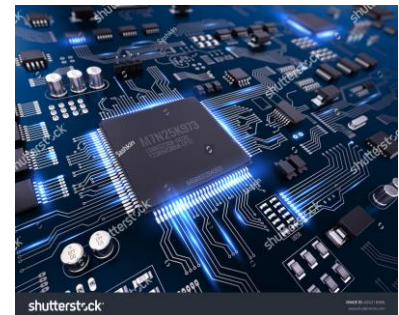


Übungsaufgaben

„Einführung in die Elektrotechnik 2“



Inhalt:

1. Wiederholung „Einführung in die Elektrotechnik I“

Ab hier Themen zu „Einführung in die Elektrotechnik II“

2. Diode, Zenerdiode

3. npn-Bipolartransistor – Kennlinien, Ersatzschaltbild

4. npn-Bipolartransistor – Anwendung als Schalter, Arbeitsgerade

5. npn-Bipolartransistor – Anwendung als Signalverstärker

6. Operationsverstärker (OP)

7. Gleichstrommaschine (GM)

Vorbemerkung: Sie können aus den Übungen nur dann einen Nutzen ziehen, wenn Sie sich vor der Übung mit den Aufgaben beschäftigen und diese versuchen eigenständig zu lösen. Ansonsten könnte es sein, dass Sie während der Vortragsübung den einzelnen Schritten nur schwer oder gar nicht folgen können und für Sie das Tempo zu schnell ist.

1. Wiederholung „Einführung in die Elektrotechnik I“

Aufgabe 1.1 (Aufgabe aus der Prüfung vom Frühjahr 2012)

Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

In Bild 1 ist die Schaltung eines sogenannten Phasenschiebers dargestellt. Mit dem veränderbaren Widerstand R_3 kann die Phasenlage der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Bezug auf die Phasenlage der Spannung $\underline{U}$ theoretisch im Bereich von 0° bis 180° eingestellt werden. Die Schaltung wird an einer sinusförmigen Wechselspannung betrieben.

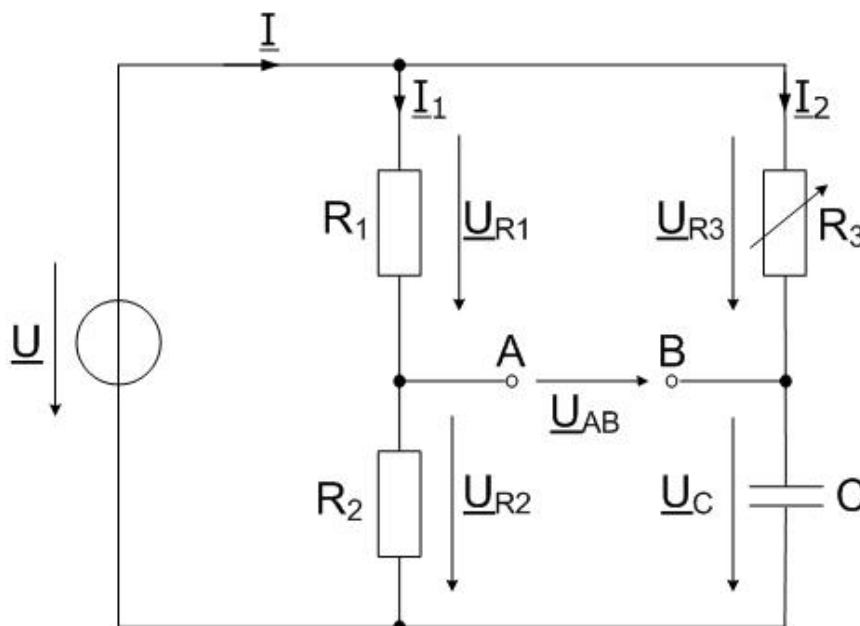


Bild 1: Schaltung des Phasenschiebers

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Versorgungsspannung:	$\underline{U} = U = 100 \text{ V}$
Frequenz der Versorgungsspannung:	$f = 50 \text{ Hz}$
Widerstände:	$R_1 = R_2 = 500 \text{ } \Omega$
	R_3 veränderbar
Kapazität des Kondensators C:	$C = 6 \text{ } \mu\text{F}$

Frage 1 Zeigerdiagramme

- a) Zeichnen Sie zunächst ein qualitatives, d.h. nicht maßstäbliches Zeigerdiagramm, welches alle in Bild 1 eingetragenen Spannungen enthält und kennzeichnen Sie die Punkte A und B.
- b) Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich größer ist als die Spannung U_C , d.h. für den Fall $U_{R3} \gg U_C$.
- c) Zeichnen Sie erneut ein qualitatives Zeigerdiagramm für den Fall, dass die Spannung U_{R3} wesentlich kleiner ist als die Spannung U_C , d.h. für den Fall $U_{R3} \ll U_C$.
- d) Geben Sie ohne Rechnung an, wie groß R_3 jeweils theoretisch sein muss, damit die Spannung $\underline{U}_{AB}$ eine Phasenverschiebung von 0° bzw. 180° zur Spannung $\underline{U}$ aufweist. Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme.
- e) Wie groß ist der Betrag U_{AB} der Spannung $\underline{U}_{AB}$ in Abhängigkeit von R_3 ? Begründen Sie Ihre Antworten kurz anhand der Zeigerdiagramme (keine Rechnung erforderlich).

Hinweis: Wählen Sie für den Spannungszeiger $\underline{U}$ eine Länge von 12 cm und beginnen Sie mit diesem Spannungszeiger in der horizontalen Lage. Beachten Sie stets, dass $R_1 = R_2$ ist.

