

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

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

03.03.2016

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.
- Bitte kennzeichnen Sie in Ihrer schriftlichen Ausarbeitung, wenn Sie Ihre Rechnung mit Ersatzwerten (sofern angegeben) weiterführen.
- 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.
- Sämtliche Ergebnisse müssen soweit wie möglich vereinfacht werden.
- Geben Sie den ausgefüllten Umschlagbogen (Name, Matrikelnummer, Studiengang) mit innenliegenden Lösungsblättern und ggf. noch zusätzlich beschriebenen Blättern ab. Die Aufgabenblätter selbst bitte nicht mit abgeben

Aufgabe 1: Gleichstromnetzwerke (20 Punkte)

In Abbildung 1-1 ist das Ersatzschaltbild eines Spannungsteilers aus zwei ohmschen Widerständen gegeben. Über den Schalter S kann ein Lastwiderstand zugeschaltet werden. Die Schaltung wird an einer Gleichspannungsquelle mit der Spannung U_0 betrieben.

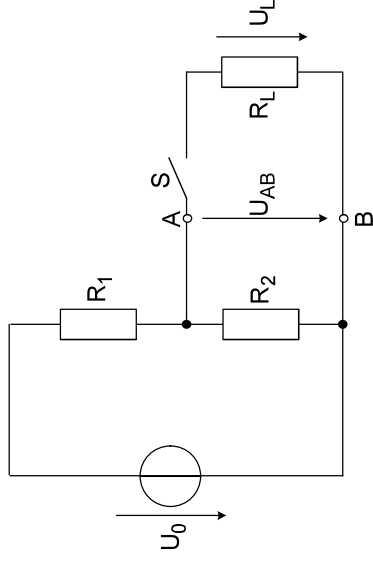


Abbildung 1-1: Ersatzschaltbild des Spannungsteilers

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle: $U_0 = 40 \text{ V}$

Ohm'scher Lastwiderstand: $R_L = 1000 \Omega$

Aufgabe 1.1: Ersatzspannungsquelle (5 Punkte)

Der Schalter S ist zunächst offen, sodass sich der Spannungsteiler im Leerlauf (zusätzlicher Index „LL“) befindet, d.h. es fließt kein Strom durch den Lastwiderstand.

- Berechnen Sie, wie groß der Widerstand R_1 in Abhängigkeit des Widerstandes R_2 sein muss, damit die Leerlaufspannung $U_{AB,LL} = 10 \text{ V}$ beträgt.
- Berechnen Sie den Innenwiderstand R_i bezüglich der Klemmen A-B unter Verwendung des obigen Ergebnisses in Abhängigkeit von R_2 , d.h. $R_i = f(R_2)$.
- Zeichnen Sie die Schaltung aus Abbildung 1-1 erneut auf, indem Sie den Schaltungsteil links der Klemmen A-B durch die Ersatzspannungsquelle mit der Leerlaufspannung U_q und dem Innenwiderstand $R_i = f(R_2)$ ersetzen.

Aufgabe 1.2: Dimensionierung des Spannungsteilers (6 Punkte)

Der Schalter S ist nun geschlossen, d.h. der Spannungsteiler wird an den Klemmen A-B mit dem Lastwiderstand R_L belastet.

- Begründen Sie kurz, weshalb bei Belastung die Spannung U_{AB} gegenüber der Leerlaufspannung absinkt, d.h. kleiner wird.
- Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 (in Ω) unter der Maßgabe, dass bei Belastung die Spannung U_{AB} am Lastwiderstand um 2% vom Leerlaufwert $U_{AB,LL}$ absinken darf.
- Beschreiben Sie kurz, welchen Nachteil der Spannungsteiler aus Abbildung 1-1 im Hinblick auf hohe geforderte Spannungsstabilität bei kleinem Lastwiderstand besitzt.

