

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

01.09.2022

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 drei gleichen Widerständen R und einem an die Klemmen A-B angeschlossenen veränderbaren (variabel einstellbaren) Lastwiderstand R_L abgebildet. Das Widerstandsnetzwerk wird an einer Gleichstromquelle betrieben.

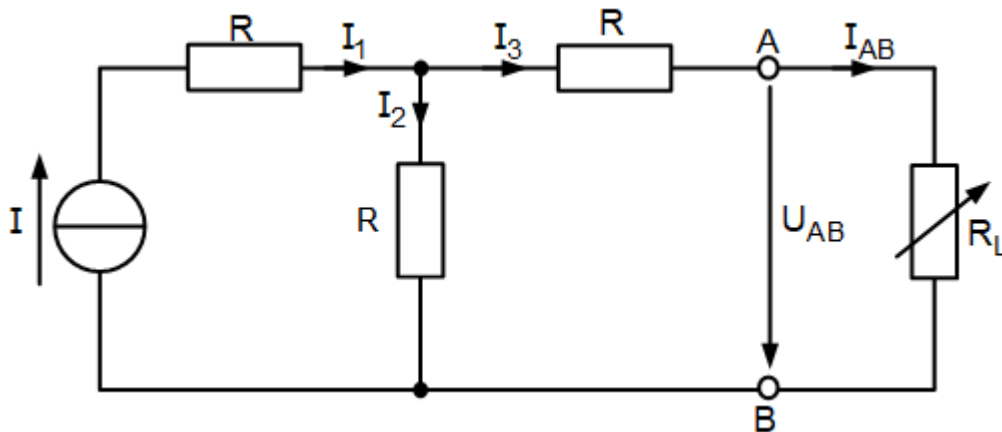


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Ohmscher Widerstand R_L (variabel):

$$R_L = 0 \, \Omega \dots \infty \, \Omega$$

Bezüglich des Zweiges A-B (Klemmenpaar A-B) wurde folgende Strom-Spannungs-Kennlinie (SSK) $U_{AB} = f(I_{AB})$ messtechnisch ermittelt:

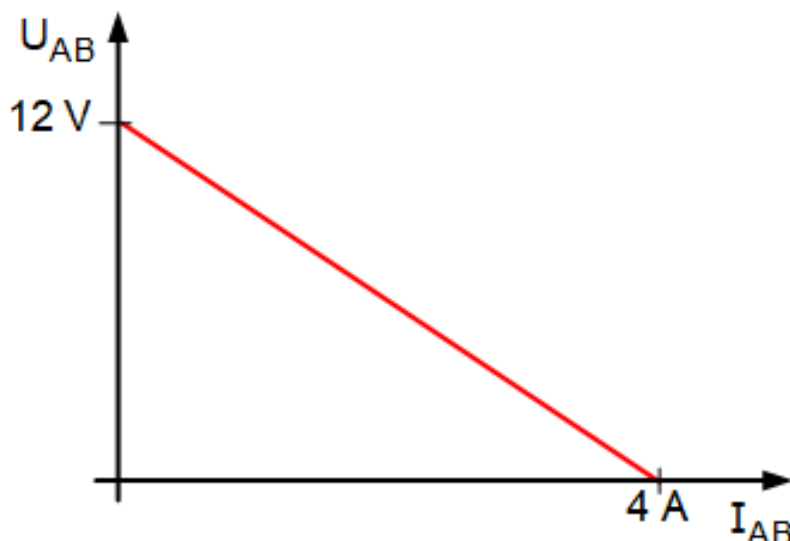


Bild 1.2: Strom-Spannungs-Kennlinie (SSK) $U_{AB} = f(I_{AB})$ bezüglich des Zweiges A-B.

Aufgabe 1.1 Strom-Spannungs-Kennlinie (7 Punkte)

- a) Beschreiben Sie kurz, wie die SSK messtechnisch ermittelt werden kann.
- b) Weshalb kann die SSK bei diesem Netzwerk anhand von nur zwei Messpunkten ermittelt werden?

Welche beiden Messpunkte sind in der im Bild 1.2 dargestellten SSK durch die Angabe der Zahlenwerte gekennzeichnet?

