

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

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

13.09.2018

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.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) und darin die Lösungsblätter und ggf. noch zusätzlich beschriebene Blätter ab.
- Die Aufgabenblätter selbst bitte nicht mit abgeben.

Aufgabe 1: Gleichstrom **(20 Punkte)**

In Abbildung 1-1 ist ein Gleichstromnetzwerk aus ohmschen Widerständen, einer Stromquelle und einer Spannungsquelle gegeben.

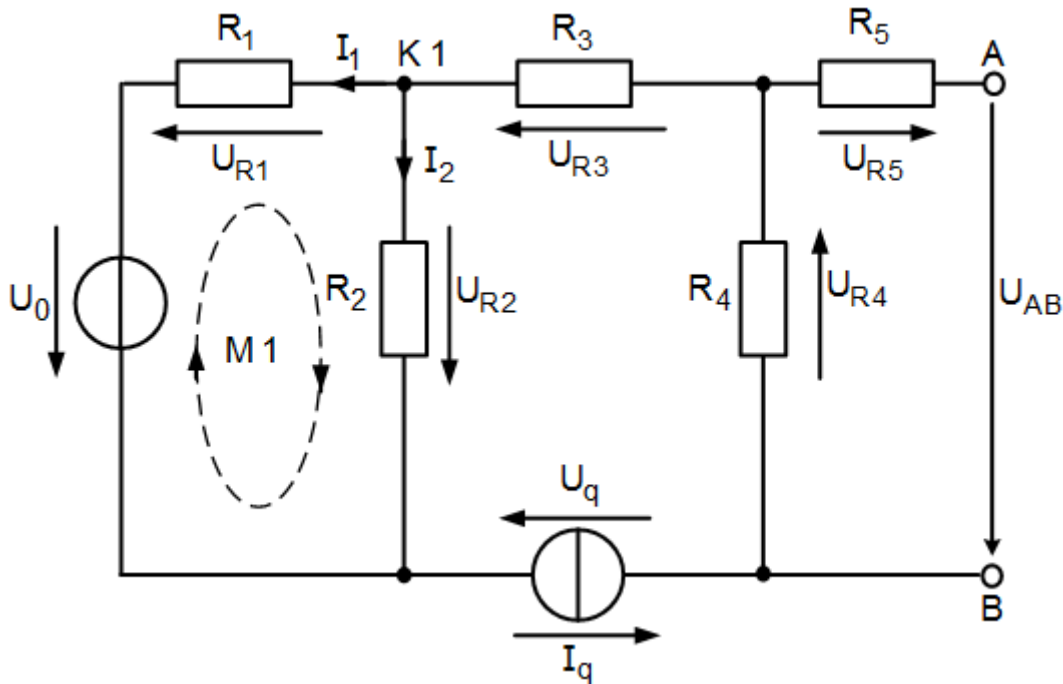


Abbildung 1-1: Gleichstromnetzwerk mit Strom- und Spannungsquelle

Rechnen Sie allgemein (d. h. ohne Zahlenwerte) mit I_q , U_0 , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 und R_5 und stellen Sie alle zu berechnenden Größen in Abhängigkeit dieser gegebenen Größen dar.

Die Klemmen A-B sind stets offen, d.h. unbelastet (Leerlauf).

Aufgabe 1.1: Ersatzspannungsquelle (6 Punkte)

a) Berechnen Sie

- die Spannung U_{AB} .
- den Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.

b) Zeichnen Sie für die in Abbildung 1-1 gegebene Schaltung das Ersatzschaltbild für die Ersatzspannungsquelle und führen Sie für sämtliche Größen eindeutige Bezeichner ein.

Aufgabe 1.2: Ströme, Spannungen, Leistungen (14 Punkte)

a) Stellen Sie für den Knoten K 1 die Knotengleichung und für die Masche M 1 die Maschengleichung auf und berechnen Sie mithilfe der beiden Gleichungen die unbekannten Ströme I_1 und I_2 .

b) Berechnen Sie die Spannung U_0 ($U_0 \neq 0 \text{ V}$), sodass die Spannungsquelle weder elektrische Leistung aufnimmt noch elektrische Leistung abgibt.

c) Berechnen Sie für den unter Teilaufgabe b) berechneten Fall die von der Stromquelle gelieferte elektrische Leistung P_q und die Spannung U_q .

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

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild eines Gleichstromnetzwerkes mit zwei Spannungsquellen, einer Stromquelle und 4 Widerständen gegeben.

