

Prüfung**Einführung in die Elektrotechnik**

Prüfungsnummer 12211 für die Studiengänge

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

12.09.2019

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 Spannungsquelle und zwei Stromquellen gegeben.

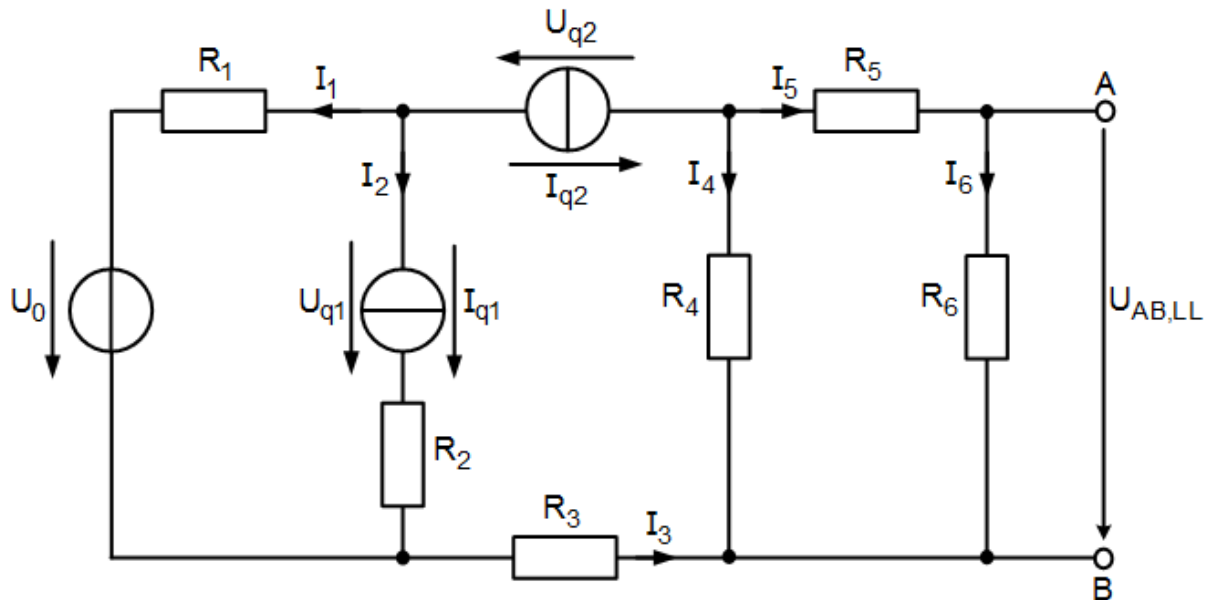


Abbildung 1-1: Gleichstromnetzwerk mit zwei Stromquellen und einer Spannungsquelle

Rechnen Sie allgemein (d. h. ohne Zahlenwerte) mit U_0 , I_{q1} , I_{q2} , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 und R_6 und stellen Sie alle zu berechnenden Größen in Abhängigkeit dieser gegebenen Größen dar.

Es gilt: $I_{q1} > 0$ A und $I_{q2} > 0$ A.

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

Aufgabe 1.1: Ersatzspannungsquelle (6 Punkte)

a) Berechnen Sie

- die Spannung $U_{AB,LL}$.
- den Widerstand R_{AB} als Ersatzwiderstand bezüglich der Klemmen A-B.
- den Kurzschluss-Strom I_{KS} , der bei Kurzschluss der Klemmen A-B im Kurzschlusszweig von A nach B fließen würde.
- den Ersatzwiderstand R_{AB} mittels $U_{AB,LL}$ und I_{KS} .

Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem obigen Ergebnis für R_{AB} .

b) Zeichnen Sie für die in Abbildung 1-1 gegebene Schaltung das Ersatzschaltbild für die Ersatzspannungsquelle und geben Sie die Quellenspannung U_q und den Innenwiderstand R_i an.