- c) Auf welchen Wert muss man R_L einstellen, damit man an den Klemmen A-B die Leerlaufspannung $U_{AB} = U_{AB,LL}$ messen kann?
Wie groß ist die Leerlaufspannung $U_{AB} = U_{AB,LL}$?
- d) Auf welchen Wert muss man R_L einstellen, damit im Zweig A-B der Kurzschlussstrom $I_{AB} = I_{AB,KS}$ fließt?
Wie groß ist der Kurzschlussstrom $I_{AB,KS}$?

Aufgabe 1.2 Bestimmung von I und R (4 Punkte)

- a) Stellen Sie die Gleichung zur Berechnung des Kurzschlussstromes $I_{AB,KS}$ auf und berechnen Sie I in Ampere.
- b) Stellen Sie die Gleichung zur Berechnung der Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$ auf und berechnen Sie R in Ohm.

Aufgabe 1.3 Ströme und Leistungen (7 Punkte)

Nun wird der Lastwiderstand R_L auf den Wert $R_L = R$ eingestellt.

- a) Berechnen Sie die Ströme I_1 , I_2 und I_3 .
- b) Wie groß ist die von der Stromquelle I in einer Stunde (1 h) gelieferte elektrische Energie W_{Quelle} in kWh und in kJ?

Aufgabe 1.4 Ersatzspannungsquelle (2 Punkte)

Der im Bild 1.1 dargestellte Schaltungsteil links der Klemmen A-B kann in eine Ersatzspannungsquelle (bestehend aus U_q und R_i) umgewandelt werden.

- a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle und kennzeichnen Sie die Klemmen A-B.
- b) Geben Sie die Quellenspannung U_q und den Innenwiderstand R_i an.

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Spule (20 Punkte)

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

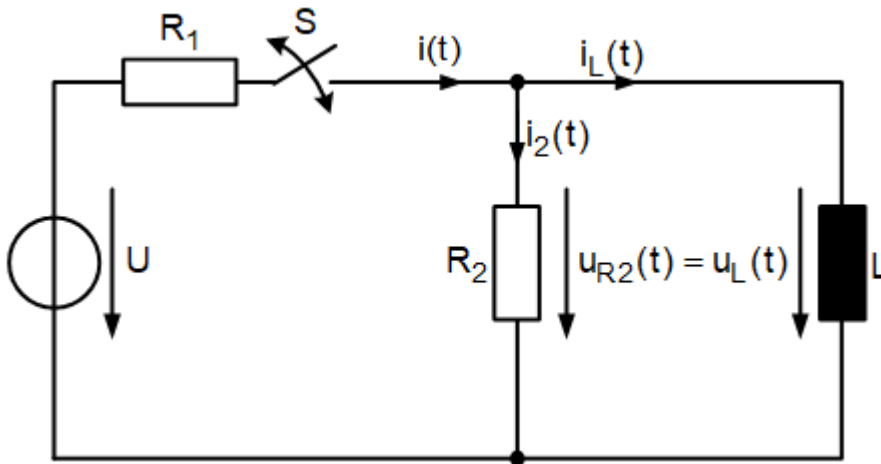


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit Spule.

Die Zeitfunktion für den Strom $i_L(t)$ lautet für $t \geq 0$ s:

$$i_L(t) = \frac{U}{R_1} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (1)$$

Für die Zeitkonstante τ gilt:
$$\tau = \frac{L \cdot (R_1 + R_2)}{R_1 \cdot R_2} \quad (2)$$

Wichtige Hinweise:

- Sie müssen **keine** Differentialgleichungen aufstellen und auch **keine** Differentialgleichungen lösen!
- Geben Sie Ihre Ergebnisse **allgemein** in Abhängigkeit der Größen U , R_1 , R_2 , und τ an. Sie müssen keine konkreten Werte berechnen, außer ein Wert ist definitiv 0 (null), dann geben Sie 0 (null) an.
- Die Spule ist vor dem Schließen von S stromlos.

Aufgabe 2.1 Spule (3 Punkte)

- a) Welche Eigenschaft unterscheidet die Spule von einem Ohmwiderstand und wie lautet der Zusammenhang zwischen der Spannung $u_L(t)$ und dem Strom $i_L(t)$?
- b) Welche Größe - $i_L(t)$ oder $u_L(t)$ - ist bei der Spule Energie kennzeichnend und was muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?
- c) Wie „wirkt“ die Spule 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 unendlich lange Zeit geschlossen ist (Hinweis: Leerlauf oder Kurzschluss)?

