

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

02.09.2021

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 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 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 zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter brauchen **nicht** abgegeben werden.

Zugelassene Hilfsmittel:

- 6 Seiten handschriftliche 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 abgebildet. Das Widerstandsnetzwerk wird an der Gleichspannungsquelle U betrieben.

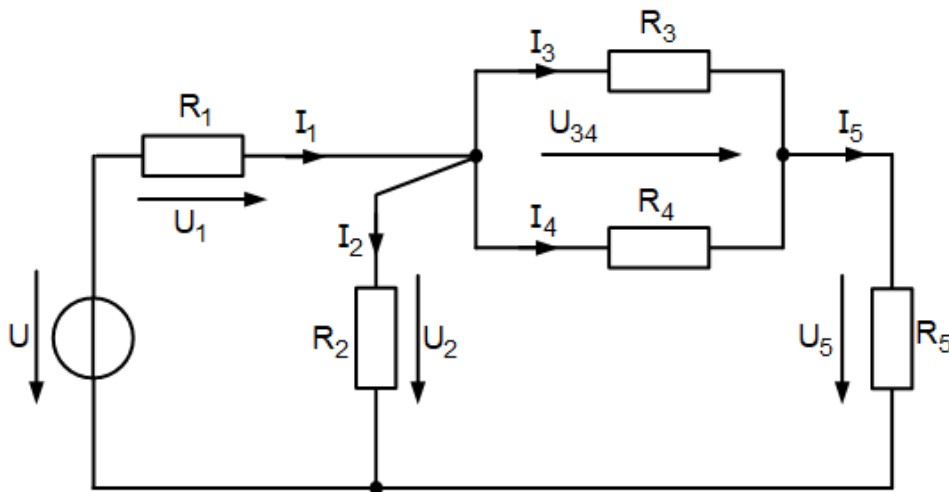


Bild 1.1: Ersatzschaltbild mit Bezeichnern und Zählpfeilen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle $U = 24 \text{ V}$

Ohmsche Widerstände $R_1 = 6 \, \Omega$

$R_2 = 9 \, \Omega$

$R_3 = 20 \, \Omega$

$R_4 = 30 \, \Omega$

$R_5 = 6 \, \Omega$

Im Folgenden sollen die Ströme, Spannungen und Leistungen berechnet werden.

Aufgabe 1.1 Netzwerkanalyse (5 Punkte)

- a) Wie viele Knoten k und Zweige z hat das Netzwerk?
- b) Wie viele Unbekannte gibt es und welche Größen sind unbekannt?
- c) Wie viele unabhängige Knotengleichungen (KG) und unabhängige Maschengleichungen (MG) würde man für die Bestimmung der Unbekannten benötigen?

Die unbekannten Ströme und Spannungen sollen im Folgenden mit Hilfe der Netzwerkvereinfachung durch Zusammenfassen von Widerständen bestimmt werden.

Aufgabe 1.2 Ersatzwiderstände, Ströme und Spannungen (10 Punkte)

- a) Fassen Sie die Widerstände in der folgenden Reihenfolge zu den entsprechenden Ersatzwiderständen zusammen:
 - R_3 und R_4 zum Ersatzwiderstand R_{34}
 - R_{34} und R_5 zum Ersatzwiderstand R_{345}
 - R_2 und R_{345} zum Ersatzwiderstand R_{2345}
 - R_1 und R_{2345} zum Ersatzwiderstand R_{ges} .
- b) Bestimmen Sie die Ströme und Spannungen in der folgenden Reihenfolge:
 - I_1 , U_1 , U_2 , I_2 , I_5 , U_5 , U_{34} , I_3 und I_4 .
 - Wie könnten die Ströme I_3 und I_4 direkt aus dem Strom I_5 und den Widerständen R_3 und R_4 bestimmt werden (Stichwort genügt)?

Aufgabe 1.3 Leistungen (5 Punkte)

Bestimmen Sie die in den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 , R_4 und R_5 auftretenden Verlustleistungen P_1 , P_2 , P_3 , P_4 und P_5 .