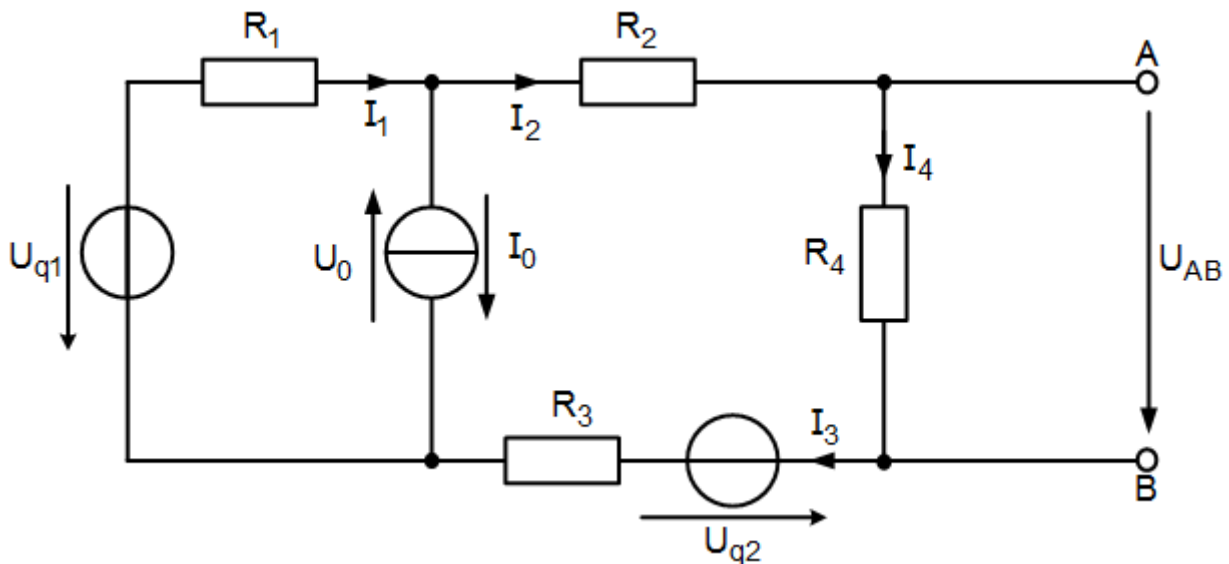


Abbildung 2-1: Gleichstromnetzwerk mit drei Quellen

Rechnen Sie allgemein (d. h. ohne Zahlenwerte) mit U_{q1} , U_{q2} , I_0 , R_1 , R_2 , R_3 , und R_4 und stellen Sie alle zu berechnenden Größen in Abhängigkeit dieser gegebenen Größen dar.

Die Klemmen A-B sind stets offen, d.h. unbelastet (Leerlauf).

Aufgabe 2.1: Allgemeines (4 Punkte)

- a) Erklären Sie, weshalb die Schaltungsanalyse mit Hilfe des Überlagerungssatzes durchgeführt werden darf.
- b) Erklären Sie, wie die einzelnen Quellen bei der Anwendung des Überlagerungssatzes behandelt werden müssen.
- c) Weshalb darf die Spannung U_{AB} aus Teilspannungen überlagert werden?

Aufgabe 2.2: Spannung U_{AB} (9 Punkte)

- a) Ergänzen Sie das im Lösungsblatt gegebene Ersatzschaltbild (auch Zählpfeile und Bezeichner) für die in Abbildung 2-1 gegebene Schaltung für den Fall, dass nur die Spannungsquelle U_{q1} wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB1} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von U_{q1} ergibt.
- b) Ergänzen Sie das im Lösungsblatt gegebene Ersatzschaltbild (auch Zählpfeile und Bezeichner) für die in Abbildung 2-1 gegebene Schaltung für den Fall, dass nur die Spannungsquelle U_{q2} wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB2} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von U_{q2} ergibt.
- c) Ergänzen Sie das im Lösungsblatt gegebene Ersatzschaltbild (auch Zählpfeile und Bezeichner) für die in Abbildung 2-1 gegebene Schaltung für den Fall, dass nur die Stromquelle I_0 wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB3} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von I_0 ergibt.
- d) Geben Sie die Spannung U_{AB} an.