Aufgabe 2.2 Der Schalter S wird geschlossen (10 Punkte)

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

- a) Zeigen Sie anhand von Gleichung (1), dass die Spule vor dem Schließen von S tatsächlich stromlos war, d. h. $i_L(t < 0 \text{ s}) = 0 \text{ A}$.
- b) Wie groß sind $i_L(t)$, $i(t)$, $i_2(t)$, $u_{R2}(t)$ und $u_L(t)$ zum Zeitpunkt $t = 0$ s, d. h. zum Zeitpunkt zu dem S gerade geschlossen ist?
- c) Berechnen Sie die Zeitfunktion $u_L(t)$ (in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , τ und t) mit der für $t \geq 0$ s die Spulenspannung verläuft.
- d) Berechnen Sie den Zeitpunkt t_1 zu dem die Spulenspannung $u_L(t_1) = \frac{1}{2} \cdot \frac{U \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ beträgt.

Aufgabe 2.3 Schalter S ist unendlich lange geschlossen (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie $i_L(t)$, $u_L(t)$, $u_{R2}(t)$ und $i(t)$, für $t \rightarrow \infty$ s.
- b) Berechnen Sie die Leistung P , die die Spannungsquelle für $t \rightarrow \infty$ s liefert.

Aufgabe 2.4 Schalter S wird wieder geöffnet (3 Punkte)

Nachdem der Schalter S bereits sehr lange Zeit geschlossen war (theoretisch unendlich lange), wird dieser zum Zeitpunkt $t = t_2$ wieder geöffnet.

- a) Geben Sie $i(t)$, $i_L(t)$, $i_2(t)$, $u_L(t)$ und $u_{R2}(t)$ für $t = t_2$ (d. h. zum Zeitpunkt zu dem S gerade wieder offen ist) an.
- b) Beschreiben Sie kurz, was mit der bei $t = t_2$ in der Spule gespeicherten Energie für $t > t_2$ passiert.

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist das elektrische Ersatzschaltbild einer R-L-C-Reihenschaltung, die an einer sinusförmigen Spannungsquelle betrieben wird, dargestellt. Die Frequenz der Spannungsquelle ist variabel.

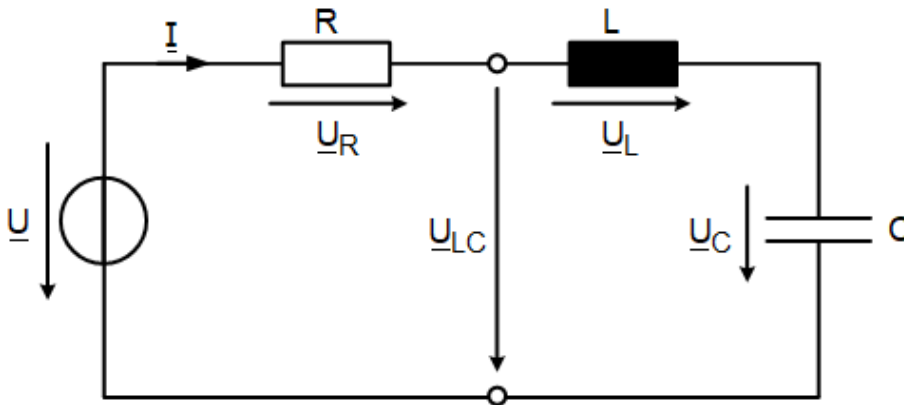


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Effektivwert U der Spannung $\underline{U}$

$$U = 30 \text{ V}$$

Frequenz der sinusförmigen Spannung

$$f = 50 \text{ Hz} \dots 100 \text{ Hz}$$

Ohmscher Widerstand

$$R = 2 \, \Omega$$

Induktivität der Spule

$$L = 47,75 \text{ mH}$$

Kapazität des Kondensators

$$C = 106,1 \, \mu\text{F}$$

Die Resonanzfrequenz berechnet sich mit folgender Formel:

$$f_R = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Aufgabe 3.1 Zeigerdiagramm (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung $\underline{U}_L$ größer ist als die Spannung $\underline{U}_C$ und zeichnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ ein.
- b) Wirkt die Schaltung nach obigem Zeigerdiagramm ohmsch, ohmsch-induktiv oder ohmsch-kapazitiv? Begründen Sie Ihre Antwort kurz!

Aufgabe 3.2 Impedanzen, Ströme und Spannungen (7 Punkte)

Die Frequenz f betrage $f = 50 \text{ Hz}$.

