

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

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

09.03.2017

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.
- 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: Gleichstromnetzwerk (20 Punkte)

In Abbildung 1-1 ist ein Gleichstromnetzwerk, bestehend aus ohmschen Widerständen R , R_V und einer **Stromquelle mit dem Quellenstrom I_q** gegeben. Der Widerstand R_V kann über den Schalter S zu- bzw. abgeschaltet werden.

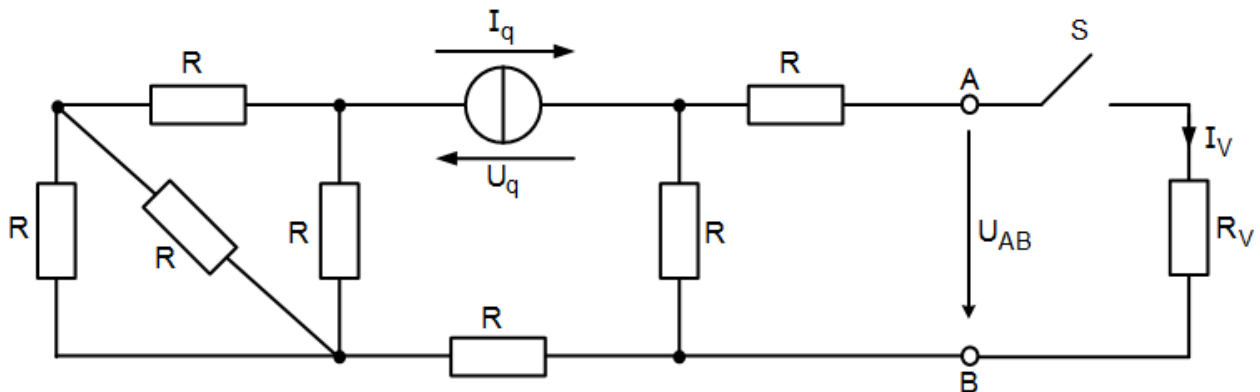


Abbildung 1-1: Gleichstromnetzwerk mit einer **Stromquelle**

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Quellenstrom der Stromquelle: $I_q = 5 \text{ A}$

Ohm'sche Widerstände: $R = 12 \Omega$

$R_V = 6 \Omega$

Zunächst sei der Schalter S **offen** (Leerlauf).

Aufgabe 1.1: Ersatzwiderstand, Leerlaufspannung (5 Punkte)

- a) Bestimmen Sie den Ersatzwiderstand R_{AB} bezüglich der Klemmen A-B.
- b) Bestimmen Sie die Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$.
- c) Zeichnen Sie die obige Schaltung aus Abbildung 1-1 in der Darstellung als Ersatzspannungsquelle (ESP) und geben Sie die Quellenspannung $U_{q,ESP}$ und den Innenwiderstand $R_{i,ESP}$ an.

Im Folgenden soll weiter mit der Schaltung in Abbildung 1-1 gerechnet werden! S ist weiterhin **offen**!

Aufgabe 1.2: Leistungen (10 Punkte)

- a) Fassen Sie die vier Widerstände links von der Stromquelle zu einem Ersatzwiderstand $R_{ers,1}$ zusammen.
- b) Berechnen Sie die Spannung U_q .
- c) Berechnen Sie die von der gesamten Schaltung (S ist offen!!) in Wärme umgewandelte Leistung $P_{ges,1}$.
- d) Prüfen Sie Ihr Ergebnis anhand einer Leistungsbilanz.

Nun sei der Schalter S **geschlossen**.

Aufgabe 1.3: Leistung in R_v (5 Punkte)

- a) Bestimmen Sie den Strom I_v , die Spannung U_{AB} und die Leistung P_v , die in R_v in Wärme umgesetzt wird.

Aufgabe 2: Komplexe Wechselstromrechnung **(20 Punkte)**

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einer Spule, einem Kondensator und zwei ohmschen Widerständen gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle betrieben.