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Kondensator (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 einem Kondensator C abgebildet. Über den Schalter S kann der Schaltungsteil aus R_2 , C und R_3 zugeschaltet und abgeschaltet werden.

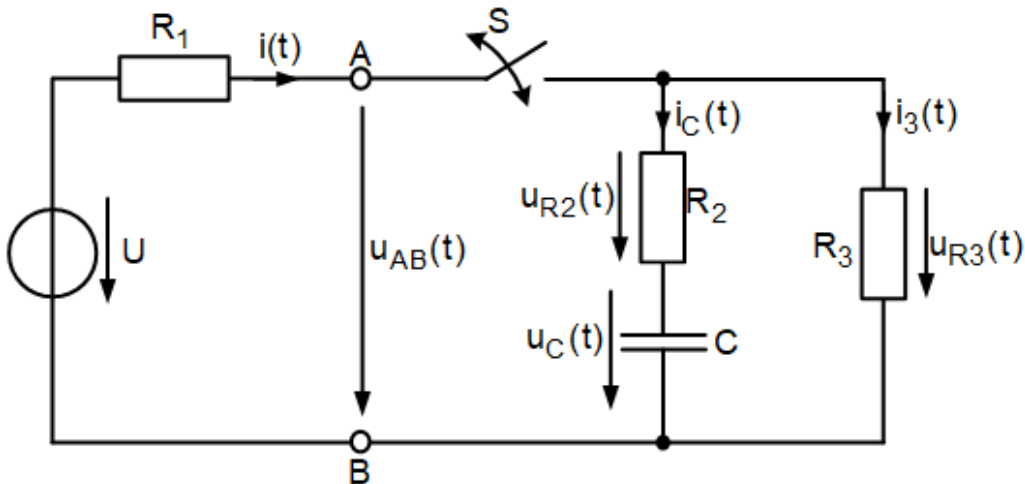


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes

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 des Kondensators zu den betrachteten Zeitpunkten lösen.
- Geben Sie Ihre Ergebnisse **allgemein** in Abhängigkeit der Größen U , R_1 , R_2 , R_3 und C an. Sie müssen keine Werte berechnen! Ist ein Wert 0 (null), dann geben Sie 0 (null) an.
- Begründen Sie Ihre Ergebnisse, wenn gefordert, in der Form:
Strom muss ..., Spannung darf ..., Maschenregel (MR), ohmsches Gesetz (OG), ohmsches Gesetz und Maschenregel (OG + MR), Mit Spannungsteiler-Regel, ...

Aufgabe 2.1 Grundgesetz für den Kondensator (3 Punkte)

- Welche Eigenschaft unterscheidet den Kondensator von einem Ohmwiderstand?
- Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Spannung $u_C(t)$ und dem Strom $i_C(t)$?
- Welche Größe – $i_C(t)$ oder $u_C(t)$ – ist die Energie kennzeichnende Größe?
- Welche Bedingung muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?

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 Zeitpunkt folgende Größen an:

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

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 Zeitpunkt folgende Größen an:

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

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

Betrachtet wird der Zeitpunkt $t = \infty$ s (theoretisch unendlich lange) nachdem S geschlossen ist. Geben Sie für diesen Zeitpunkt folgende Größen an:

- $i_C(t = \infty)$, $u_{R2}(t = \infty)$, $i(t = \infty)$, $i_3(t = \infty)$, $u_{R3}(t = \infty)$, $u_C(t = \infty)$, $u_{AB}(t = \infty)$.

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule L , einem Kondensator C und einem ohmschen Widerstand R gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