- a) Berechnen Sie:
- Die Impedanz $\underline{Z}$ der Reihenschaltung aus R , L und C .
 - $\underline{I}$, I , U_R , U_L , U_C und U_{LC} .
- 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!)?

Aufgabe 3.3 Resonanzfall (9 Punkte)

Die Frequenz f der Spannungsquelle soll nun auf die Resonanzfrequenz f_R eingestellt werden.

- a) Was ist die Ausgangsbedingung für die Berechnung der Resonanzfrequenz?
- b) Berechnen Sie die Resonanzfrequenz f_R .
- c) Berechnen Sie:
- X_L , X_C , und die Impedanz $\underline{Z}$ der R-L-C-Reihenschaltung bei $f = f_R$.
- d) Berechnen Sie den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$, die Spannungseffektivwerte U_R , U_L , U_C , U_{LC} und interpretieren Sie die Ergebnisse.
- e) Unter welcher Bedingung kann der Resonanzfall besonders gefährlich werden (Hinweis: Denken Sie an den ohmschen Widerstand R)?
- f) Berechnen Sie die Scheinleistung S , die Wirkleistung P und die Blindleistung Q .

Aufgabe 4: Kleinsignalverstärker (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist das elektrische Ersatzschaltbild eines Kleinsignalverstärkers dargestellt. An die Klemmen A 1 - A 2 ist nichts angeschlossen (Leerlauf).

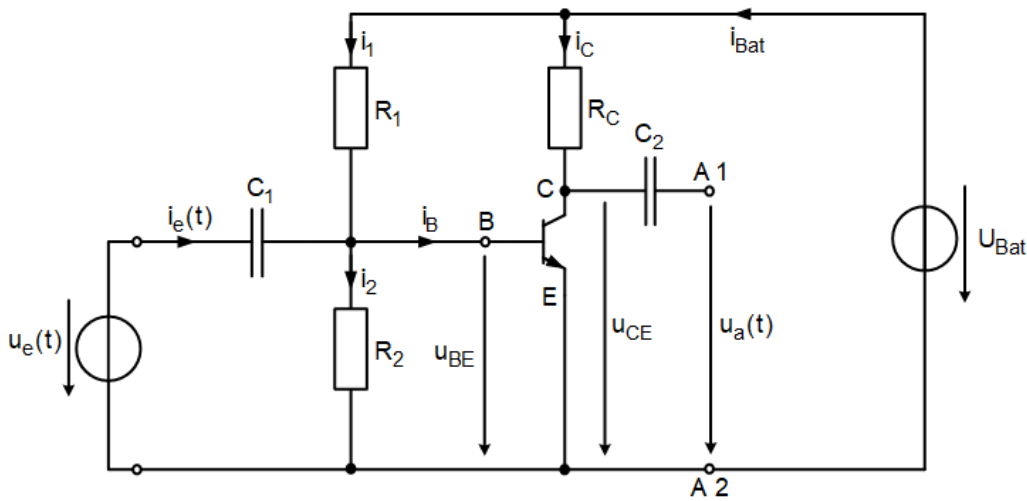


Bild 4.1: Kleinsignalverstärker mit npn - Bipolartransistor

Es sind folgende Daten gegeben:

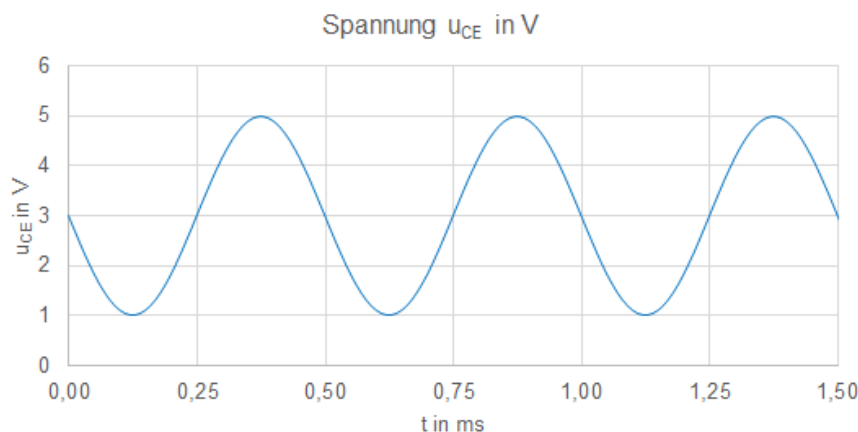
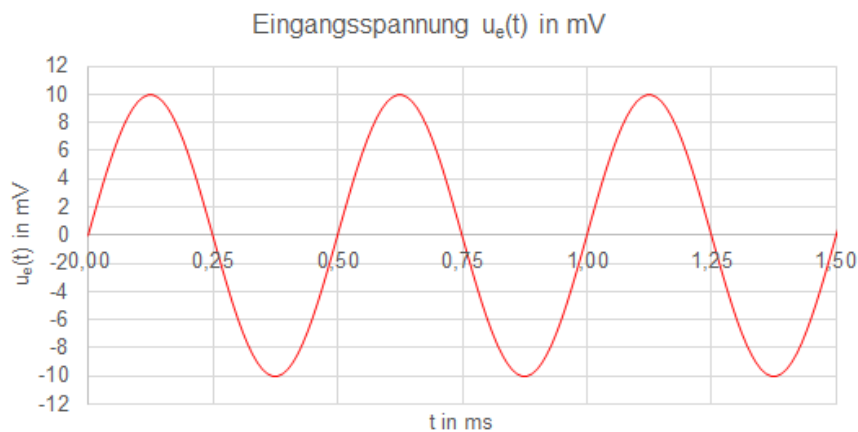


Bild 4.2: Zeitverläufe der sinusförmigen Eingangswechselspannung $u_e(t)$ und der Mischspannung u_{CE} .

Aufgabe 4.1 Daten aus Bild 4.2 (14 Punkte)

- a) Ermitteln Sie die Amplitude $\hat{u}_e$ und die Frequenz f der sinusförmigen Eingangswechselspannung und geben Sie die Zeitfunktion $u_e(t)$ an.
- b) Ermitteln Sie die Amplitude $\hat{u}_{CE}$ des Wechselanteils von u_{CE} , die Frequenz f und den Gleichanteil $U_{CE,AP}$ von u_{CE} und geben Sie die Zeitfunktion der Mischspannung u_{CE} an.
- c) Was bewirkt der Kondensator C_2 ?
Geben Sie die Zeitfunktion für $u_a(t)$ an.
- d) Wodurch unterscheiden sich die Zeitfunktionen $u_e(t)$ und $u_a(t)$?
- e) Wie groß ist die Leerlauf-Spannungsverstärkung v_U ?
- f) Wie groß ist die Versorgungsspannung U_{Bat} , wenn vorausgesetzt wird, dass der Arbeitspunkt richtig eingestellt wurde?
- g) Berechnen Sie R_C , sodass sich bei einem Gleichanteil $I_{C,AP} = 10 \text{ mA}$ der obige Arbeitspunkt einstellt.
- h) Berechnen Sie für die Gleichstromverstärkung $B = 200$ des Transistors den Gleichanteil $I_{B,AP}$ des Basisstromes i_B , sodass sich der Strom $I_{C,AP} = 10 \text{ mA}$ einstellt.
- i) Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 unter der Voraussetzung, dass der Gleichanteil $U_{BE,AP}$ der Basis-Emitter-Spannung u_{BE} im Arbeitspunkt $U_{BE,AP} = 0,6 \text{ V}$ beträgt und der Gleichanteil I_2 des Stromes i_2 das Zehnfache des Stromes $I_{B,AP}$.

Aufgabe 4.2 Wechselstromverhalten (6 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung aus Bild 4.1 und berücksichtigen Sie die Vereinfachungen $C_1 = C_2 \rightarrow \infty \text{ F}$.
- b) Berechnen Sie die Amplitude $\hat{i}_B$ des Wechselanteils des Basisstromes i_B unter der Voraussetzung, dass der Basis-Emitter-Widerstand $R_{BE} = 250 \Omega$ beträgt, an.
- c) Bestimmen Sie unter der Annahme, dass die Wechselstromverstärkung $\beta = 100$ beträgt die Amplitude $\hat{i}_{C0}$ des Wechselanteils des Stromes i_C und den Kollektor-Emitter-Widerstand R_{CE} des Transistors.

Aufgabe 5: Operationsverstärker (20 Punkte)

In einem Heizschrank soll die durch den Temperatursensor $R_1(\vartheta)$ erfasste Ist-Temperatur mit einer durch die Zenerdioden-Stufe vorgegebenen Soll-Temperatur verglichen werden. Die Verstärkerstufe verstärkt die Differenz der zu den entsprechenden Temperaturen gehörenden Spannungswerte und gibt diese als Ausgangsspannung U_a aus.