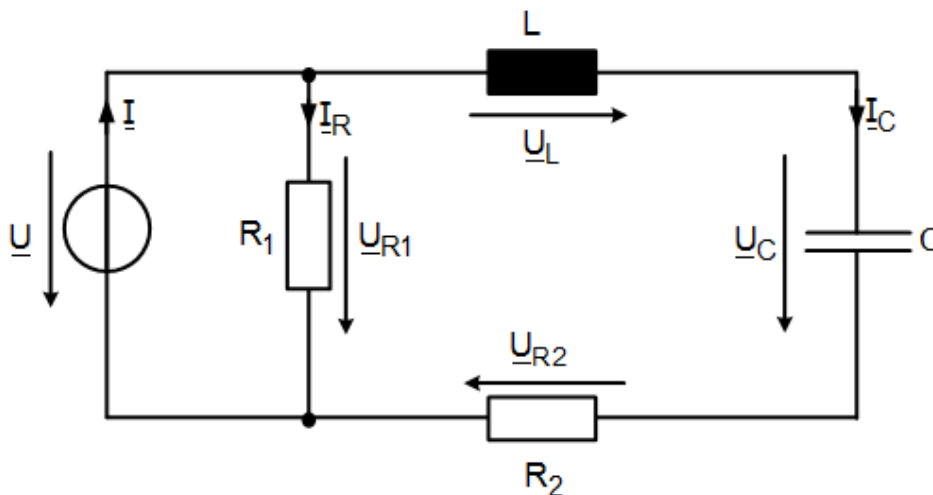


Abbildung 2-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungseffektivwert:	$U = 10 \text{ V}$
Nullphasenwinkel der Spannung:	$\varphi_U = 0^\circ$
Frequenz der sinusförmigen Spannung:	$f = 50 \text{ Hz}$
Ohm'sche Widerstände:	$R_1 = 5 \Omega$
	$R_2 = 3 \Omega$
Blindwiderstand der Spule:	$X_L = 12 \Omega$
Blindwiderstand des Kondensators:	$X_C = 8 \Omega$

Aufgabe 2.1: Zeigerdiagramm (6 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm in dem Sie $X_C < X_L$ berücksichtigen und welches alle die in Abbildung 2-1 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 ohmsch, ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv, induktiv oder kapazitiv wirkt (kurze Begründung!).

Aufgabe 2.2: Impedanz und Ströme (11 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{LCR}$ der Reihenschaltung von L, C und R_2 und geben Sie das Ergebnis in Exponentialform an.
- b) Berechnen Sie die Ströme (komplex in kartesischer Form):
- $\underline{I}_R$ und dessen Effektivwert I_R .
 - $\underline{I}_C$ und dessen Effektivwert I_C .
 - $\underline{I}$ und dessen Effektivwert I .
- c) Berechnen Sie die Scheinleistung $\underline{S}$ und daraus die Wirkleistung P sowie die Blindleistung Q und geben Sie an, ob es sich um induktive oder kapazitive Blindleistung handelt (kurze Begründung!).
- d) Berechnen Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q unter Verwendung der Effektivwerte der Ströme aus Frageteil b) und vergleichen Sie die Ergebnisse mit denen aus Frageteil c).

Aufgabe 2.3: Kompensation der Blindleistung (3 Punkte)

- a) Durch welchen zusätzlichen Zweipol (R, L oder C) können Sie die oben berechnete Blindleistung kompensieren und wo fügen Sie diesen Zweipol zweckmäßig in die Schaltung gemäß Abbildung 2-1 ein?
- b) Berechnen Sie den Wert des Zweipols (in Ω , mH oder μF – je nachdem ob Sie ein R, L oder C verwenden müssen), sodass die Blindleistung vollständig kompensiert wird.

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

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung mit einem Kondensator C und drei gleichen ohmschen Widerständen R sowie einem Schalter S gegeben. Die Schaltung wird an einer Gleichspannungsquelle U betrieben. Infolge von Schaltvorgängen mittels des Schalters S kommt es zu Einschwingvorgängen. In Abbildung 3-1 sind alle Bezeichner, Zählpfeile, die benötigten Maschen $M 1$ und $M 2$ sowie der Knoten 1 zur Anwendung der Knotenregel vorgegeben.