Aufgabe 2.3: Spannungen, Ströme, Leistungen (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie I_0 (in Abhängigkeit von U_{q1} , U_{q2} , R_1 , ... R_4), sodass die Spannung $U_{AB} = 0 \text{ V}$ wird.
- b) Geben Sie für den unter a) berechneten Fall ($U_{AB} = 0 \text{ V}$) die Ströme I_1 , I_2 , I_3 und I_4 sowie die Spannung U_0 (in Abhängigkeit von U_{q1} , U_{q2} , R_1 , ... R_4) an und berechnen Sie die in den Widerständen umgesetzten Leistungen.

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

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Wechselstromschaltung gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben.

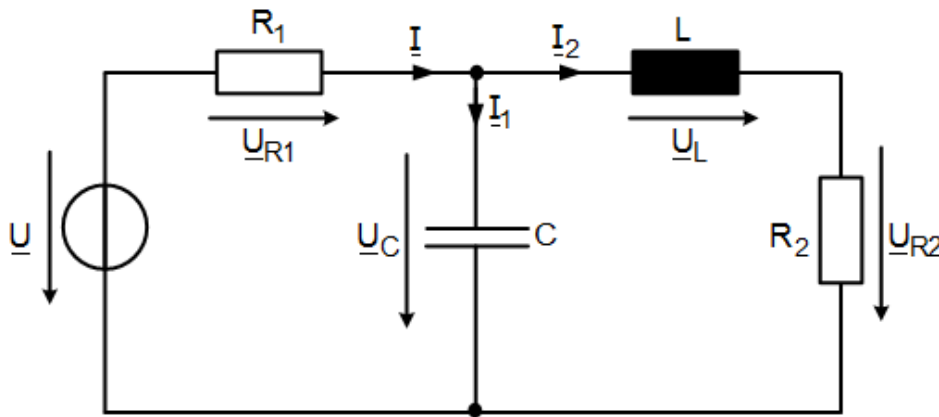


Abbildung 3-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung:	$\underline{U} = 100 \text{ V} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$
Ohm'sche Widerstände:	$R_1 = R_2 = 40 \, \Omega$
Blindwiderstand der Spule:	$X_L = 30 \, \Omega$
Blindwiderstand des Kondensators:	$X_C = 20 \, \Omega$

Aufgabe 3.1: Impedanzen (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Reihenschaltung aus L und R_2 und geben Sie sie in kartesischer Form und in Exponentialform an.
- b) Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{RLC}$ des Schaltungsteils bestehend aus C, L und R_2 und geben Sie sie in kartesischer Form und in Exponentialform an.
- c) Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}$ für die gesamte Schaltung und geben Sie sie in kartesischer Form und in Exponentialform an.

Aufgabe 3.2: Strom und Leistungen (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}$ in kartesischer Form und in Exponentialform.
- b) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P und die Blindleistung Q.
Handelt es sich um induktive oder kapazitive Blindleistung (kurze Begründung)?

Aufgabe 3.3: Maßstäbliches Zeigerdiagramm (8 Punkte)

Im Folgenden wurde die Spannung $\underline{U}$ so verändert, dass nun gilt:
 $I_2 = 2 \text{ A} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$.

- a) Bestimmen Sie anhand eines maßstäblichen Zeigerdiagrammes mit den Maßstäben $m_U = \frac{10 \text{ V}}{\text{cm}}$ und $m_I = \frac{1 \text{ A}}{\text{cm}}$ den Strom $\underline{I}$ in kartesischer Form.

Hinweis: Beginnen Sie die Konstruktion des Zeigerdiagrammes mit dem Bezugszeiger $\underline{I}_2$ in horizontaler Lage.

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

In Abbildung 4-1 ist eine Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor gegeben.