Hinweis: Denken Sie dabei an die Größe von R_1 und R_2 , den damit verbundenen Strom durch R_1 und R_2 im Leerlauf sowie die dabei entstehenden Verluste.

Im Folgenden soll nun die Schaltung in Abbildung 1-2 betrachtet werden. Das Gleichstromnetzwerk besteht aus einer Spannungsquelle U_0 , einer Stromquelle I_q sowie vier ohmschen Widerständen.

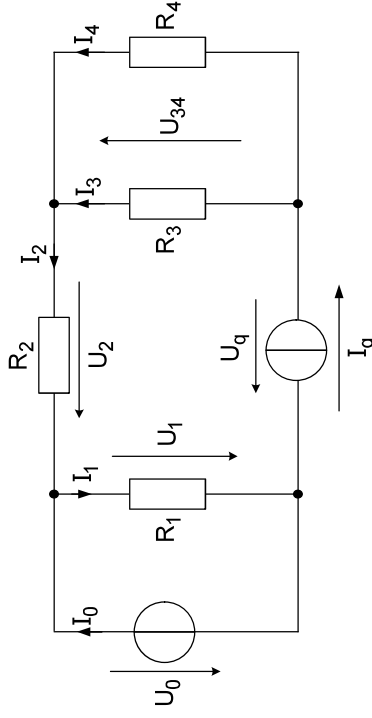


Abbildung 1-2: Ersatzschaltbild des Gleichstromnetzwerks

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung der Spannungsquelle: $U_0 = 40 \text{ V}$

Strom der Stromquelle: $I_q = 2 \text{ A}$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 10 \Omega$

$R_2 = R_3 = 20 \Omega$

$R_4 = 60 \Omega$

Aufgabe 1.3: Ströme, Spannungen, Leistung (9 Punkte)

a) Bestimmen Sie alle durch Bezeichner und Zählpfeile in Abbildung 1-2 eingetragenen Ströme und Spannungen.

Hinweis: Lösen Sie die Aufgabe durch einfache Überlegungen ohne die Verwendung des Überlagerungssatzes und ohne Aufstellen und Lösen eines Gleichungssystems!

b) Bestimmen Sie die Verlustleistung P_{R1} im Widerstand R_1 .

c) Berechnen Sie, wie groß die Spannung U_0 gewählt werden müsste, damit der Strom $I_0 = 0 \text{ A}$ wird.

d) Berechnen Sie, wie groß die Spannung U_0 gewählt werden müsste, damit die Spannung $U_q = 0 \text{ V}$ wird.

e) Was bedeutet $I_0 = 0 \text{ A}$ bzw. $U_q = 0 \text{ V}$ in Bezug auf die Leistungsabgabe bzw. Leistungsaufnahme der Spannungs- bzw. Stromquelle?

Aufgabe 2: Zeigerdiagramm und Wechselstromrechnung (20 Punkte)

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und drei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle mit dem Spannungseffektivwert U und der Frequenz f betrieben.

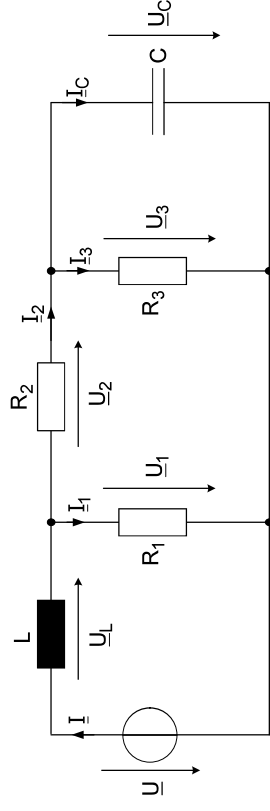


Abbildung 2-1: Schaltung mit Spule, Widerständen und Kondensator an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Kondensatorspannung: $\underline{U}_C = \underline{U}_3 = 50 \text{ V} \cdot e^{j0^\circ}$

Frequenz der sinusförmigen Größen: $f = 50 \text{ Hz}$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 10 \Omega$

$R_2 = 20 \Omega$

$R_3 = 25 \Omega$

Blindwiderstand der Spule: $X_L = 10 \Omega$

Blindwiderstand des Kondensators: $X_C = 10 \Omega$

Aufgabe 2.1: Zeigerdiagramm (7 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches alle die in Abbildung 2-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Ströme und Spannungen enthält, für den Fall, dass Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$ in Phase sind.