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

a) Bestimmen Sie sämtliche Ströme (I_1 , I_2 , I_3 , I_4 , I_5 und I_6).

b) Berechnen Sie die Spannung U_{q1} .

c) Berechnen Sie die Leistung $P_{U_0} = U_0 \cdot I_1$ der Spannungsquelle U_0 und begründen Sie, ob die Quelle elektrische Leistung abgibt oder elektrische Leistung aufnimmt.

d) Was passiert mit der von den Quellen insgesamt gelieferten elektrischen Energie (Begründung ohne Rechnung genügt!)?

Aufgabe 2: Gleichstrom

(20 Punkte)

In Abbildung 2-1 ist das Ersatzschaltbild eines Gleichstromnetzwerkes mit zwei Spannungsquellen U_{q1} und U_{q2} , einer Stromquelle I_0 und 4 Widerständen R_1 bis R_4 gegeben.

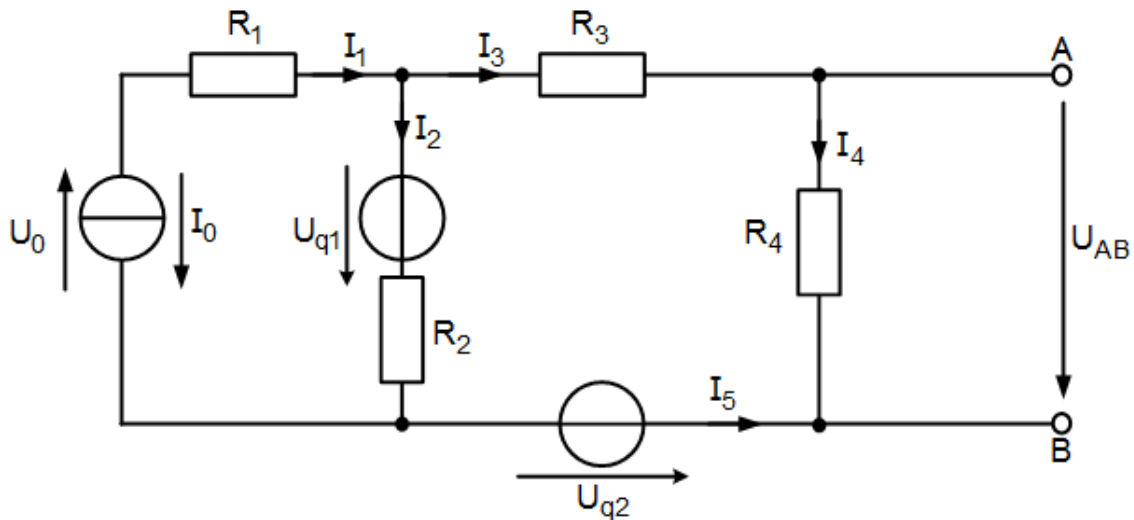


Abbildung 2-1: Gleichstromnetzwerk mit drei Quellen

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} (7 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 Stromquelle I_0 wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB1} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von I_0 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_{q1} wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB2} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von U_{q1} 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 Spannungsquelle U_{q2} wirksam ist und berechnen Sie die Teilspannung U_{AB3} , die sich aus der alleinigen Wirksamkeit von U_{q2} ergibt.
- d) Geben Sie die Spannung U_{AB} an.

Aufgabe 2.3: Spannungen, Ströme, Leistungen (9 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 , I_4 und I_5 sowie die Spannung U_0 (in Abhängigkeit von U_{q1} , U_{q2} , R_1 , ... R_4) an und zeigen Sie, dass die Leistungsbilanz erfüllt ist.

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

In Abbildung 3-1 ist das Ersatzschaltbild einer Schaltung aus zwei ohmschen Widerständen R_1 und R_2 , sowie einer Spule L und einem Kondensator C gegeben. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannungsquelle mit dem Effektivwert U und der Frequenz f betrieben.