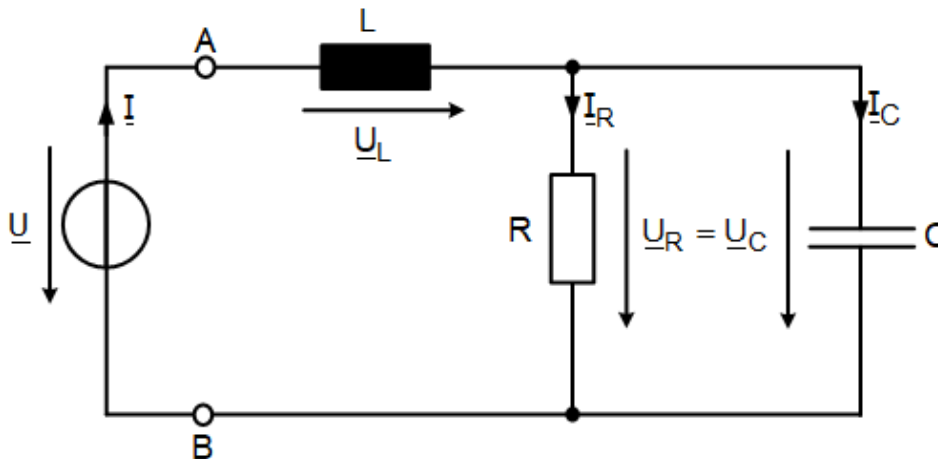


Abbildung 3-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert:	U
Kreisfrequenz der sinusförmigen Spannung:	ω
Ohmscher 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 3.1 Zeigerdiagramm (6 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches alle die in Abbildung 3-1 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 3.2 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 $C = 318 \text{ } \mu\text{F}$

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

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

Aufgabe 4: Transistorschaltung (20 Punkte)

In Abbildung 4-1 ist die Schaltung eines Kleinsignalverstärkers gegeben.

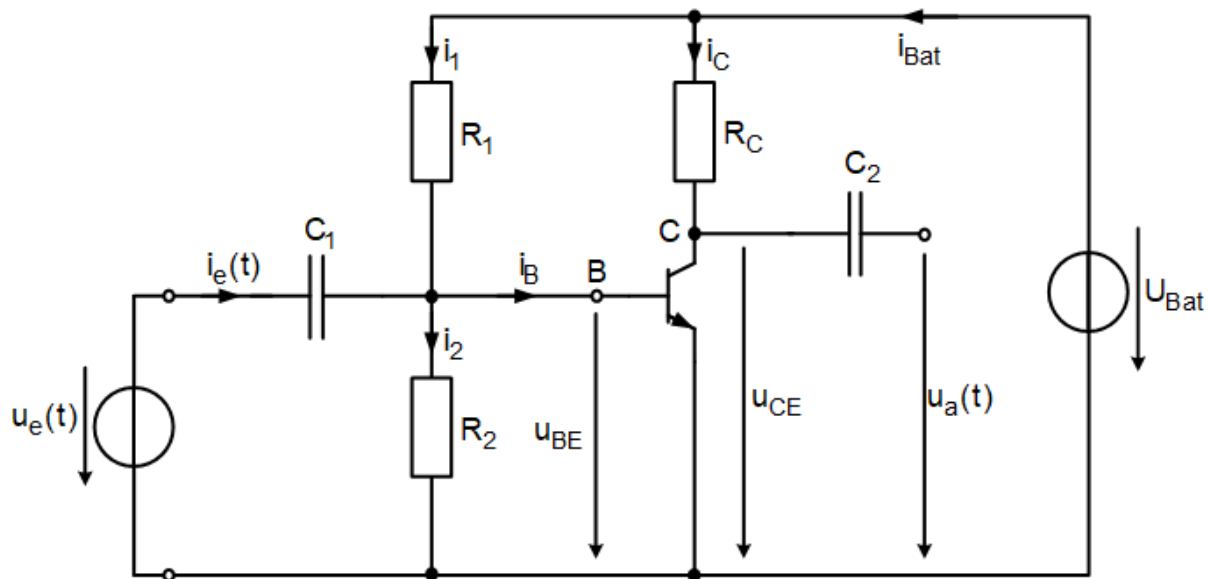


Abbildung 4-1: Schaltung eines Kleinsignalverstärkers mit einem npn - Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:

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

Transistor (npn-Bipolartransistor)

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, z. B. U_{Bat} .

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. i_1 , i_2 , i_B , ...