Hinweis: Die Phasengleichheit zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$ können Sie durch die Anpassung der frei wählbaren Zeigerlänge des Spannungszeigers $\underline{U}_L$ in einem der letzten Konstruktionsschritte erzielen.

- b) Was bedeutet die Phasengleichheit zwischen Strom $\underline{I}$ und Spannung $\underline{U}$ bezüglich der Blindleistungsaufnahme der Schaltung?

Aufgabe 2.2: Ströme und Spannungen (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie sämtliche Ströme sowie Spannungen und geben Sie die komplexen Größen (Ergebnisse) in der kartesischen Form an.

Aufgabe 2.3: Schein-, Wirk- und Blindleistung (6 Punkte)

Im Folgenden wird angenommen: $\underline{U} = (-50 \text{ V} + j \cdot 100 \text{ V})$

$$\underline{I} = (10 \text{ A} + j \cdot 20 \text{ A})$$

- a) Bestimmen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$, die Wirkleistung P sowie die Blindleistung Q , welche die Spannungsquelle $\underline{U}$ bereitstellen muss.
- b) Wirkt die Schaltung induktiv oder kapazitiv (kurze Begründung)?
- c) Durch welchen Zweipol (R , L oder C) können Sie die Blindleistung aus a) kompensieren (kurze Begründung)?

Aufgabe 3: Einschwingvorgänge (20 Punkte)

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule und drei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer Gleichspannungsquelle U betrieben. Infolge von Schaltthandlungen mittels des Schalters S kommt es zu Einschwingvorgängen.

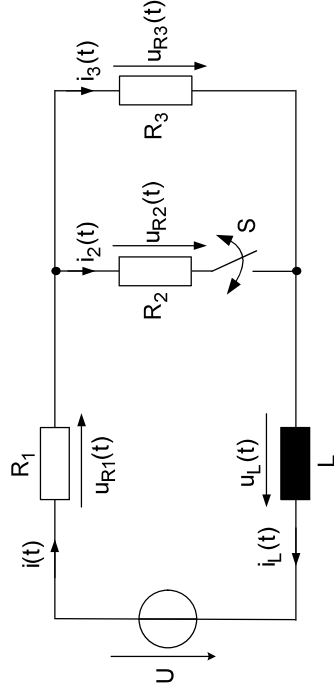


Abbildung 3-1: Schaltung mit Spule und ohmschen Widerständen zur Untersuchung von Einschwingvorgängen infolge von Schaltthandlungen

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung: $U = 40 \text{ V}$

Ohm'sche Widerstände: $R_1 = 10 \Omega$

$R_2 = 15 \Omega$

$R_3 = 30 \Omega$

Induktivität der Spule: $L = 100 \text{ mH}$

Hinweis: Fassen Sie bei geschlossenem Schalter S die Widerstände R_2 und R_3 zunächst zu einem Ersatzwiderstand R_{23} zusammen.

Aufgabe 3.1: Allgemeine Grundlagen (4 Punkte)

- Erklären Sie kurz, weshalb es in dieser Schaltung durch Schaltthandlungen zu Einschwingvorgängen kommt und welcher Zweipol dafür verantwortlich ist.
- Wie lautet das Grundgesetz für diesen Zweipol?
- Was bedeutet der Begriff „Energie kennzeichnende Größe“ und welche Größe ist in dieser Schaltung Energie kennzeichnend?