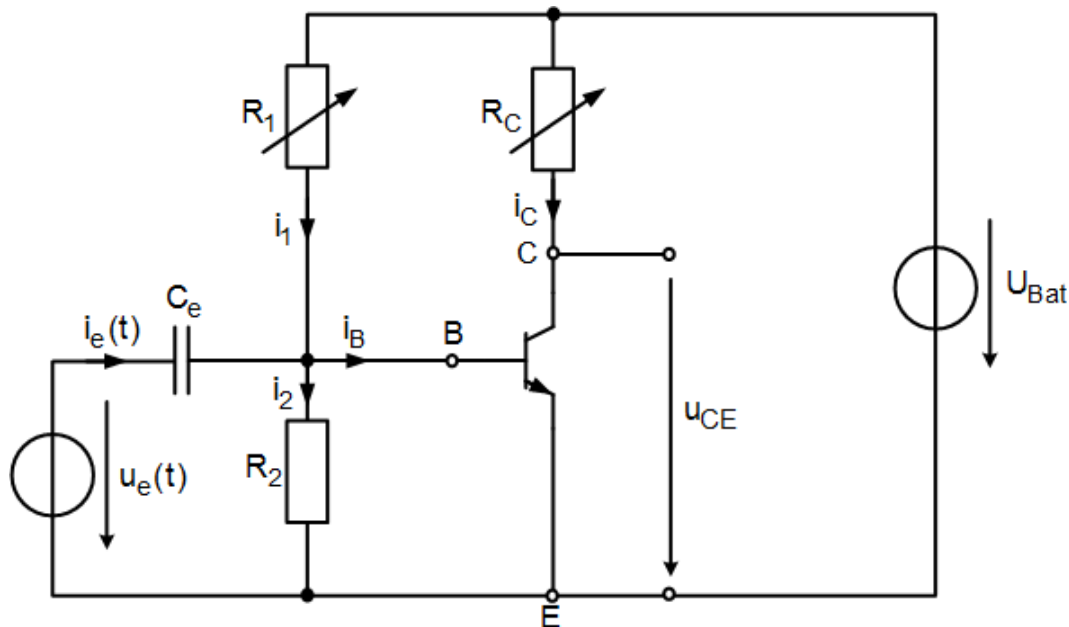


Abbildung 4-1: Schaltung mit npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Widerstand:	$R_2 = 15 \text{ k}\Omega$
Signalspannung:	$u_e(t) = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega \cdot t)$

npn-Bipolartransistor:

Stromverstärkungen:	$B = \beta = 300$
Basis-Emitter-Widerstand:	$R_{\text{BE}} = 200 \Omega$
Schleusenspannung der Basis-Emitter-Diode:	$U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$
Kollektorstrom im Arbeitspunkt:	$I_{\text{C(AP)}} = 30 \text{ mA}$

Vernachlässigungen:

- R_{CE} darf vernachlässigt werden, d. h., $R_{\text{CE}} \rightarrow \infty \Omega$
- Der Blindwiderstand des Kondensators C_e darf bei der Wechselstrombetrachtung vernachlässigt werden.

Bei den Größen $u_e(t)$, $u_{CE}(t)$ und $i_e(t)$ handelt es sich um Wechselgrößen.
Bei den anderen in Kleinschreibweise angegebenen Spannungen (z.B. u_{CE}) und Strömen (z.B. i_C) handelt es sich um Mischgrößen.

Aufgabe 4.1: Allgemeinverständnis (4 Punkte)

- In welcher Grundschialtung wird hier der Transistor betrieben?
- Welche Funktion hat die in Abbildung 4-1 gegebene Schaltung?
- Zu welchem Zweck werden die Widerstände R_1 , R_2 und R_C benötigt?
- Wozu benötigt man den Kondensator C_e ?

Aufgabe 4.2: Arbeitspunkteinstellung (9 Punkte)

- Auf welchen Wert muss R_1 eingestellt werden, damit im Kollektorkreis der geforderte Kollektorstrom $I_{C(AP)}$ fließt?

Durch eine Messung wird bei der angelegten Spannung $u_e(t)$ die Kollektor-Emitter-Spannung $u_{CE} = 8 \text{ V} - 2 \text{ V} \cdot \sin(\omega \cdot t)$ ermittelt.

- Auf welchen Wert wurde R_C eingestellt?
Begründen Sie kurz, weshalb der eingestellte Arbeitspunkt nicht optimal ist.

Die Schaltung wird im Folgenden mit $R_C = 200 \Omega$ und $R_1 = 80 \text{ k}\Omega$ betrieben.

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (7 Punkte)

- Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild und berechnen Sie
 - die Amplitude $\hat{i}_B$ des Wechselanteils des Basisstromes i_B .
 - die Amplitude $\hat{i}_e$ des Wechselanteils des Stromes $i_e(t)$.
 - die Amplitude $\hat{u}_{CE}$ des Wechselanteiles der Spannung u_{CE} .
 - die Spannungsverstärkung v_U .

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

In Abbildung 5-1 ist eine Schaltung mit zwei idealen Operationsverstärker (OP 1 und OP 2), der Gleichspannungsquelle U_{Bat} , einer Signalspannung $u_e(t)$ vier ohmschen Widerständen und einer Leuchtdiode (LED) dargestellt.