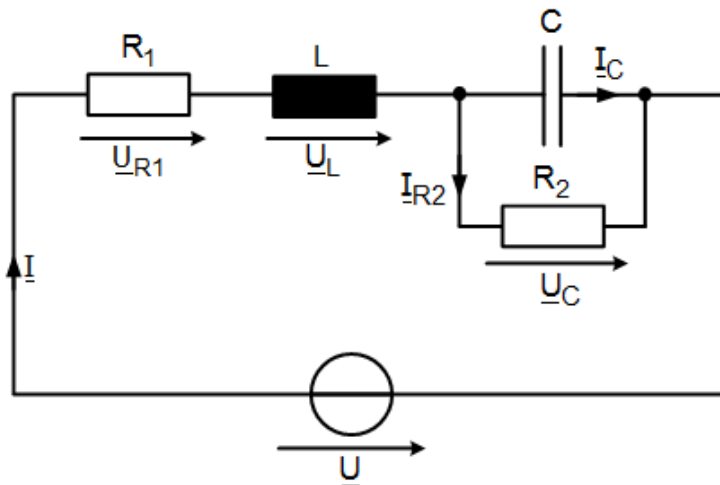


Abbildung 3-1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung $\underline{U} = 100 \text{ V} \cdot e^{j \cdot 0^\circ}$

Widerstände $R_1 = 6 \, \Omega$ $R_2 = 120 \, \Omega$

Blindwiderstände $X_L = 36 \, \Omega$ $X_C = 60 \, \Omega$

Aufgabe 3.1: Qualitatives Zeigerdiagramm (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches alle in Abbildung 3-1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Größen enthält.
- b) Tragen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ ein und geben Sie an, ob sich die Schaltung gemäß Ihrem Zeigerdiagramm ohmsch-induktiv, ohmsch-kapazitiv oder ohmsch verhält.

Aufgabe 3.2: Impedanzen (6 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Reihenschaltung aus L und R_1 und geben Sie sie in kartesischer Form an.
- b) Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}_{RC}$ der Parallelschaltung bestehend aus C und R_2 und geben Sie sie in kartesischer Form an.
- c) Berechnen Sie die Ersatzimpedanz $\underline{Z}$ für die gesamte Schaltung und geben Sie sie in kartesischer Form und in Exponentialform an.

Aufgabe 3.3: Ströme, Spannungen und Leistungen (10 Punkte)

- a) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}$ und geben Sie ihn in kartesischer Form an.
Eilt der Strom $\underline{I}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach?
Bestimmen Sie den Effektivwert I des Stromes $\underline{I}$.
- b) Bestimmen Sie die Teilspannungen $\underline{U}_{R1}$, $\underline{U}_L$ und $\underline{U}_C$ und geben Sie sie in kartesischer Form an.
- c) Bestimmen Sie die Effektivwerte I_{R2} und I_C der Ströme $\underline{I}_{R2}$ und $\underline{I}_C$.
- d) Berechnen Sie die komplexe Scheinleistung $\underline{S}$ und bestimmen Sie daraus die Wirkleistung P und die Blindleistung Q.
Handelt es sich um induktive oder um kapazitive Blindleistung (kurze Begründung)?
- e) Berechnen Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q auf eine zur vorigen Teilaufgabe c) alternative Weise und vergleichen Sie die Ergebnisse.

Aufgabe 4: Schaltung mit Bipolartransistor

(20 Punkte)

