

Prüfung

Einführung in die Elektrotechnik

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

31.08.2023

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 Name 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 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)

In Bild 1.1 ist ein Gleichstromnetzwerk aus ohmschen Widerständen und zwei Stromquellen gegeben.

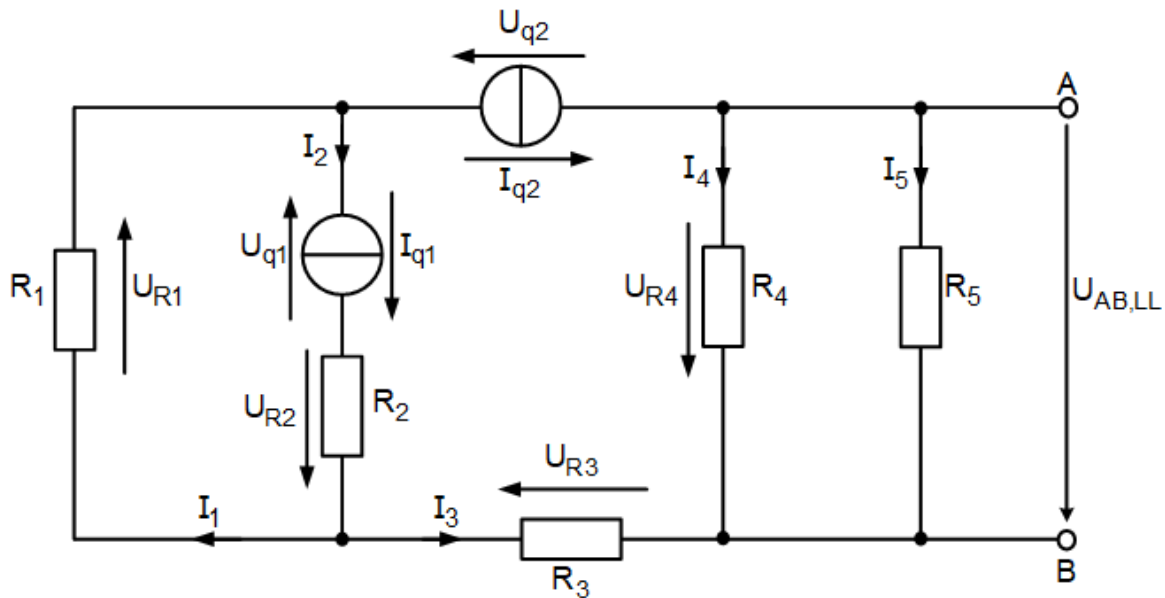


Bild 1.1: Gleichstromnetzwerk mit zwei Stromquellen.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Strom I_{q1}	$I_{q1} = 2 \text{ A}$
Strom I_{q2}	$I_{q2} = 3 \text{ A}$
Widerstände	$R_1 = 2 \text{ } \Omega$
	$R_2 = 4 \text{ } \Omega$
	$R_3 = 6 \text{ } \Omega$
	$R_4 = 8 \text{ } \Omega$
	$R_5 = 12 \text{ } \Omega$

Aufgabe 1.1 Ströme, Spannungen, Leistungen (13 Punkte)

- a) Bestimmen Sie die Ströme I_1 bis I_5 .
- b) Berechnen Sie die Spannungen U_{R1} bis U_{R4} sowie die Spannungen U_{q1} und U_{q2} .
- c) Berechnen Sie die von den beiden Quellen in 1 s gelieferten elektrischen Energie in J.
- d) Was passiert mit der von den Quellen insgesamt gelieferten elektrischen Energie (kurze Begründung ohne Rechnung)?

Aufgabe 1.2 Ersatzspannungsquelle (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie folgende Größen:
- Die Spannung $U_{AB,LL}$.
 - Den Widerstand $R_{AB,1}$ 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 $R_{AB,2}$ mittels $U_{AB,LL}$ und I_{KS} .
- Vergleichen Sie das Ergebnis mit dem obigen Ergebnis für R_{AB} .
- b) Zeichnen Sie für die im Bild 1.1 gegebene Schaltung das Ersatzschaltbild für die Ersatzspannungsquelle bezüglich der Klemmen A-B und geben Sie die Quellenspannung U_q und den Innenwiderstand R_i an.