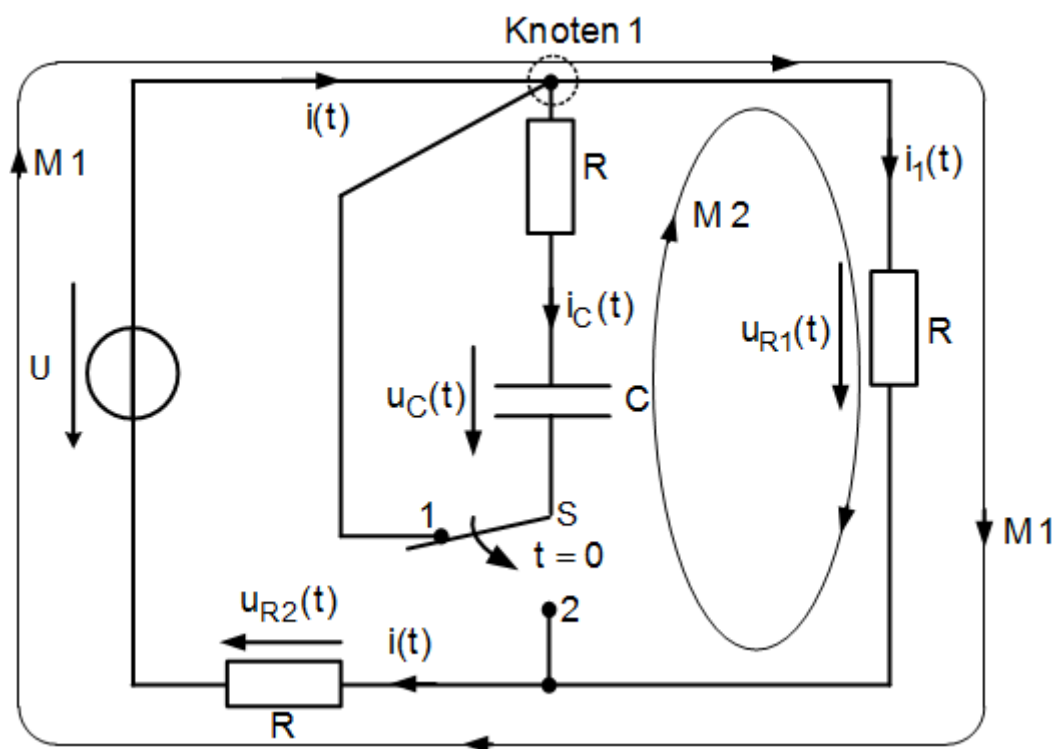


Abbildung 3-1: Einschwingvorgänge am Kondensator

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

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

Ohm'sche Widerstände: $R = 10 \text{ } \Omega$

Kapazität des Kondensators: $C = 150 \text{ } \mu\text{F}$

Aufgabe 3.1: Stationäre Ströme und Spannungen 1 (4 Punkte)

Zunächst sollen die stationäre Ströme und Spannungen bei Schalterstellung „1“ bestimmt werden, d.h. der Schalter sei bereits unendlich lange Zeit in Stellung „1“. (Zusätzlicher Index „stat1“).

- a) Wie groß sind der Strom $i_{C,stat1}(t)$ und die Spannung $u_{C,stat1}(t)$ - (kurze Begründung)?
- b) Berechnen Sie die Ströme $i_{stat1}(t)$ und $i_{1,stat1}(t)$ und die Spannungen $u_{R1,stat1}(t)$ und $u_{R2,stat1}(t)$.

Aufgabe 3.2: Stationäre Ströme und Spannungen 2 (2 Punkte)

Nun sollen die stationäre Ströme und Spannungen bei Schalterstellung „2“ bestimmt werden, d.h. der Schalter sei bereits unendlich lange Zeit in Stellung „2“. (Zusätzlicher Index „stat2“).

- a) Wie groß ist der Strom $i_{C,stat2}(t)$ - (kurze Begründung)?
- b) Berechnen Sie die Ströme $i_{stat2}(t)$ und $i_{1,stat2}(t)$?
- c) Berechnen Sie die Spannungen $u_{R1,stat2}(t)$ und $u_{R2,stat2}(t)$ und $u_{C,stat2}(t)$.

Aufgabe 3.3: Berechnung des Einschwingvorganges (10 Punkte)

Nun soll der Einschwingvorgang berechnet werden, der abläuft, nachdem der Schalter zur Zeit $t = 0$ s von Position „1“ in Position „2“ gebracht wird, d.h. der Übergang vom stationären Zustand „1“ (für $t < 0$ s) in den stationären Zustand „2“ (für t gegen unendlich).