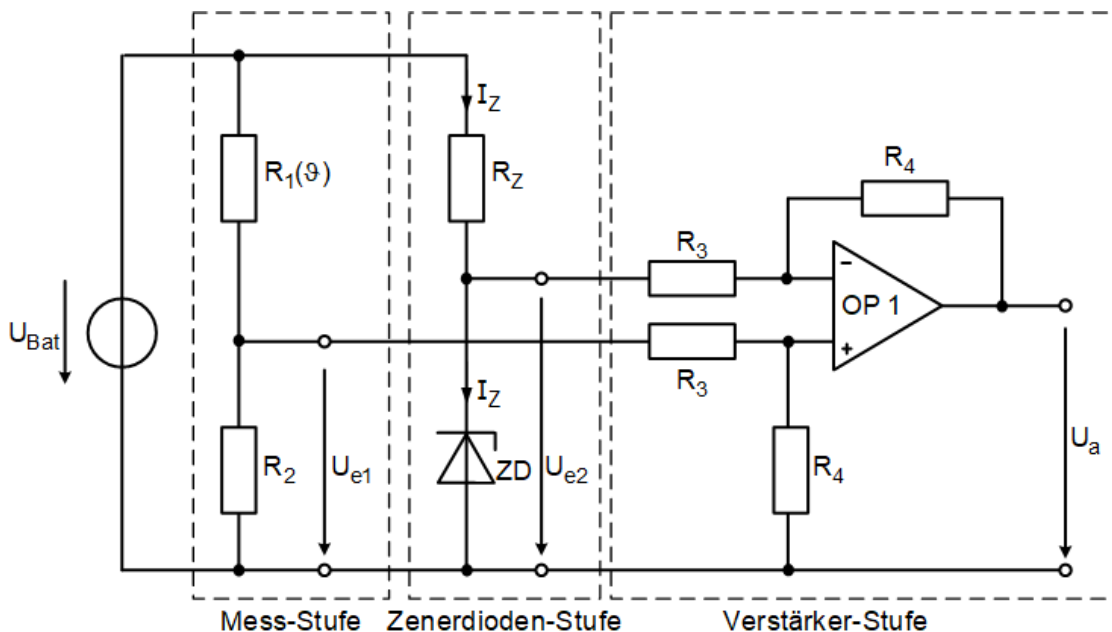


Bild 5.1: Schaltung zur Temperaturüberwachung.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Betriebsspannung	$U_{Bat} = 12 \text{ V}$
Temperatursensor	$R_1(\vartheta) = 100 \, \Omega \cdot \left(1 + \frac{\vartheta - 20^\circ\text{C}}{100 \, ^\circ\text{C}}\right)$
Widerstände	$R_2 = 500 \, \Omega$, $R_3 = 5 \text{ k}\Omega$, $R_4 = 10 \text{ k}\Omega$
Zenerspannung der ZD	$U_{Z0} = 9,9 \text{ V}$
Dynamischer Widerstand der ZD	$R_{DZ} = 10 \, \Omega$

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannung des Operationsverstärkers (OP 1) von $\pm 15 \text{ V}$ ist im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Der Operationsverstärker darf als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für die OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Schaltungsteil Mess-Stufe (9 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Widerstandswerte $R_1(\vartheta)$ bei den Temperaturwerten $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$, $\vartheta_2 = 45^\circ\text{C}$ und $\vartheta_3 = 55^\circ\text{C}$.
- b) Handelt es sich bei diesem Temperatursensor um einen Heißleiter oder um einen Kaltleiter (Begründung)?
- c) Erklären Sie, weshalb die Widerstände R_3 und R_4 bei der Berechnung der Spannung U_{e1} praktisch vernachlässigt werden können.

Berechnen Sie die Spannung U_{e1} zunächst allgemein in Abhängigkeit von U_{Bat} , $R_1(\vartheta)$ und R_2 und bei den Temperaturen $\vartheta_1 = 20^\circ\text{C}$, $\vartheta_2 = 45^\circ\text{C}$ und $\vartheta_3 = 55^\circ\text{C}$.