Aufgabe 2: Schaltvorgänge – Spule (20 Punkte)

Im Bild 2.1 ist das Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , einer idealen Diode D , einer Gleichspannungsquelle U und einer Spule L abgebildet. Über den Schalter S kann der Schaltungsteil aus R_2 , L und D zu- und abgeschaltet werden.

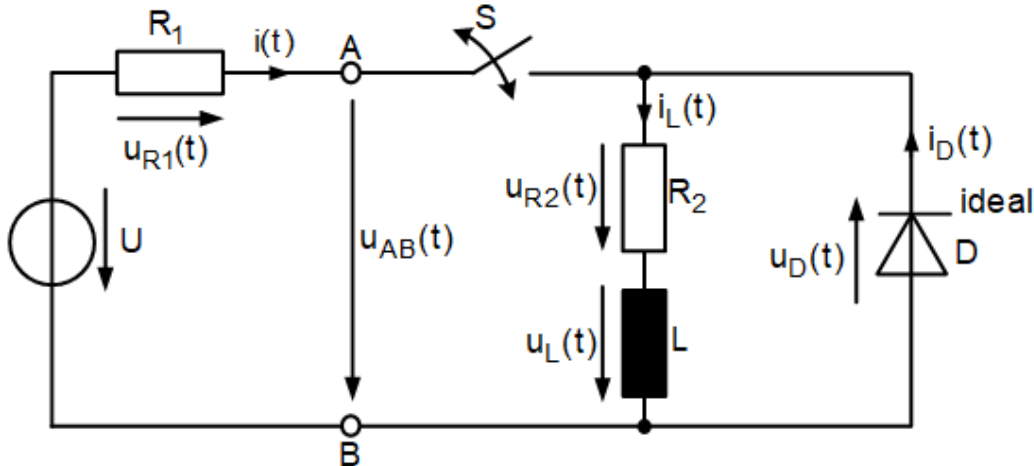


Bild 2.1: Ersatzschaltbild eines elektrischen Netzwerkes mit Spule und Diode.

Wichtige Hinweise:

- Sie müssen **keine** Einschwingvorgänge berechnen!
- Sie müssen **keine** Differentialgleichungen lösen!
- Sie können die Aufgabe durch einfache Überlegungen anhand des Verhaltens der Spule zu den betrachteten Zeitpunkten lösen.
- Geben Sie Ihre Ergebnisse allgemein in Abhängigkeit der Größen U , R_1 , R_2 , und L an. Ist ein Wert definitiv null, dann geben Sie null (0) an!

Für den Spulenstrom gilt: $i_L(t < 0 \text{ s}) = 0 \text{ A}$.

Aufgabe 2.1 Allgemeines (5 Punkte)

- a) Wie lautet der Zusammenhang zwischen der Spulenspannung $u_L(t)$ und dem Spulenstrom $i_L(t)$?
- b) Welche Größe ist bei der Spule die Energie kennzeichnende Größe?
- c) Welche Bedingung muss für die Energie kennzeichnende Größe gelten?
- d) Wozu benötigt man die Diode D?
- e) Geben Sie die Strom-Spannungskennlinie der idealen Diode an.

Der Schalter S war unendlich lange geöffnet.

Aufgabe 2.2 Schalter S wird geschlossen (4 Punkte)

Zum Zeitpunkt $t = 0$ s 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:

- $i_L(t = 0_+)$, $u_{R2}(t = 0_+)$, $i_D(t = 0_+)$, $i(t = 0_+)$, $u_D(t = 0_+)$, $u_L(t = 0_+)$ und $u_{AB}(t = 0_+)$.

Aufgabe 2.3 Schalter S ist unendlich lange geschlossen (4 Punkte)

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

- $i_D(t = \infty)$, $u_L(t = \infty)$, $u_{R2}(t = \infty)$, $u_D(t = \infty)$, $i_L(t = \infty)$, $i(t = \infty)$, $u_{R1}(t = \infty)$ und $u_{AB}(t = \infty)$.

