ m}$ nach oben.

Hinweise: Verwenden Sie für die Erdbeschleunigung g den Wert $g = 10 \text{ m/s}^2$. Für die Umrechnung der Energie von kJ in kWh gilt: $1 \text{ kWh} \triangleq 3.600 \text{ kJ}$ bzw. $1 \text{ kWh} \triangleq 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$

Aufgabe 6.3 Wirkungsgrad des Fördersystems (5 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Nennbetrieb:

- Die während der Betriebszeit T von der GSM geleistete mechanische Arbeit $W_{mech,N}$ in kWh.
- Die während der Betriebszeit T an der Masse m verrichtete Hubarbeit $W_{Hub,N}$ in kWh.
- Den Wirkungsgrad $\eta_{mech,N}$ der mechanischen Seite der Förderanlage.
- Den Gesamtwirkungsgrad $\eta_{ges,N}$ der gesamten Förderanlage.