- a) Stellen Sie die Knotengleichung für den Knoten 1 auf.
- b) Stellen Sie die Maschengleichung für die Masche M 1 und die Maschengleichung für die Masche M 2 auf.
- c) Geben Sie die Gleichung für den Zusammenhang zwischen $i_C(t)$ und $u_C(t)$ an und erklären Sie kurz, weshalb hier die Kondensatorspannung $u_C(t)$ die Energie kennzeichnende Größe ist.

- d) Bestimmen Sie aus den vorigen vier Gleichungen die Differentialgleichung (DGL) für $u_C(t)$ und geben Sie die DGL in der Form $u_{C,stat2} = \tau \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + 1 \cdot u_C(t)$ an (Vorfaktor bei $u_C(t)$ ist eins).
- e) Geben Sie $u_{C,stat2}$ und τ in Abhängigkeit von U , R und C an und berechnen Sie die Werte in Volt (V) bzw. Millisekunden (ms).
- f) Bestimmen Sie mittels der Anfangsbedingung $u_C(t = 0 \text{ s})$ die in der allgemeinen Lösung $u_C(t) = k \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + u_{C,stat2}$ noch unbekannte Konstante k und skizzieren Sie den Verlauf von $u_C(t)$ für $-2 \text{ ms} \leq t \leq 10 \text{ ms}$.

Aufgabe 3.4: Umschalten auf Schalterstellung „1“ (4 Punkte)

- a) Beschreiben Sie kurz was passiert, wenn der Schalter S bei $t = 10 \text{ ms}$ wieder in Schalterstellung „1“ gebracht wird.
- b) Berechnen Sie den Kondensatorstrom $i_C(t = 10 \text{ ms})$ zum Umschaltzeitpunkt $t = 10 \text{ ms}$ und geben Sie die Zeitkonstante τ_1 , mit der der Ausgleichsvorgang abläuft, in Abhängigkeit von R und C sowie den Zahlenwert in ms an.
- c) Skizzieren Sie den Verlauf für $u_C(t)$ für $t > 10 \text{ ms}$ in das Diagramm aus Aufgabe 3.2 f).

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

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

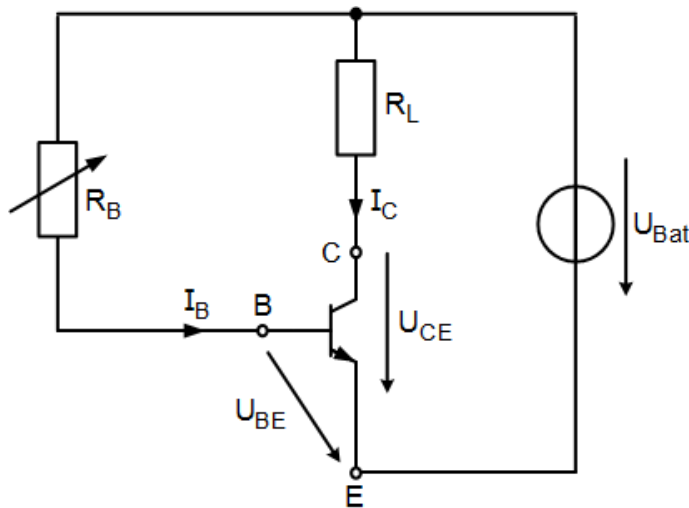


Abbildung 4-1: Schaltung mit npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

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

Verbraucher (Last):

Lastwiderstand: $R_L = 100 \Omega$

Nennleistung des Verbrauchers: $P_{L,N} = 1 \text{ W}$

npn-Bipolartransistor:

Gleichstromverstärkung: $B = 200$

Basis-Emitter-Spannung: $U_{\text{BE}} = 0,6 \text{ V}$

Ausgangskennlinienfeld $I_C = f(U_{\text{CE}})$ siehe Lösungsblatt.