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

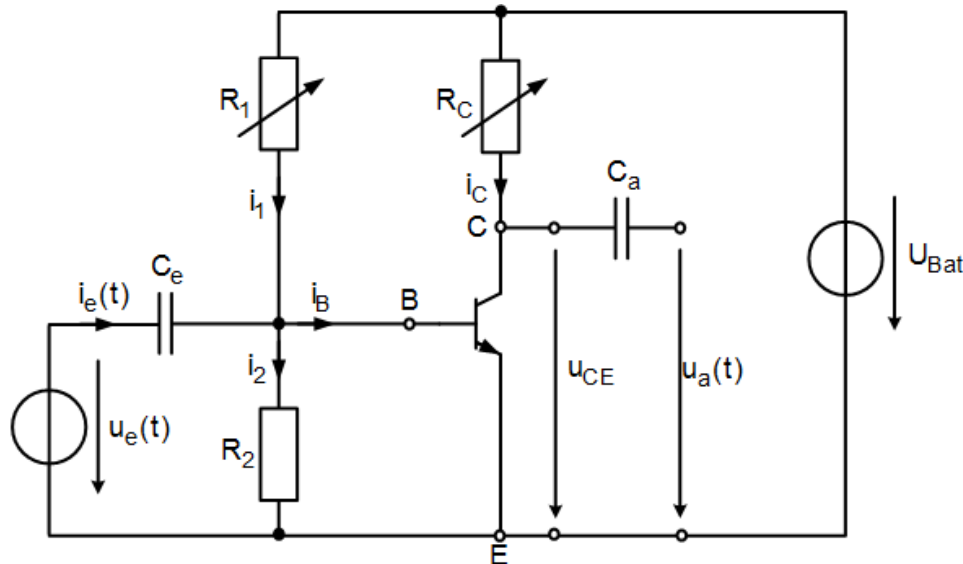


Abbildung 4-1: Schaltung mit npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:	$U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$
Signalspannung:	$u_e(t) = 10 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$
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:	$I_{\text{C(AP)}} = 30 \text{ mA}$

Annahmen und 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 $u_e(t)$, $u_a(t)$ 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)

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

Aufgabe 4.2: Arbeitspunkteinstellung (9 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Widerstandswerte R_1 und R_2 , sodass der Strom $I_2 = 5 \cdot I_{B(AP)}$ beträgt und im Kollektorkreis der geforderte Kollektorstrom $I_{C(AP)}$ fließt (I_2 , $I_{B(AP)}$ und $I_{C(AP)}$ sind die Gleichanteile der Ströme i_2 , i_B und i_C).

Durch eine Messung wird bei der angelegten Spannung $u_e(t)$ die Kollektor-Emitter-Spannung $u_{CE} = 9 \text{ V} - 1,5 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ ermittelt.

- b) Auf welchen Wert wurde R_C eingestellt?
Begründen Sie kurz, weshalb der eingestellte Arbeitspunkt nicht optimal ist.
- c) Auf welchen Wert muss R_C eingestellt werden, damit der Arbeitspunkt optimal ist?

Rechnen Sie im Folgenden mit den unter Aufgabe 4.2 a) berechneten Werten für R_1 und R_2 , sowie mit dem unter Aufgabe 4.2 c) berechneten Wert für R_C weiter.

Aufgabe 4.3: Wechselstromanalyse (7 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild (mit Bezeichnen und Zählpfeilen für $u_e(t)$, $i_e(t)$, $i_B(t)$, $i_{C0}(t)$, $i_C(t)$, $u_{CE}(t)$) 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} und geben Sie die Zeitfunktion für u_{CE} an.
 - 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), einer Signalspannungsquelle $u_e(t)$, zwei Gleichspannungsquellen U_1 und U_2 , zwei ohmschen Widerständen R_V und zwei Leuchtdioden LED 1 und LED 2 dargestellt.

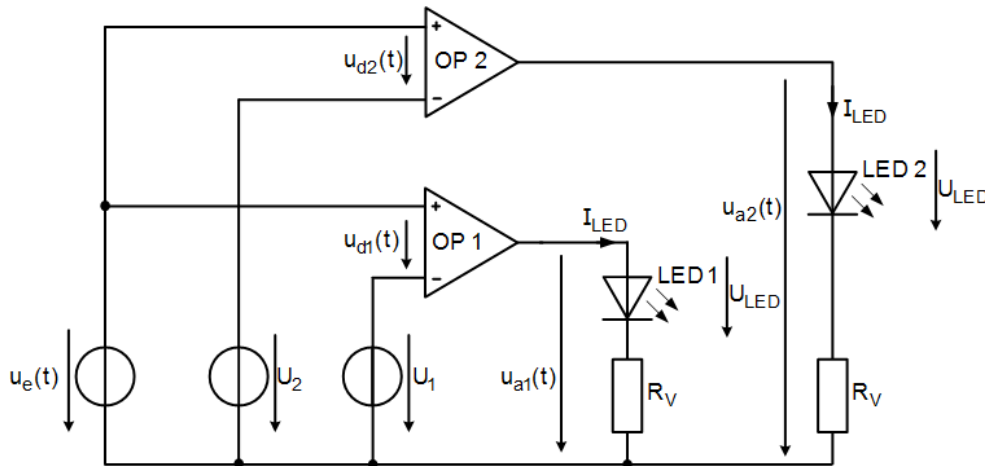


Abbildung 5-1: Schaltung mit idealen OP

Es sind folgende Daten gegeben:

Signalspannung: $u_e(t) = 12 \text{ V} \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi}{20 \text{ s}} \cdot t\right)$

LED in Durchlassrichtung (leuchtet): $U_{\text{LED}} = 2 \text{ V}$, $I_{\text{LED}} = 20 \text{ mA}$

Die Schaltung soll folgende Funktion erfüllen:

	LED 1	LED 2
$u_e(t) < 3 \text{ V}$	aus	aus
$3 \text{ V} < u_e(t) < 9,71 \text{ V}$	an	aus
$u_e(t) > 9,71 \text{ V}$	an	an

Annahmen und Vernachlässigungen:

- 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 (4 Punkte)

- a) In welcher OP-Grundschialtung werden die Operationsverstärker betrieben? Begründen Sie Ihre Antwort kurz.
- b) Welche Werte können die OP-Ausgangsspannungen $u_{a1}(t)$ und $u_{a2}(t)$ annehmen?

Aufgabe 5.2: Spannungen (14 Punkte)

- a) Geben Sie
- die Differenzspannung $u_{d1}(t)$ in Abhängigkeit von $u_e(t)$ und U_1 und die Differenzspannung $u_{d2}(t)$ in Abhängigkeit von $u_e(t)$ und U_2 an.
 - Wie groß sind die Amplitude u_e und die Periodendauer T_e der Signalspannung $u_e(t)$?
 - Zeichnen Sie $u_e(t)$ für $0 \leq t \leq 10$ s in das vorbereitete Diagramm ein.
- b) Geben Sie den Zusammenhang zwischen der Spannung $u_{a1}(t)$ und $u_{d1}(t)$ sowie den Zusammenhang zwischen $u_{a2}(t)$ und $u_{d2}(t)$ an.
- c) Geben Sie die Spannungswerte der Spannungen U_1 und U_2 an, damit die Schaltung die geforderte Funktion (siehe Tabelle oben) erfüllt (jeweils kurze Begründung). Zeichnen Sie U_1 und U_2 in das Diagramm für $u_e(t)$ ein – für U_2 dürfen Sie für das Diagramm 9,5 V annehmen.
- d) **Berechnen** Sie den Zeitpunkt t_1 , zu dem die LED 1 zu leuchten beginnt und den Zeitpunkt t_2 , zu dem die LED 1 wieder erlischt, sowie den Zeitpunkt t_3 , zu dem die LED 2 zu leuchten beginnt und den Zeitpunkt t_4 , zu dem die LED 2 wieder erlischt. Überprüfen Sie die Werte näherungsweise anhand des Diagrammes mit $u_e(t)$, U_1 und U_2 .

Aufgabe 5.3: Anzeige mit Leuchtdioden (LED) (2 Punkte)

- a) Wofür werden die Vorwiderstände R_V benötigt?
Bestimmen Sie die erforderlichen Widerstandswerte der Widerstände R_V , sodass die zwei LED in Durchlassrichtung im gewünschten Arbeitspunkt betrieben werden.

Aufgabe 6: Gleichstrommaschine

(20 Punkte)

Eine fremderregte Gleichstrommaschine (GM) wird in einer Windkraftanlage zur Erzeugung elektrischer Energie genutzt. Die erzeugte elektrische Energie wird über eine Einspeiseelektronik ins öffentliche Energienetz eingespeist (siehe Abbildung 6-1).