Aufgabe 2.4 Schalter S wird nun wieder geöffnet (7 Punkte)

Betrachtet wird der Zeitpunkt $t = t_{1+}$ nachdem S wieder geöffnet wird (S war zuvor theoretisch unendlich lange zu). Geben Sie für den Zeitpunkt $t = t_{1+}$ folgende Größen an:

- $i_L(t = t_{1+})$, $i_D(t = t_{1+})$, $u_D(t = t_{1+})$, $u_{R2}(t = t_{1+})$, $u_L(t = t_{1+})$ und $u_{AB}(t = t_{1+})$.

Aufgabe 3: Wechselstrom (20 Punkte)

Im Bild 3.1 ist eine R-L-C-Schaltung dargestellt, die an einer idealen Spannungsquelle mit sinusförmiger Spannungsform betrieben wird.

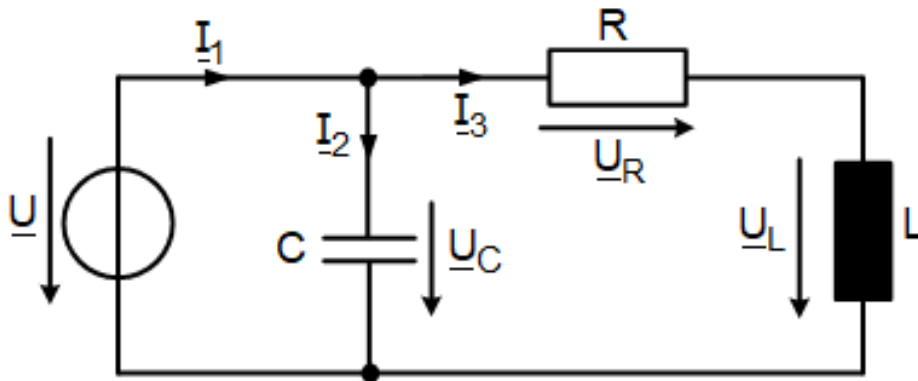


Bild 3.1: R-L-C-Schaltung an sinusförmiger Wechselspannung.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannung (Effektivwert)	$U = 200 \text{ V}$
Frequenz	$f = 50 \text{ Hz}$
Ohmscher Widerstand	$R = 100 \text{ }\Omega$
Kapazität des Kondensators	$C = 40 \text{ }\mu\text{F}$
Induktivität der Spule	$L = 200 \text{ mH}$

Lösen Sie die Aufgabe mit der komplexen Wechselstromrechnung!

Unterstrichene Größen (z. B. $\underline{Z}$, $\underline{U}$, $\underline{I}$) sind komplexe Größen!

Größen ohne Unterstriche (z. B. Z , U , I) sind Beträge; bei Strömen und Spannungen entsprechen sie den Effektivwerten.

Aufgabe 3.1 Zeigerdiagramm (4 Punkte)

- a) Zeichnen Sie ein qualitatives Zeigerdiagramm, welches sämtliche im Bild 3.1 durch Zählpfeile und Bezeichner eingetragenen Größen enthält.
- b) Tragen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ ein und geben Sie an, ob die Schaltung gemäß Ihrem Zeigerdiagramm induktive, kapazitive oder keine Blindleistung aufnimmt (Begründung).

Aufgabe 3.2 Impedanzen (2 Punkte)

Berechnen Sie folgende Impedanzen und geben Sie sie in kartesischer Form an:

- Die Impedanzen $\underline{Z}_C$ des Kondensators und $\underline{Z}_L$ der Spule.
- Die Impedanz $\underline{Z}_{RL}$ der Reihenschaltung aus R und L.
- Die Impedanz $\underline{Z}_{RLC}$ der Parallelschaltung aus $\underline{Z}_C$ und $\underline{Z}_{RL}$.

Aufgabe 3.3 Ströme, Spannungen, Impedanz (7 Punkte)

Berechnen Sie folgende Größen und geben Sie die komplexen Größen in kartesischer Form an:

- Den Strom $\underline{I}_2$.
- Den Strom $\underline{I}_3$ und dessen Effektivwert I_3 .
- Die Spannung $\underline{U}_L$ und deren Effektivwert U_L .
- Den Strom $\underline{I}_1$.
- Die Impedanz $\underline{Z}$ der Schaltung mittels $\underline{U}$ und $\underline{I}_1$ und vergleichen Sie den Wert mit dem aus Aufgabe 3.2.