Aufgabe 3.2: Stationäre Ströme und Spannungen (8 Punkte)

- Berechnen Sie die Werte für sämtliche in Abbildung 3-1 durch Zählpeile und Bezeichner eingetragene Ströme für den Fall, dass der Schalter S bereits unendlich lange Zeit geöffnet war. Kennzeichnen Sie dies durch die Verwendung des zusätzlichen Index „stat1“, z.B. $i_{L,stat1}$ für $i_L(t)$.
- Berechnen Sie sämtliche in Abbildung 3-1 durch Zählpeile und Bezeichner eingetragene Ströme für den Fall, dass der Schalter S bereits unendlich lange Zeit geschlossen war. Kennzeichnen Sie dies durch die Verwendung des zusätzlichen Index „stat2“, z.B. $i_{L,stat2}$ für $i_L(t)$.

Aufgabe 3.3: Differentialgleichung (DGL) I (4 Punkte)

Nun soll der Einschwingvorgang betrachtet werden, der abläuft, wenn der bis dahin unendlich lange geöffnete Schalter S wieder geschlossen wird.

- Stellen Sie die für den Einschwingvorgang geltende Differentialgleichung auf und bringen Sie sie in die Form

$$i_{L,stat2} = i_L(t) + \tau_1 \cdot \frac{di_L(t)}{dt} \quad (\text{d.h. der „Vorfaktor“ bei } i_L(t) \text{ ist } 1).$$

Lesen Sie aus der DGL die Zeitkonstante τ_1 ab und berechnen Sie den Wert in ms.

Aufgabe 3.4: Differentialgleichung (DGL) II (4 Punkte)

Nun soll der Einschwingvorgang betrachtet werden, der abläuft, wenn der unendlich lange geschlossene Schalter S wieder geöffnet wird.

- a) Stellen Sie die für den Einschwingvorgang geltende Differentialgleichung auf und bringen Sie sie in die Form

$$i_L^{\text{stat1}} = i_L(t) + \tau_2 \cdot \frac{di_L(t)}{dt} \quad (\text{d.h. der „Vorfaktor“ bei } i_L(t) \text{ ist } 1) \text{ und}$$

lesen Sie aus der DGL die Zeitkonstante τ_2 ab und berechnen Sie den Wert in ms.

Die allgemeine Lösung für den Spulenstrom $i_L(t)$ lautet nun wie folgt:

$$i_L(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} + 1 \text{ A.}$$

Zum Schaltzeitpunkt $t = 0$ (Öffnen des Schalters) hatte der Spulenstrom den Wert $i_{L,\text{stat2}} = 2 \text{ A}$ (Anfangsbedingung).

- b) Berechnen Sie die Konstante k und geben Sie den Wert in Ampere (A) an.

Aufgabe 4: Bipolartransistor-Kleinsignalverstärker (20 Punkte)

In Abbildung 4-1 ist die Schaltung eines Kleinsignalverstärkers gegeben. Die Schaltung soll im Folgenden dimensioniert werden. Es wird die Abkürzung AP für Arbeitspunkt verwendet.

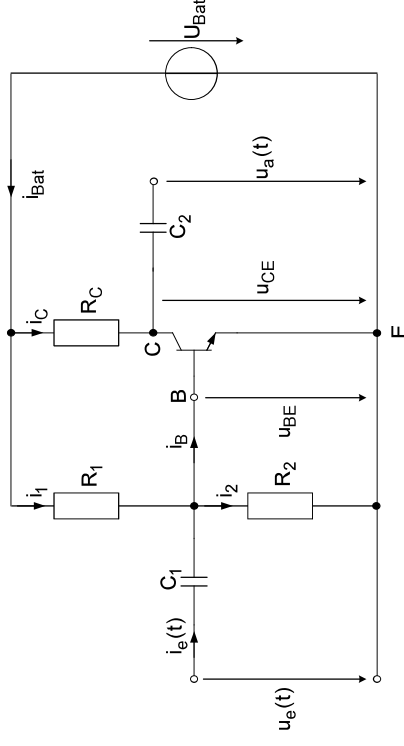


Abbildung 4-1: Schaltung eines Kleinsignalverstärkers mit einem npn - Bipolartransistor

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.