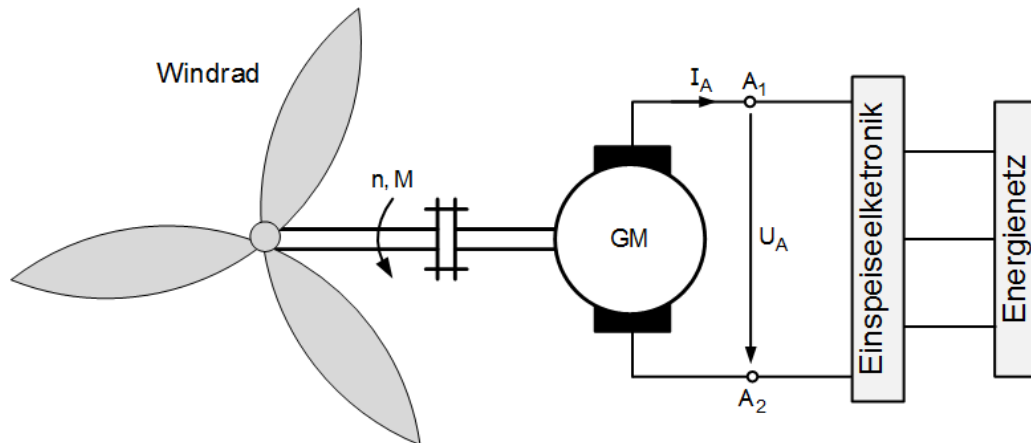


Abbildung 6-1: Übersichtsschaltbild des Windkraftwerks

Von der GM sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung	$U_{A,N} = 800 \text{ V}$
Ankernennstrom	$I_{A,N} = 100 \text{ A}$
Erregernennstrom	$I_{F,N} = 10 \text{ A}$
Widerstand der Erregerwicklung	$R_F = 10 \text{ } \Omega$
Nenndrehzahl	$n_N = 80 \text{ min}^{-1}$
Nenndrehmoment	$M_N = 10.100 \text{ Nm}$

Annahmen und Vernachlässigungen:

- Es werden stets stationäre Betriebsverhältnisse vorausgesetzt.
- Alle Ströme und Spannungen sind Gleichgrößen.
- Erregerfluss und Erregerstrom sind stets proportional zueinander.
- Reibungsverluste dürfen stets vernachlässigt werden.
- Sämtliche Eisenverluste dürfen vernachlässigt werden.
- Der Strom I_A ist positiv (siehe Zählpfeilung), wenn die GM als Generator arbeitet.

- Das Drehmoment M ist positiv (siehe Zählpfeilung), wenn das Windrad ein Drehmoment an die GM abgibt.
- Die Einspeiseelektronik und das Energienetz brauchen nicht betrachtet werden.

Aufgabe 6.1: Ersatzschaltbild der GM (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild des Ankerkreises und des Erregerkreises inklusive aller Bezeichner sowie Strom- und Spannungszählpfeilen.
- b) Weshalb treten an den Induktivitäten keine Spannungsabfälle auf?

Aufgabe 6.2: Nennbetrieb (10 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen für den Nennbetrieb:

- Die von der GM aufgenommene mechanische Leistung $P_{\text{mech,N}}$.
- Die von der GM abgegebene elektrische Leistung $P_{\text{el,N}}$.
- Die ohmschen Verluste im Ankerkreis $P_{\text{VA,N}}$ und im Erregerkreis $P_{\text{VF,N}}$.
- Den Ankerwiderstand R_A .
- Den Wirkungsgrad $\eta_{\text{GM,N}}$ der GM.
- Die induzierte Spannung $U_{\text{i,N}}$.
- Die Maschinenkonstante mal Fluss $(c \cdot \Phi)_N$.

Aufgabe 6.3: Arbeitspunkt AP 1 (6 Punkte)

Die Drehzahl beträgt nun $n_{\text{AP1}} = 100 \text{ min}^{-1}$. Der Erregerstrom soll nun so eingestellt werden, dass der Ankerstrom $I_{\text{A,AP1}} = I_{\text{A,N}} = 100 \text{ A}$ und die Ankerspannung $U_A = U_{\text{A,N}} = 800 \text{ V}$ betragen.

- Wie groß muss die induzierte Spannung $U_{\text{i,AP1}}$ sein?
- Auf welchen Wert muss $(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}}$ eingestellt werden?
- Wie groß ist der Erregerstrom $I_{\text{F,AP1}}$?
- Wie groß ist das vom Windrad an die GM abgegebene Drehmoment M_{AP1} ?