Aufgabe 3.4 Leistungen (7 Punkte)

- a) Berechnen Sie die Scheinleistung $\underline{S}$ und geben Sie die Wirkleistung P und die Blindleistung Q an.
Handelt es sich um induktive oder um kapazitive Blindleistung (kurze Begründung)?
- b) Berechnen Sie die Blindleistung Q_L der Spule.
- c) Wie groß müsste die Kapazität C des Kondensators gewählt werden, damit der Phasenverschiebungswinkel φ null wird?

Aufgabe 4: Kleinsignalverstärker (20 Punkte)

Im Bild 4.1 ist das elektrische Ersatzschaltbild eines Kleinsignalverstärkers dargestellt. An die Klemmen A 1 - A 2 ist ein Lautsprecher (Widerstand R_L) angeschlossen.

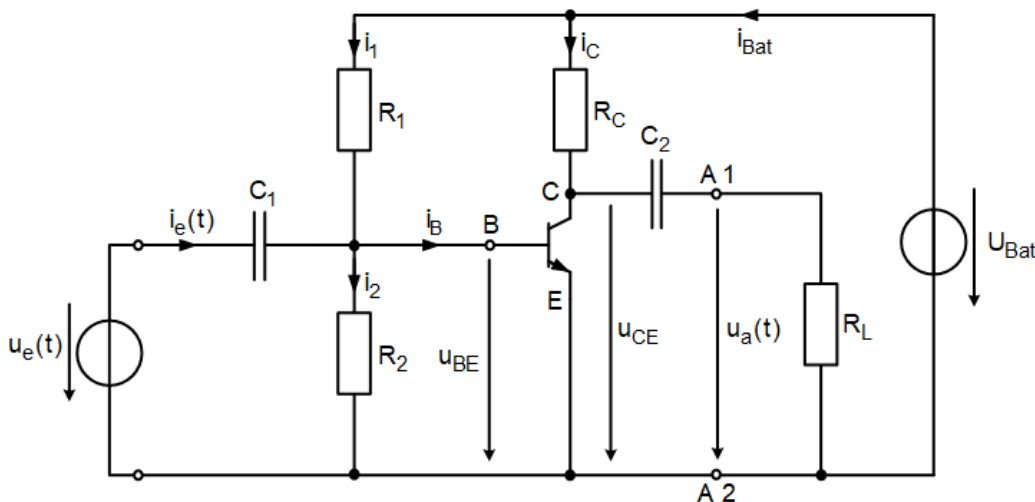


Bild 4.1: Kleinsignalverstärker mit npn - Bipolartransistor

Es sind folgende Daten gegeben:

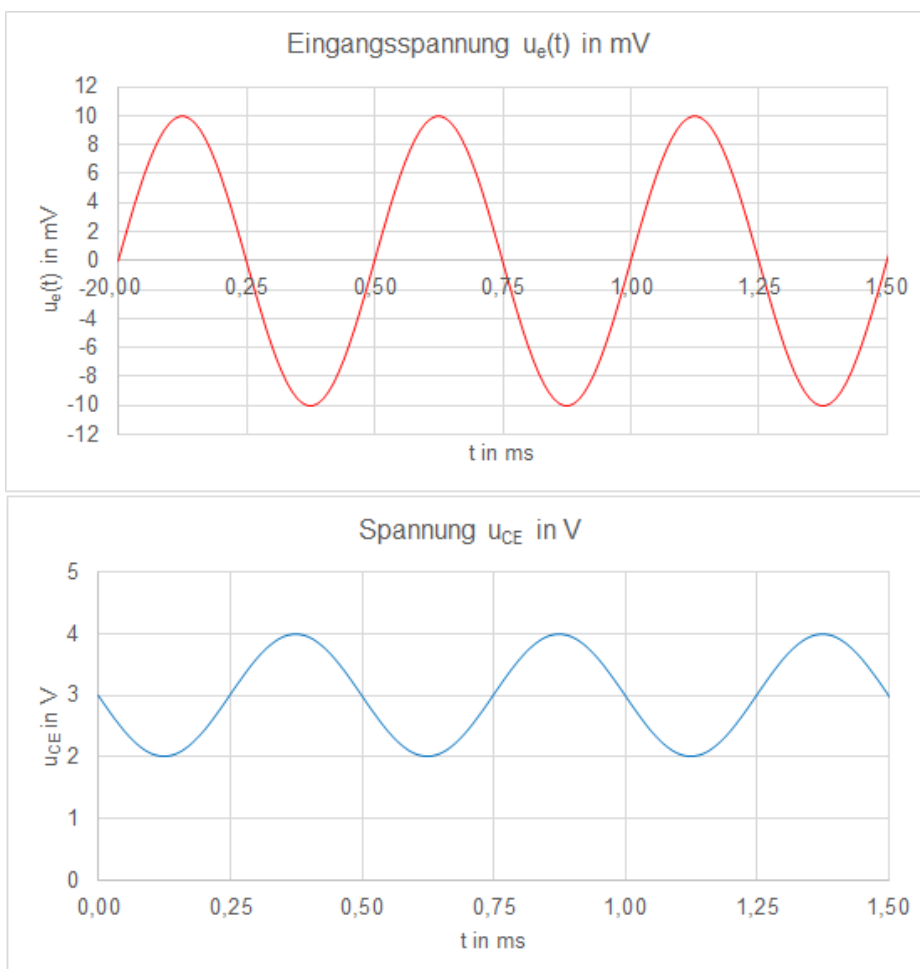


Bild 4.2: Zeitverläufe der sinusförmigen Eingangsspannung $u_e(t)$ und der Mischspannung u_{CE} .

Aufgabe 4.1 Daten aus Bild 4.2 (12 Punkte)

- a) Ermitteln Sie die Amplitude $\hat{u}_e$ und die Frequenz f der Spannung $u_e(t)$ und geben Sie die Zeitfunktion $u_e(t)$ an.
- b) Ermitteln Sie die Amplitude $\hat{u}_{CE}$ des Wechselanteils von u_{CE} , die Frequenz f und den Gleichanteil $U_{CE,AP}$ von u_{CE} und geben Sie die Zeitfunktion der Mischspannung u_{CE} an.
- c) Was bewirkt der Kondensator C_2 ?
Geben Sie die Zeitfunktion $u_a(t)$ an.
- d) Wie groß ist die Spannungsverstärkung v_U ?
- e) Wie groß ist die Versorgungsspannung U_{Bat} , wenn vorausgesetzt wird, dass der Arbeitspunkt bei $U_{CE,AP} = 0,5 \cdot U_{Bat}$ eingestellt wurde?
- f) Berechnen Sie R_C , sodass sich bei einem Gleichanteil $I_{C,AP} = 20 \text{ mA}$ der obige Arbeitspunkt einstellt.
- g) Berechnen Sie mit der Gleichstromverstärkung $B = 200$ des Transistors den Gleichanteil $I_{B,AP}$ des Basisstromes i_B , sodass sich der Strom $I_{C,AP} = 20 \text{ mA}$ einstellt.
- h) Berechnen Sie die Widerstände R_1 und R_2 unter der Voraussetzung, dass der Gleichanteil $U_{BE,AP}$ der Basis-Emitter-Spannung u_{BE} im Arbeitspunkt $U_{BE,AP} = 0,6 \text{ V}$ beträgt und der Gleichanteil I_2 des Stromes i_2 das Zehnfache des Stromes $I_{B,AP}$.

Aufgabe 4.2 Wechselstromverhalten (8 Punkte)

- a) Zeichnen Sie das Wechselstrom-Ersatzschaltbild der Schaltung aus Bild 4.1 und berücksichtigen Sie die Vereinfachungen $C_1 = C_2 \rightarrow \infty \text{ F}$ und $R_{CE} \rightarrow \infty \Omega$.
- b) Berechnen Sie die Amplitude $\hat{i}_{C0}$ des Wechselanteils des Kollektorstromes i_C unter der Voraussetzung, dass der Lautsprecherwiderstand $R_L = R_C$ beträgt und $R_{CE} = \infty \Omega$ angenommen wird.
- c) Bestimmen Sie unter der Voraussetzung, dass die Wechselstromverstärkung $\beta = 160$ beträgt, die Amplitude $\hat{i}_B$ des Wechselanteils des Basisstromes i_B und den Basis-Emitter-Widerstand R_{BE} des Transistors.
- d) Was bedeutet $R_L = R_C$ hinsichtlich der Leistung P_{RL} in R_L (Annahme: $R_{CE} = \infty \Omega$)?