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. $i_1, i_2, i_B \dots$

Aufgabe 4.1: Arbeitspunkteinstellung - (11 Punkte)

- Erklären Sie kurz den Begriff Mischgröße.
- Weshalb wählt man im AP $U_{\text{CE,AP}} = 0,5 \cdot U_{\text{Bat}}$?
- Berechnen Sie den Widerstand R_C und den Gleichanteil $I_{\text{B,AP}}$ 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 $I_{2,\text{AP}}$ des Stromes i_2 das Zehnfache des Basisstromes $I_{\text{B,AP}}$ beträgt.

- Berechnen Sie die Gleichstromanteile $I_{2,\text{AP}}$ und $I_{1,\text{AP}}$ der Ströme i_2 und i_1 sowie die Widerstände R_1 und R_2 , sodass sich der geforderte AP einstellt.

- Wie groß ist der ohmsche Widerstand R_{BE} der Basis-Emitter-Strecke des Transistors?

Aufgabe 4.2: Transistor - Verlustleistung (3 Punkte)

- Weshalb darf die maximal zulässige Verlustleistung des Transistors nicht (dauerhaft) überschritten werden?
- 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 ohne Berücksichtigung von Wechselanteilen!

Aufgabe 4.3: Wechselstromverhalten (6 Punkte)

- a) Wozu werden die Kondensatoren C_1 und C_2 benötigt?
Könnten an gleicher Stelle statt Kondensatoren auch Spulen verwendet werden (kurze Begründung)?
- b) Zeichnen Sie für die Schaltung in Abbildung 4-1 das Wechselstromersatzschaltbild (R_{CE} kann vernachlässigt werden).
- c) Bis zu welcher Spannungsamplitude $\hat{u}_e$ der Eingangswechselspannung arbeitet die Verstärkerschaltung verzerrungsfrei, wenn die Wechselspannungsverstärkung $v_u = 200$ beträgt und angenommen wird, dass der Verstärker um den AP $U_{CE,AP} = 6\text{ V}$ symmetrisch zwischen $U_{CE} = 2\text{ V}$ und $U_{CE} = (U_{Bat} - 2\text{ V}) = 10\text{ V}$ angesteuert werden kann?

Aufgabe 5: Schaltung mit Operationsverstärker (20 Punkte)

In Abbildung 5-1 ist eine Schaltung mit zwei Operationsverstärkern (OPs) dargestellt. Die Funktion soll nachfolgend analysiert werden.

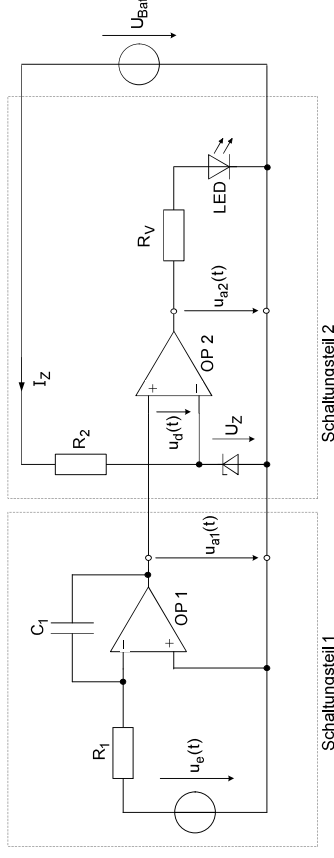


Abbildung 5-1: Schaltung mit zwei Operationsverstärkern

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Batteriespannung: $U_{\text{Bat}} = 20 \text{ V}$
 Ohm'scher Widerstand: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$
 Kondensator: $C_1 = 100 \text{ }\mu\text{F}$
 Zenerspannung an der Zenerdiode: $U_Z = 14,9 \text{ V}$

Annahmen:

- Die Operationsverstärker dürfen als ideal betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung der Operationsverstärker von $\pm 15 \text{ V}$ ist in Abbildung 5-1 nicht eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundschaltungen dürfen ohne erneute Herleitung verwendet werden.
- Der Kondensator sei zu Beginn der Betrachtung ungeladen!