Vernachlässigungen:

- U_{BE} darf als konstant, d.h. unabhängig von I_B betrachtet werden.
- R_{CE} darf vernachlässigt werden, d.h. $R_{\text{CE}} \rightarrow \infty \Omega$

Aufgabe 4.1: Allgemeinverständnis - (8 Punkte)

- a) Welche Funktion erfüllt der Transistor in dieser Schaltung?
- b) Welche Vernachlässigung beinhaltet die Annahme $U_{BE} = \text{konstant} \neq f(I_B)$ in Bezug auf das Ersatzschaltbild des Transistors im Basis-Emitter-Kreis?
- c) Was beinhaltet die Annahme $R_{CE} \rightarrow \infty \Omega$ in Bezug auf die Charakterisierung der gesteuerten Stromquelle im Kollektor-Emitter-Kreis?
- d) Berechnen Sie den Nennstrom $I_N = I_{C,N}$ und die Nennspannung $U_{L,N}$ des Verbrauchers R_L .
- e) Zeichnen Sie in das Ausgangskennlinienfeld $I_C = f(U_{CE})$ auf dem Lösungsblatt die Arbeitsgerade ein.

Aufgabe 4.2: Arbeitspunkt AP1 - (5 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Kollektorstrom $I_{C,AP1}$, und den zugehörigen Basisstrom $I_{B,AP1}$, sowie den Vorwiderstand $R_{B,AP1}$, sodass der Verbraucher nur 1 % seiner Nennleistung aufnimmt.
- b) Wie groß ist die im Transistor in Form von Wärme entstehende Verlustleistung $P_{Tr,AP1}$?
- c) Zeichnen Sie den Arbeitspunkt AP 1 in das Kennlinienfeld auf dem Lösungsblatt ein.

Aufgabe 4.3: Arbeitspunkt AP2 - (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Kollektorstrom $I_{C,AP2}$, und den zugehörigen Basisstrom $I_{B,AP2}$, sowie den Vorwiderstand $R_{B,AP1}$, sodass der Verbraucher seine Nennleistung aufnimmt.
- b) Zeichnen Sie den AP 2 in das Kennlinienfeld ein.
- c) Wie groß ist die im Transistor in Wärme umgewandelte Leistung $P_{Tr,AP2}$?
- d) Was ändert sich, wenn der Basisstrom auf $I_B = 2 \cdot I_{B,AP2}$ verdoppelt wird (kurze Begründung)?

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

In Abbildung 5-1 ist eine Schaltung mit zwei idealen Operationsverstärkern (OP 1 und OP 2), den Referenzspannungsquellen ($U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$) sowie der variablen Eingangsspannung u_e dargestellt.

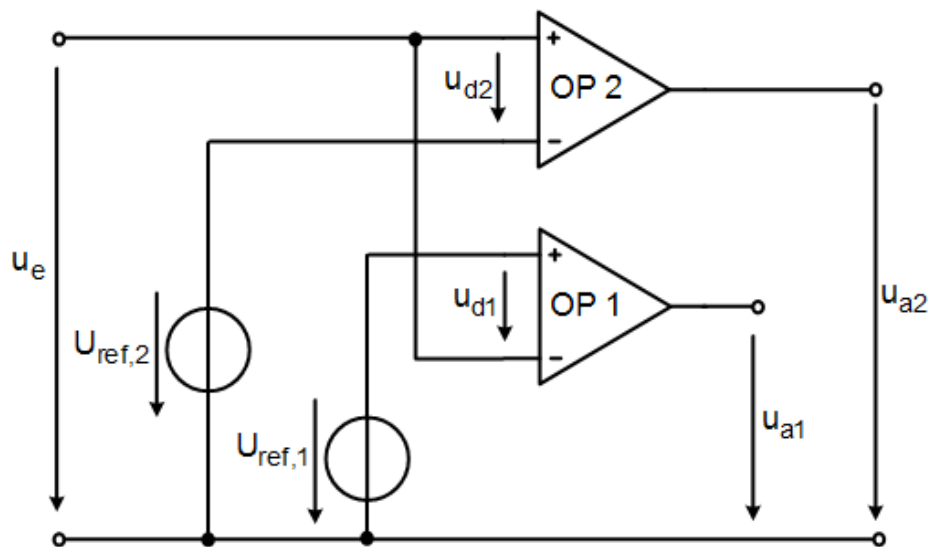


Abbildung 5-1: Schaltung mit idealen Operationsverstärkern

Zum einfacheren Verständnis kann die Schaltung wie folgt umgezeichnet, d.h. in 2 Teilschaltungen zerlegt werden:

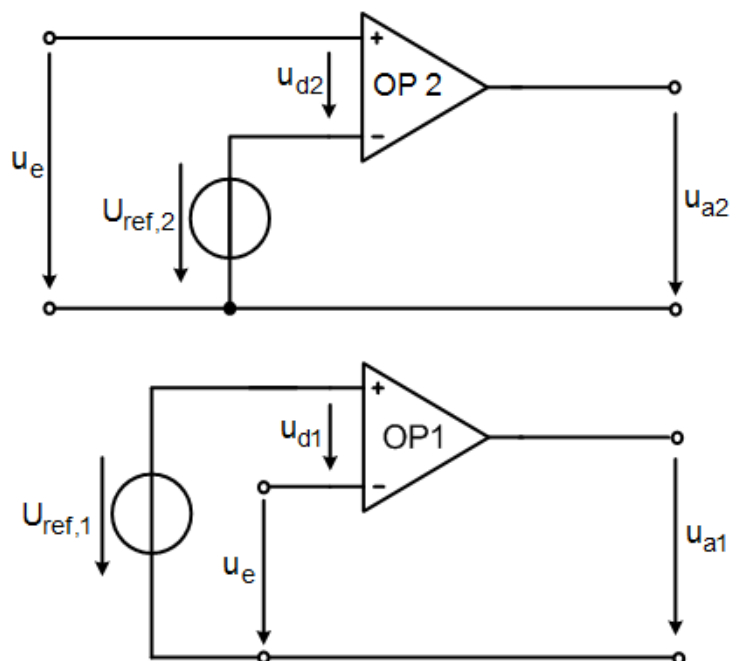


Abbildung 5-2: Obige Schaltung umgezeichnet

Von der Schaltung sind folgende Daten gegeben:

Referenzspannungen: $U_{\text{Ref},1} = 0,7 \text{ V}$

$U_{\text{Ref},2} = 2,1 \text{ V}$

Annahmen:

- Die Operationsverstärker dürfen als **ideal** betrachtet werden.
- Die Versorgungsspannung der Operationsverstärker von $\pm 15 \text{ V}$ ist in den obigen Abbildungen **nicht** eingezeichnet.
- Bekannte Zusammenhänge für die OP-Grundsaltungen dürfen **ohne** erneute Herleitung verwendet werden.

Aufgabe 5.1: Grundsaltungen (7 Punkte)

- a) Um welche OP-Grundsaltungen handelt es sich?
- b) Geben Sie u_{d1} und u_{d2} in Abhängigkeit von u_e , $U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$ an.
Geben Sie u_{a1} und u_{a2} in Abhängigkeit von u_e , $U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$ an

Aufgabe 5.2: Linear ansteigende Eingangsspannung (13 Punkte)

- a) Zeichnen Sie in das auf dem Lösungsblatt vorgefertigte Diagramm für $u_e(t)$ die Referenzspannungen $U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$ und darunter die zugehörigen Spannungsverläufe u_{a1} und u_{a2} ein.
- b) Ergänzen Sie die Schaltung(en) mit den im Lösungsblatt angegebenen Zweipolen, sodass Spannungswerte u_e unterhalb $U_{\text{ref},1}$ durch eine rote Leuchtdiode (LED) und Spannungswerte oberhalb $U_{\text{ref},2}$ durch eine grüne LED optisch angezeigt werden.
- c) Berechnen Sie den Wert der erforderlichen Vorwiderstände R_V (Daten der LED siehe Lösungsblatt).
- d) Ergänzen Sie mit den im Lösungsblatt angegebenen Zweipolen die Schaltung zur Erzeugung der Referenzspannungen $U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$ und berechnen Sie R_{V1} und R_{V2} jeweils in Ohm (erforderliche Daten siehe Lösungsblatt)

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

In Abbildung 6-1 ist das Übersichtsschaltbild eines Spannungsumformersystems, bestehend aus einer fremderregten Gleichstrommaschine GM und einer weiteren elektrischen Maschine EM (Für die Bearbeitung der Aufgabe sind von der Maschine EM keine Daten erforderlich!), dargestellt. Die Gleichstrommaschine GM treibt die Maschine EM an, d.h. die GM arbeitet als Motor und EM arbeitet als Generator.