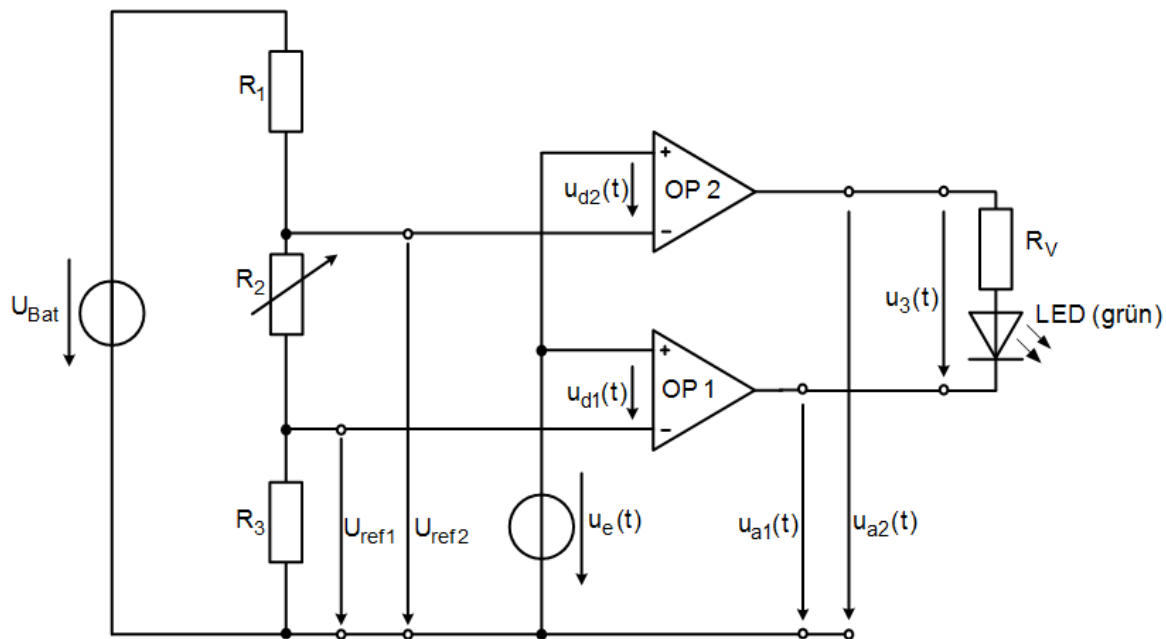


Abbildung 5-1: Schaltung mit idealen Operationsverstärker

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

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

Signalspannung: $u_e(t) = 2 \frac{\text{V}}{\text{s}} \cdot t - 10 \text{ V}$

Widerstände: $R_1 = R_3 = 20 \text{ k}\Omega$ R_2 variabel

Annahmen:

- Die Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung $\pm U_V = \pm 15 \text{ V}$ der Operationsverstärker ist in Abbildung 5-1 nicht eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundsaltungen dürfen ohne erneute Herleitung verwendet werden.

Aufgabe 5.1: Verständnisfragen (3 Punkte)

- a) In welchen OP-Grundsaltungen werden die Operationsverstärker OP 1 und OP 2 jeweils betrieben? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.
- b) Wie nennt man die Schaltung, bestehend aus $U_{\text{Bat}} - R_1 - R_2 - R_3$ und welchen Zweck erfüllt dieser Schaltungsteil?

Aufgabe 5.2: Spannungen (14 Punkte)

- a) Geben Sie
- die Referenzspannungen U_{ref1} und U_{ref2} jeweils in Abhängigkeit von U_{Bat} , R_1 , R_2 und R_3 an.
 - die Differenzspannung $u_{d1}(t)$ in Abhängigkeit von $u_e(t)$ und U_{ref1} an.
 - die Differenzspannung $u_{d2}(t)$ in Abhängigkeit von $u_e(t)$ und U_{ref2} an.
- b) Berechnen Sie den Widerstandswert von R_2 in $k\Omega$, sodass die Referenzspannung $U_{\text{ref1}} = 2 \text{ V}$ beträgt.
Wie groß wird die Referenzspannung U_{ref2} ?
- c) Tragen Sie die zeitlichen Verläufe für $u_e(t)$, $U_{\text{ref,1}}$, $U_{\text{ref,2}}$, $u_{a1}(t)$, $u_{a2}(t)$ und $u_3(t)$ in das vorbereitete Diagramm ein und lesen Sie die Zeitpunkte t_1 und t_2 zu denen die Spannungen $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$ von -15 V auf $+15 \text{ V}$ springen ab.