Aufgabe 4.1 Arbeitspunkteinstellung (11 Punkte)

- a) Erklären Sie kurz den Begriff Mischgröße.
- b) Weshalb wählt man für den AP $U_{CE,AP} = 0,5 \cdot U_{Bat}$?
- c) Berechnen Sie den Widerstand R_C und den Gleichanteil $I_{B,AP}$ des Basisstromes i_B , sodass sich der geforderte AP einstellt.

Als Dimensionierungsvorschrift für den Basisspannungsteiler, bestehend aus R_1 und R_2 , soll gelten, dass der Gleichstromanteil $I_{2,AP}$ des Stromes i_2 das Zehnfache des Basisstromes $I_{B,AP}$ beträgt.

- d) Berechnen Sie die Gleichstromanteile $I_{2,AP}$ und $I_{1,AP}$ der Ströme i_2 und i_1 sowie die Widerstände R_1 und R_2 , sodass sich der geforderte AP einstellt.
- e) Wie groß ist der ohmsche Widerstand R_{BE} der Basis-Emitter-Strecke des Transistors?

Aufgabe 4.2 Transistor – Verlustleistung (3 Punkte)

- a) Weshalb darf die maximal zulässige Verlustleistung des Transistors nicht (dauerhaft) überschritten werden?
- b) Wie groß muss die maximal zulässige Verlustleistung P_{tot} des gewählten Transistors mindestens sein, damit der Transistor dauerhaft im obigen AP betrieben werden kann?

Hinweis: Berechnen Sie die im AP auftretende Verlustleistung des Transistors nur unter Berücksichtigung der Gleichanteile!

Aufgabe 4.3 Wechselstromverhalten (6 Punkte)

- a) Wozu werden die Kondensatoren C_1 und C_2 benötigt?
Könnten anstatt der Kondensatoren auch Spulen verwendet werden (kurze Begründung)?
- b) Zeichnen Sie für die Schaltung in Abbildung 4-1 das Wechselstromersatzschaltbild (R_{CE} ist vernachlässigbar, s. o.).

Aufgabe 5: Operationsverstärker (20 Punkte)

In einem Flüssigkeitsbehälter soll der Füllstand überwacht werden. Sobald ein bestimmter Füllstand erreicht wird soll eine Leuchtdiode (LED) aufleuchten. Im Bild 5.1 sind das Funktionsprinzip der Füllstandumsetzung über das Potentiometer R (Widerstand mit Schleifkontakt) in das elektrische Signal $U_e(x)$ und die entsprechende Ersatzschaltung als Spannungsteiler dargestellt.

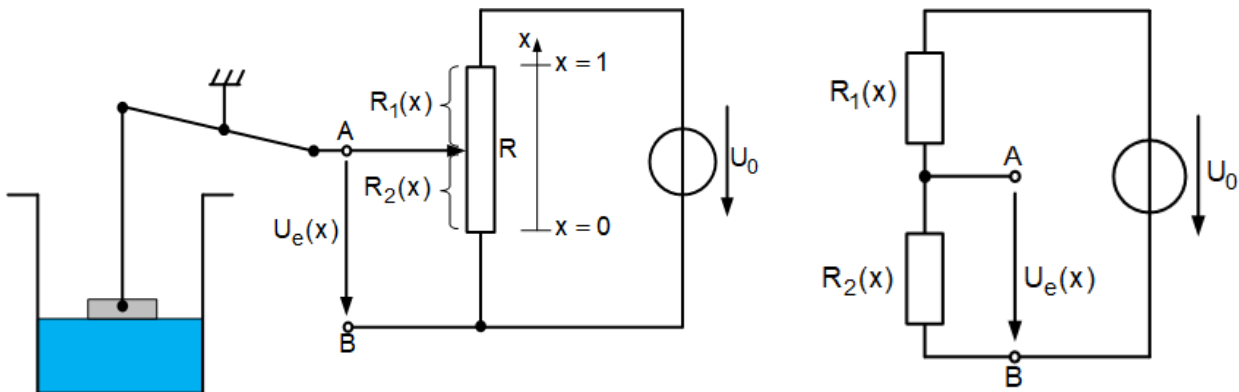


Bild 5.1: *Links:* Prinzip des Füllstandumsetzers mit Schwimmer, Hebel, Potentiometer und dem Ausgangssignal $U_e(x)$. *Rechts:* Das Ersatzschaltbild der Füllstandumsetzung als Spannungsteiler.