Aufgabe 5: Operationsverstärker (20 Punkte)

Im Bild 5.1 ist das Schaltbild einer OP-Schaltung abgebildet. Die Schaltung enthält einen von der Beleuchtungsstärke E abhängigen Widerstand $R_{\text{LDR}}(E)$ (Fotowiderstand, **LDR** = **L**ight **D**ependent **R**esistor), der von einer Konstantstromquelle mit dem konstanten Strom I_0 gespeist wird.

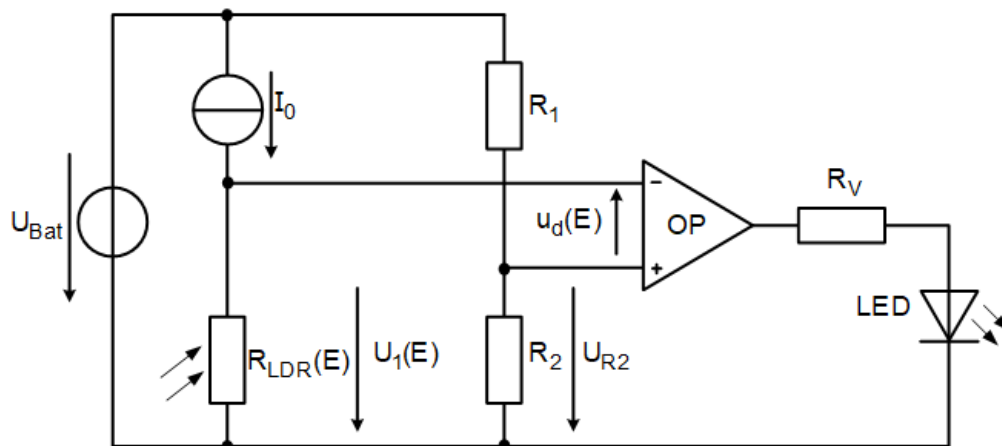


Bild 5.1: OP-Schaltung mit Fotowiderstand.