Aufgabe 5.2 Schaltungsteil Zenerdioden-Stufe (6 Punkte)

- a) Geben Sie die Beziehung $U_{e2} = U_Z = f(U_{\text{Bat}}, U_{Z0}, R_{DZ}, R_Z)$ an.
- b) Auf welchen Wert muss man R_Z einstellen, damit $U_Z = U_{e2} = 10\text{ V}$ beträgt?

Aufgabe 5.3 Schaltungsteil Verstärker-Stufe (5 Punkte)

- a) Welche OP-Grundschialtung wird hier verwendet?
- b) Geben Sie die Beziehung $U_a = f(U_{e1}, U_{e2}, R_3, R_4)$ an.
- c) Wie groß ist die Ist-Temperatur, wenn die Spannung $U_a = -0,8\text{ V}$ und die Spannung $U_{e2} = U_Z = 10\text{ V}$ betragen?

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

Für einen kleinen Springbrunnen in einem Gartenteich wird eine permanent-magneterregte Gleichstrommaschine (GM) verwendet. Im Bild 6.1 ist die Übersichtsansicht aus GM und der direkt angekoppelten Pumpe dargestellt.

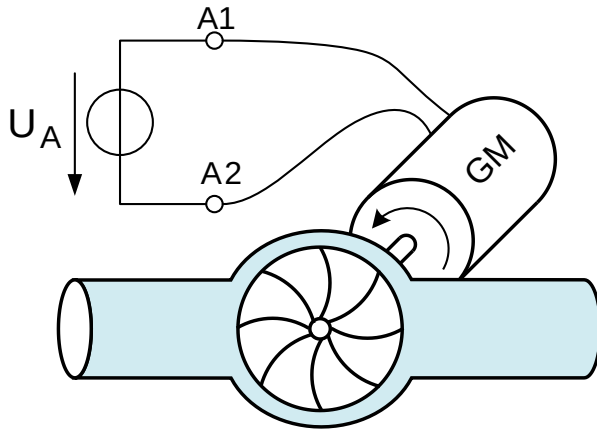


Bild 6.1: Übersicht der Anordnung aus Gleichstrommaschine und Pumpe..

Es sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung

$$U_{A,N} = 12 \text{ V}$$

Nennleistung

$$P_N = 2 \text{ W}$$

Wirkungsgrad im Nennbetrieb

$$\eta_N = 50 \%$$

Nenndrehzahl

$$n_N = 4.000 \text{ min}^{-1}$$

Lastkennlinie der Pumpe für $n \geq 0$

$$M_L(n) = 1 \cdot 10^{-6} \text{ Nms}^2 \cdot n^2 \sim n^2$$

Annahmen:

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

Aufgabe 6.1 Elektrisches ESB (2 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild (ESB) der GM und tragen Sie Zählpfeile und Bezeichner für sämtliche elektrischen Größen ein.
- b) Weshalb darf die Ankerinduktivität L_A vernachlässigt werden?

Aufgabe 6.2 Nennbetrieb (4 Punkte)

Berechnen Sie für den Nennbetrieb:

- Die aufgenommene Leistung $P_{A,N}$.
- Den Ankernennstrom $I_{A,N}$.
- Die Verlustleistung $P_{VA,N}$ im Ankerwiderstand R_A .
- Den Ankerwiderstand R_A .
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$.
- Das abgegebene Drehmoment M_N in Ncm.
- Das Produkt $(c \cdot \Phi)$ aus Maschinenkonstante c und Magnetfluss Φ in mVs.

Aufgabe 6.3 Anlauf und Leerlauf (2 Punkte)

Berechnen Sie:

- Das Stillstandmoment M_{St} .
- Die Leerlaufdrehzahl n_0 in min^{-1} .

Aufgabe 6.4 M-n-Charakteristik und stationäre Drehzahl (12 Punkte)

- a) Stellen Sie ausgehend von der Maschengleichung im Ankerkreis $U_i = U_A - R_A \cdot I_A$ eine Formel für das abgegebene Drehmoment in der Form $M(n) = \frac{a - n}{b}$ auf und geben Sie die Werte und Einheiten der Parameter a und b an.
- b) Berechnen Sie unabhängig von Ihrem Ergebnis aus Teilaufgabe 6.4 a) unter der Voraussetzung $M(n) = 1 \cdot 10^{-2} \text{ Nm} - 70 \cdot 10^{-6} \text{ Nms} \cdot n$ die sich im Arbeitspunkt AP einstellende stationäre Drehzahl n_{AP} .