Die Signalspannung $U_e(x)$ wird von einer nachgeschalteten Elektronik mit zwei Operationsverstärkerschaltungen weiterverarbeitet (siehe Bild 5.2).

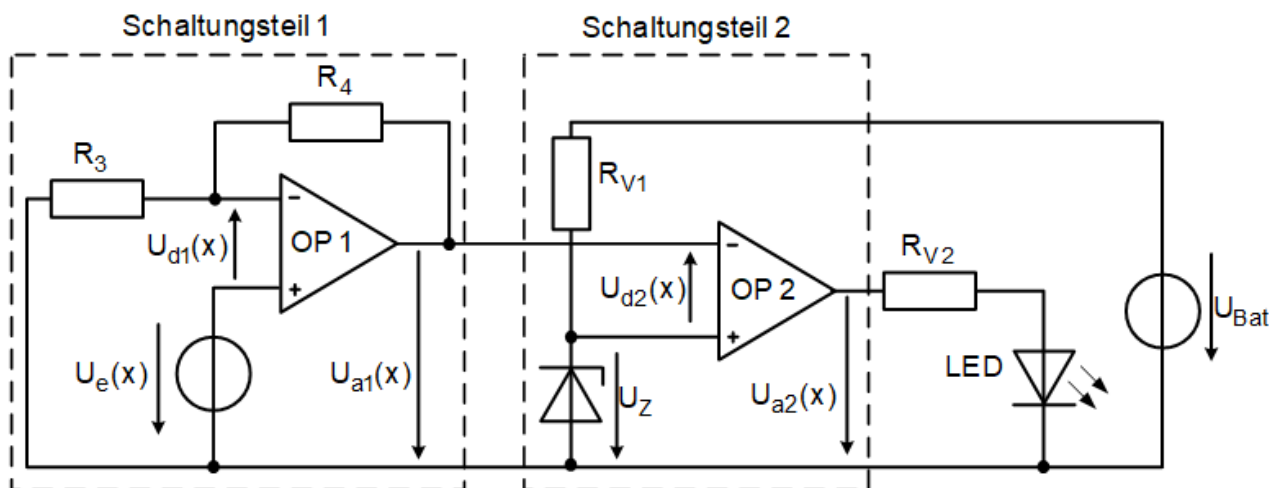


Bild 5.2: OP-Schaltungen zur Weiterverarbeitung der Signalspannung $U_e(x)$.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Betriebsspannung des Füllstandumsetzers	$U_0 = 10 \text{ V}$
Batteriespannung	$U_{\text{Bat}} = 15 \text{ V}$
Spannung an der Zenerdiode (konstant!)	$U_Z = U_{Z0} = 9,7 \text{ V}$
Widerstand	$R_4 = 220 \text{ k}\Omega$

x ist die Position des Schleifkontaktes A des Potentiometers – siehe Bild 5.1.

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannungen der Operationsverstärker von $\pm 15 \text{ V}$ sind im Bild 5.2 nicht eingezeichnet.
- Die Zenerdiode darf als ideal betrachtet werden (d. h. $U_Z = U_{Z0} = \text{konstant}$).
- Die Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für die OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Füllstandsignal $U_e(x)$ (5 Punkte)

- a) Geben Sie die Widerstände $R_1(x)$ und $R_2(x)$ in Abhängigkeit von R und x an.
Hinweis: Für R wird im Folgenden kein konkreter Wert benötigt.
- b) Geben Sie die Spannung $U_e(x)$ in Abhängigkeit von U_0 und x an.

Aufgabe 5.2 OP-Schaltungen (15 Punkte)

- a) Verständnisfragen:
- Um welche OP-Grundsaltungen handelt es sich in den beiden Schaltungsteilen?
 - Welchen Zweck erfüllt die Zenerdiode und wozu dient R_{V1} ?
 - Welche Spannungswerte kann die Spannung $U_{a2}(x)$ annehmen?
- b) Geben Sie die Spannung $U_{d2}(x)$ in Abhängigkeit von U_Z und $U_{a1}(x)$ an.
Bei welchem Wert von $U_{a1}(x)$ liegt die Schaltschwelle des OP2?
- c) Bestimmen Sie den Widerstand R_3 , sodass für $x = 0,1$ die Schaltschwelle des OP2 erreicht wird.
- d) Für welche Werte von x leuchtet die LED?