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Batteriespannung

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

Strom der Konstantstromquelle

$$I_0 = 15 \text{ } \mu\text{A}$$

Widerstand

$$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$$

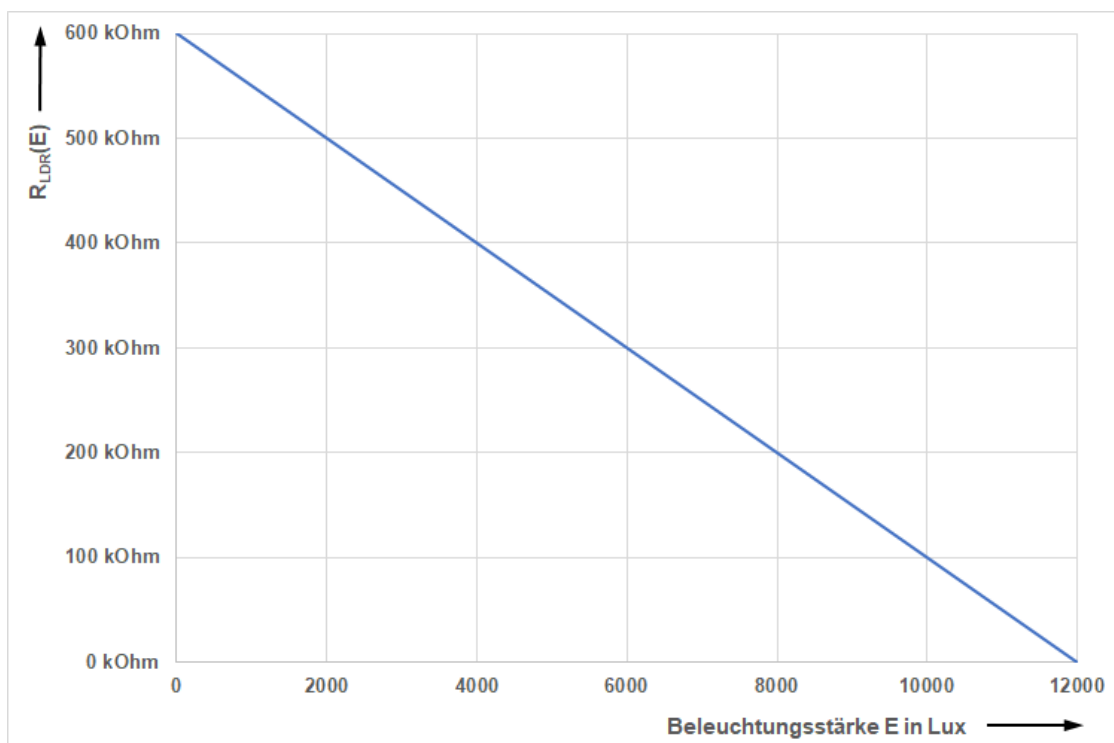


Bild 5.2 Kennlinie des Fotowiderstandes $R_{\text{LDR}}(E)$.

Annahmen und Vereinfachungen:

- Die Betriebsspannung des OP von $\pm 12\text{ V}$ ist im Bild 5.1 nicht eingezeichnet.
- Der OP darf als ideal betrachtet werden.
- Bekannte Beziehungen für OP-Grundsaltungen können ohne erneute Herleitung (Angabe „aus Formelsammlung“ genügt) verwendet werden!

Aufgabe 5.1 Allgemeines (3 Punkte)

- a) Durch welche Eigenschaften ist ein idealer OP charakterisiert?
- b) Was versteht man unter Gegenkopplung und was bewirkt die Gegenkopplung?
- c) Weshalb fließt der gesamte Strom I_0 der Konstantstromquelle durch $R_{\text{LDR}}(E)$?

Aufgabe 5.2 Fotowiderstand – $R_{\text{LDR}}(E)$ (4 Punkte)

- a) Geben Sie für die auf dem Lösungsbogen gegebene Widerstandskennlinie $R_{\text{LDR}}(E)$ die Geradengleichung in der Form $R_{\text{LDR}}(E) = R_0 + m \cdot E$ an (Werte mit Einheiten!).
- b) Berechnen Sie folgende Widerstandswerte:
 $R_{\text{LDR}}(1.000\text{ Lux})$, $R_{\text{LDR}}(3.000\text{ Lux})$, $R_{\text{LDR}}(5.000\text{ Lux})$ und $R_{\text{LDR}}(7.000\text{ Lux})$.

Aufgabe 5.3 Schaltungsfunktion (13 Punkte)

- a) Um welche OP-Grundsaltung handelt es sich?
- b) Geben Sie die Spannung $U_1(E)$ in Abhängigkeit von $R_{\text{LDR}}(E)$ und I_0 an.
- c) Geben Sie die Spannung $u_d(E)$ in Abhängigkeit von U_{R2} und $U_1(E)$ an.
- d) Bestimmen Sie den Widerstand R_2 , sodass $U_{R2} = 5,25\text{ V}$ beträgt.
- e) Berechnen Sie $R_{\text{LDR}}(E_1)$ bei der die Schaltschwelle des OP erreicht wird. Welcher Beleuchtungsstärke E_1 entspricht dieser Widerstandswert?
- f) Geben Sie an für welche Beleuchtungsstärken die LED leuchtet bzw. für welche Beleuchtungsstärken sie nicht leuchtet.
- g) Nennen Sie eine praktisch sinnvolle Anwendung für die diese Schaltung eingesetzt werden könnte und wie man die Schaltung für die von Ihnen vorgeschlagene Anwendung erweitern bzw. abändern müsste.

Aufgabe 6 Gleichstrommaschine (20 Punkte)

In einem Laufwasserkraftwerk wird zur Erzeugung elektrischer Energie eine fremderregte Gleichstrommaschine (GM) eingesetzt. Die GM wird von einer Turbine angetrieben und als Generator betrieben. Die elektrische Energie wird über eine Einspeiseelektronik ins Energienetz eingespeist (siehe Bild 6.1).