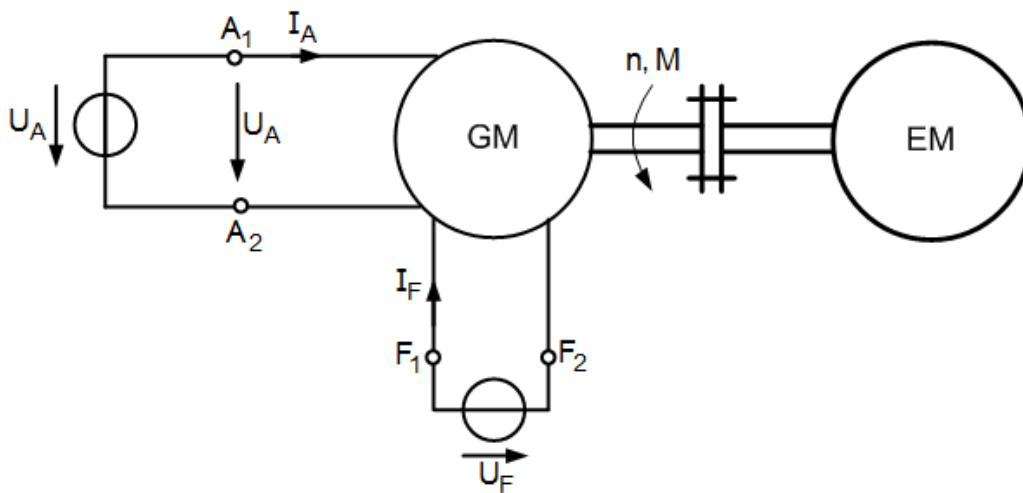


Abbildung 6-1: Übersichtsschaltbild des Spannungsumformersystems

Von der Gleichstrommaschine (GM) sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung:	$U_{AN} = 600 \text{ V}$
Ankernennstrom:	$I_{AN} = 200 \text{ A}$
Erregernennspannung:	$U_{FN} = 220 \text{ V}$
Widerstand der Erregerwicklung:	$R_F = 110 \text{ } \Omega$
Wirkungsgrad im Nennbetrieb:	$\eta_N = 0,95$
Nenndrehzahl	$n_N = 3.000 \text{ min}^{-1}$

Die Drehzahl soll stets konstant $n = n_N = 3.000 \text{ min}^{-1}$ sein!

Reibungsverluste werden erst in Aufgabe 6.2 berücksichtigt.

Annahmen:

- Es werden stets stationäre Verhältnisse vorausgesetzt.
- Bis auf die ohmschen Verluste im Anker- und Erregerkreis der Gleichstrommaschine und die Reibungsverluste in Aufgabe 6.2 dürfen alle weiteren Verluste vernachlässigt werden.
- Im Erregerkreis der GSM werden stets lineare Verhältnisse vorausgesetzt.

Aufgabe 6.1: Betrachtung der GM im Nennbetrieb (9 Punkte)

a) Berechnen Sie die folgenden Größen:

- Erregerverluste $P_{F,N}$ in W
- Vom Anker elektrisch aufgenommene Leistung $P_{A,N}$ in kW
- Die mechanisch abgegebene Leistung P_N in kW (Hinweis: Wirkungsgrad und Erregerverluste!)
- Ankerwiderstand R_A in $m\Omega$
- Induzierte Spannung $U_{i,N}$ in V
- Konstante $c \cdot \Phi_N$ in Vs
- Nenndrehmoment M_N in Nm

Im Folgenden wird angenommen, dass die Drehzahl n weiterhin $n = 3.000 \text{ min}^{-1}$ beträgt und sich die Maschine EM im Leerlauf befindet (nimmt keine mechanische Leistung auf). Die GM dient als Antrieb für das gesamte System um die Reibungsverluste in Höhe von $P_{Rbg} = 3 \text{ kW}$ zu decken.

Aufgabe 6.2: Betrachtung der GM im realen Leerlauf (11 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Ankerstrom I_A in diesem Arbeitspunkt.
- b) Berechnen Sie die induzierte Spannung U_i .
- c) Auf welchen Wert muss $c \cdot \Phi$ (in Vs) eingestellt werden?
- d) Was passiert, wenn der Erregerfluss weiter erhöht wird?