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine (20 Punkte)

In Abbildung 6-1 ist ein Antriebssystem für ein Elektrofahrzeug dargestellt. Der Antrieb besteht aus einer permanentmagneterregten Gleichstrommaschine (GM).

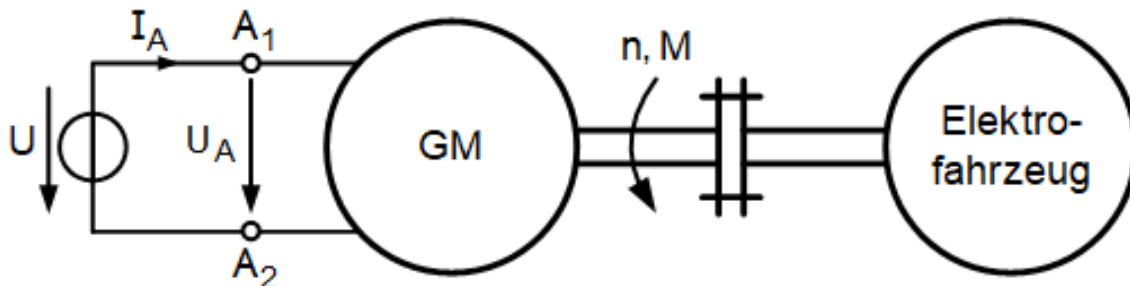


Abbildung 6-1: Permanentmagneterregte Gleichstrommaschine zum Antrieb eines Elektrofahrzeuges.

Vom Antriebssystem sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung: $U = 0 \text{ V} \dots 400 \text{ V}$ variabel einstellbar

Ankernennspannung: $U_{AN} = 400 \text{ V}$

Ankernennstrom: $I_{AN} = 100 \text{ A}$

Nennleistung: $P_N = 38 \text{ kW}$ (mech. Leistung)

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

Annahmen:

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

Aufgabe 6.1 Ersatzschaltbild des Gleichstrommotors (3 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der Gleichstrommaschine mit Zählpfeilen und Bezeichner für sämtliche Ströme und Spannungen.
- b) Weshalb darf die Ankerinduktivität L_A vernachlässigt werden?

Aufgabe 6.2 Größen bei Nennbetrieb (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie die von der Maschine aufgenommene elektrische Leistung $P_{el,N}$, die Verlustleistung $P_{V,N}$, den Wirkungsgrad η_N , die induzierte Spannung $U_{i,N}$ und das Drehmoment M_N im Nennbetrieb.
- b) Wie groß ist der Ankerwiderstand R_A ?
- c) Berechnen Sie die Konstante $c \cdot \Phi$ in mVs.

Aufgabe 6.3 Anlauf bzw. Stillstand (4 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Ankerstrom $I_{A,St}$, der bei Ankernennspannung im Stillstand (d. h. $n = 0 \text{ min}^{-1}$) fließen würde. Ist dieser Anlaufstrom zulässig (kurze Begründung)?
- b) Wie groß ist das zu $I_{A,St}$ gehörige Stillstandmoment M_{St} ?
- c) Wie groß muss die Ankerspannung U_A eingestellt werden, damit der Ankerstrom I_A im Stillstand den doppelten Ankernennstrom nicht überschreitet?

Aufgabe 6.4 Kurzzeitiger Überlastbetrieb (6 Punkte)

- a) Geben Sie die mechanische Leistung P_{mech} allgemein als Funktion der Ankerspannung U_A und dem Ankerstrom I_A an.
- b) Berechnen Sie den Ankerstrom I_A , wenn bei $U_A = U_{AN}$ der Maschine kurzzeitig die 1,1-fache Nennleistung abverlangt wird.