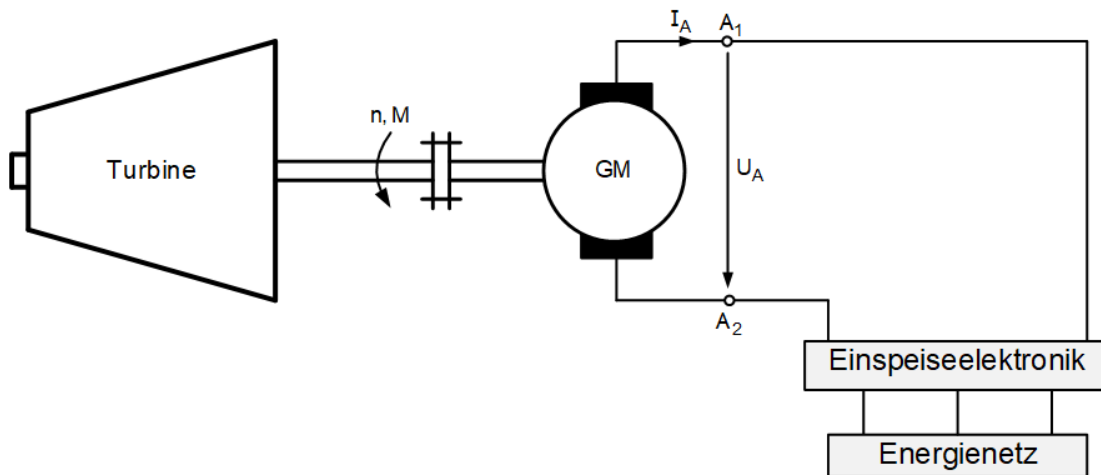


Bild 6.1 Übersichtsschaltbild des Laufwasserkraftwerks aus Turbine und GM.

Von der GM sind folgende Daten bekannt:

Ankernennspannung

$$U_{A,N} = 800 \text{ V}$$

Ankernennstrom

$$I_{A,N} = 125 \text{ A}$$

Erregerstrom einstellbar

$$I_F = 5 \text{ A} \dots 15 \text{ A}$$

Widerstand der Erregerwicklung

$$R_F = 10 \text{ } \Omega$$

Nenndrehzahl

$$n_N = 100 \text{ min}^{-1}$$

Nenndrehmoment

$$M_N = 10.000 \text{ Nm}$$

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 Zählpfeil), wenn die GM als Generator arbeitet.
- Das Drehmoment M ist positiv (siehe Zählpfeil), wenn die Turbine ein Drehmoment an die GM abgibt.
- Die Einspeiseelektronik und das Energienetz sind für die Lösung der Aufgabe belanglos.

Aufgabe 6.1 Allgemeines (5 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 L_A und L_F keine Spannungsabfälle auf?
- c) Weshalb wird für diesen Anwendungsfall keine permanentmagneterregte Gleichstrommaschine eingesetzt?

Hinweis: Denken Sie an die von der Fließgeschwindigkeit und Wassermenge abhängige Drehzahl der Turbine und an die induzierte Spannung der GM.

Aufgabe 6.2 Nennbetrieb (9 Punkte)

Der Erregerstrom im Nennbetrieb betrage $I_F = 10 \text{ A}$.

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 $P_{\text{VA,N}}$.
- Die ohmschen Verluste im Erregerkreis $P_{\text{VF,N}}$.
- Den Ankerwiderstand R_A .
- Die induzierte Spannung $U_{i,N}$.
- Die Maschinenkonstante mal Fluss $(c \cdot \Phi)_N$.
- Den Wirkungsgrad $\eta_{\text{GM,N}}$ der GM.

Aufgabe 6.3 Arbeitspunkt AP 1 (6 Punkte)

Die Drehzahl beträgt nun $n_{\text{AP1}} = 80 \text{ min}^{-1}$. Der Erregerstrom soll nun so eingestellt werden, dass der Ankerstrom $I_{A,\text{AP1}} = 100 \text{ A}$ und die Ankerspannung $U_A = U_{A,N} = 800 \text{ V}$ betragen.

- Wie groß muss die induzierte Spannung $U_{i,\text{AP1}}$ sein?
- Auf welchen Wert muss $(c \cdot \Phi)_{\text{AP1}}$ eingestellt werden?
- Wie groß ist der Erregerstrom $I_{F,\text{AP1}}$?
- Wie groß ist das von der Turbine an die GM abgegebene Drehmoment M_{AP1} ?
- Begründen Sie, ob dieser Arbeitspunkt zulässig ist.