Aufgabe 5.3: Anzeige mit einer LED (3 Punkte)

- a) Wofür wird der Vorwiderstand R_V benötigt?
- b) Die LED (grün) soll leuchten wenn $U_{\text{ref1}} < u_e(t) < U_{\text{ref2}}$.
Begründen Sie, weshalb gemäß der Schaltung in Abbildung 5-1 die LED diese Funktion nicht erfüllt.
Was muss an der Schaltung geändert werden, damit die gewünschte Funktion erfüllt wird?

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine **(20 Punkte)**

In Abbildung 6-1 ist ein Antriebssystem für ein batteriebetriebenes Elektrowerkzeug dargestellt. Der Antrieb besteht aus einer permanentmagneterregten Gleichstrommaschine GM, die mittels eines variablen Vorwiderstandes R_V aus einer Batterie mit der konstanten Batteriespannung U_{Bat} versorgt werden kann.

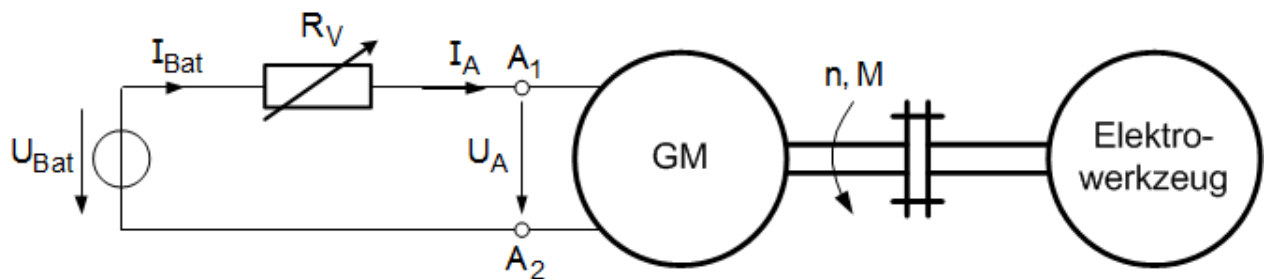


Abbildung 6-1: Übersichtsschaltbild des Antriebssystems

Für die Batterie gilt:

Batteriespannung:

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

Von der GM sind folgende Daten bekannt:

Nennspannung

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

Nennstrom

$$I_{A,N} = 10 \text{ A}$$

Nenndrehzahl

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

Motorwirkungsgrad im Nennbetrieb

$$\eta_{M,N} = 80 \%$$

Vereinfachungen:

- Die Batterie darf als ideale Spannungsquelle betrachtet werden.
- Außer den Kupferverlusten in der Ankerwicklung dürfen alle weiteren Motorverluste vernachlässigt werden.
- Reibungsverluste werden vernachlässigt.
- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.

Aufgabe 6.1: Verständnisfragen (3 Punkte)

- a) Zu welchem Zweck wird der Vorwiderstand R_V verwendet?
- b) Welchen Nachteil hinsichtlich des Gesamtwirkungsgrades des Antriebssystems bringt die Verwendung eines Vorwiderstandes R_V mit sich?

Aufgabe 6.2: Nennbetrieb der GM (9 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Nennbetrieb (Index „N“) des Motors:

- Die aufgenommene elektrische Leistung $P_{el,N}$ in W.
- Die abgegebene mechanische Leistung $P_{mech,N}$ in W.
- Die Motorverluste $P_{V,N}$ in W.
- Den Wicklungswiderstand R_A in Ω .
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$ in V.
- Das Nenndrehmoment M_N in Nm.
- Die Maschinenkonstante $(c \cdot \Phi)$ in mVs.
- Die Leerlaufdrehzahl $n_{0,N}$ in min^{-1} .

Im Folgenden soll der Arbeitspunkt AP 1 (Index „AP1“) mit $n_{AP1} = 3.000 \text{ min}^{-1}$ und $M_{AP1} = 0,8 \cdot M_N$ eingestellt werden.

Aufgabe 6.3: Arbeitspunkt AP 1 (8 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Arbeitspunkt AP 1:

- Die induzierte Spannung $U_{i,AP1}$ in V.
- Die vom Motor abgegebene mechanische Leistung $P_{mech,AP1}$ in W.
- Die Spannung $U_{A,AP1}$ in V.
- Den Wert des Vorwiderstandes $R_{V,AP1}$ in Ω .
- Den Wirkungsgrad η_{AP1} des Antriebssystems.