Aufgabe 5.1: Schaltungsteil 1 (8 Punkte)

- a) Um welche Grundschialtung handelt es sich im Schaltungsteil 1?
- b) Geben Sie $u_{a1}(t)$ als Funktion von $u_e(t)$, R_1 und C_1 an und bestimmen Sie anhand der gegebenen Werte für R_1 und C_1 die auftretende Konstante (Wert mit Einheit).
- c) Skizzieren Sie im vorgefertigten Lösungsblatt (Zeitdiagramm) zur Aufgabe 5 den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_{a1}(t)$ für $0 < t < 20 \text{ s}$ unter der Maßgabe, dass die Spannung $u_e(t) = -1 \text{ V}$ beträgt.
- d) Was geschieht für $t > 15 \text{ s}$?
Erfüllt die Schaltung des Schaltungsteils 1 für $t > 15 \text{ s}$ noch ihre eigentliche Aufgabe (kurze Begründung)?

Aufgabe 5.2: Schaltungsteil 2 (8 Punkte)

- a) Um welche Grundschialtung handelt es sich im Schaltungsteil 2?
- b) Geben Sie die Gleichung für $u_d(t)$ in Abhängigkeit von $u_{a1}(t)$ und U_Z an.
- c) Welche Werte nehmen $u_d(t)$ und $u_{a2}(t)$ für $u_{a1}(t) > U_Z$ und für $u_{a1}(t) < U_Z$ an und wie ist der Zustand „leuchtet“ oder „leuchtet nicht“ der Leuchtdiode (LED)? - Füllen Sie die vorgefertigte Tabelle aus!
- d) Tragen Sie den entsprechenden Verlauf von U_Z und $u_{a2}(t)$ in das Lösungsblatt zur Aufgabe 5 (Zeitdiagramm) ein.

Aufgabe 5.3: Gesamtfunktion (4 Punkte)

- a) Welche „Überwachungsfunktion“ wird im Schaltungsteil 2 realisiert?
- b) Funktioniert diese „Überwachung“ auch für $u_e(t) = +1 \text{ V}$ (kurze Begründung)?

Aufgabe 6: PM-erregte Gleichstrommaschine (GM) (20 Punkte)

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

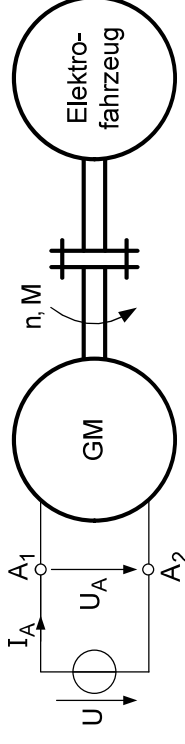


Abbildung 6-1: Permanentmagneterregte Gleichstrommaschine zum Antrieb eines Elektrofahrzeuges

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)

Nennzahl: $n_N = 4000 \text{ min}^{-1}$

Annahmen:

- Es werden stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt.
- Alle Verluste, bis auf die ohmschen Verluste im Ankerkreis der Gleichstrommaschine, dürfen 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 eingestellt werden, damit der Ankerstrom 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 von Ankerspannung U_A und 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.

Hinweis: Stellen Sie zunächst eine Gleichung auf, die den Zusammenhang zwischen mechanischer Leistung P_{mech} und induzierter Spannung U_i beinhaltet (ergibt eine quadratische Gleichung für U_i). Berechnen Sie daraus die induzierte Spannung U_i (technisch sinnvolle Lösung auswählen).