Tragen Sie in allen Zeigerdiagrammen sämtliche in Bild 1 angegebene Spannungen ein und kennzeichnen Sie jeweils die Punkte A und B.

Frage 2 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 100 \Omega$

- a) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_1$ und die Spannung $\underline{U}_{R2}$.
- b) Berechnen Sie die Impedanz $\underline{Z}$ für den Zweig bestehend aus R_3 und C zunächst allgemein in Abhängigkeit von R_3 und $X_C = 1/(\omega C)$ und den Zahlenwert für den Fall, dass $R_3 = 100 \Omega$ gewählt wird.
- c) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall, dass $R_3 = 100 \Omega$ beträgt.
- d) Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).
- e) Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Frage 3 Ströme und Spannungen bei $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$

- a) Berechnen Sie den Strom $\underline{I}_2$ und die Spannungen $\underline{U}_C$ und $\underline{U}_{AB}$ für den Fall, dass $R_3 = 10 \text{ k}\Omega$ beträgt.
- b) Berechnen Sie den Phasenverschiebungswinkel φ_{AB} zwischen der Spannung $\underline{U}_{AB}$ und $\underline{U}$ (Winkel gepfeilt von $\underline{U}$ nach $\underline{U}_{AB}$).
- c) Eilt $\underline{U}_{AB}$ der Spannung $\underline{U}$ vor oder nach (kurze Begründung)?

Frage 4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

- a) Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die von der Schaltung aufgenommene Wirkleistung P in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , R_3 und $X_C = 1/(\omega \cdot C)$.
- b) Bestimmen Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) die in der Schaltung „umgesetzte“ Blindleistung Q in Abhängigkeit von U , R_1 , R_2 , R_3 und $X_C = 1/(\omega \cdot C)$.
- c) Wie kann aus P und Q die Scheinleistung $\underline{S}$ bestimmt werden (keine Zahlenwerte!)?
- d) Geben Sie allgemein (keine Zahlenwerte!) in Abhängigkeit von P und Q den Betrag S der Scheinleistung $\underline{S}$ an.

Aufgabe 1.2 (Aufgabe aus der Prüfung vom Herbst 2014)

Grundlagen, komplexe Wechselstromrechnung

Die in Bild 1 dargestellte Schaltung mit den ohmschen Widerständen R_1 , R_2 , R_3 sowie R_4 wird an einer sinusförmigen Wechselspannung mit dem Effektivwert U_0 und der Frequenz f betrieben. Nachfolgend soll das Verhalten der Schaltung in Abhängigkeit der Bauteile und ihrer Werte berechnet werden.

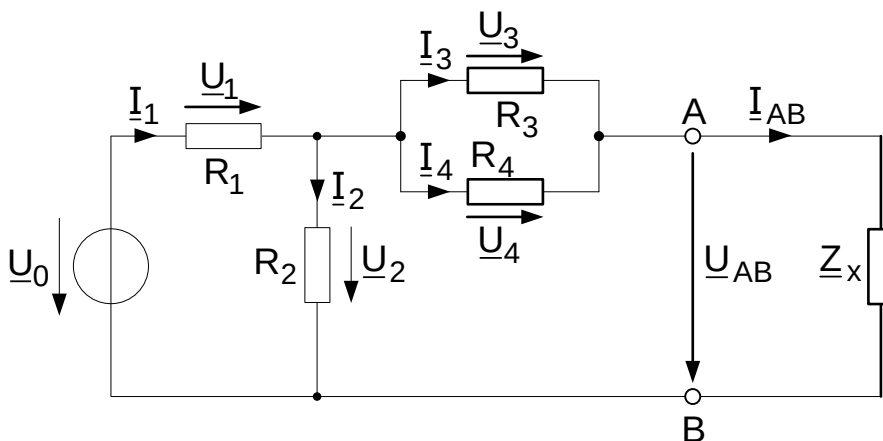


Bild 1: Ersatzschaltbild der Schaltung

Generell gilt:

- Geben Sie die gesuchten Größen zunächst in Abhängigkeit von den gegebenen bzw. bereits berechneten Größen an und berechnen Sie erst anschließend die zugehörigen Zahlenwerte.
- Stellen Sie Endergebnisse mit komplexen Zahlen in kartesischer Schreibweise dar, also Realteil + $j \cdot$ Imaginärteil !

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Widerstände:

$$R_1 = 40 \, \Omega$$

$$R_2 = 60 \, \Omega$$

$$R_3 = 120 \, \Omega$$

$$R_4 = 60 \, \Omega$$

Frage 1 Zeigerdiagramm

- a) Vervollständigen Sie auf dem Lösungsblatt (siehe Seite 10) das qualitative Zeigerdiagramm für die in Bild 1 dargestellte Schaltung so, dass alle eingezeichneten Spannungen und Ströme enthalten sind. Beachten Sie dabei, dass die Spannung $\underline{U}_{AB}$ waagrecht und der Zeiger des Stromes $\underline{I}_{AB}$ senkrecht nach oben eingezeichnet ist.

Hinweis: Verwenden Sie ein Lineal bzw. Geodreieck und achten Sie auf eine übersichtliche Darstellung, z.B. durch unterschiedliche Farben für Spannungen und Ströme. Nutzen Sie außerdem das Gitternetz und legen Sie die Start- und Endpunkte der Zeiger auf Schnittpunkte des Gitters.

Frage 2 Spannungen und Ströme

Es sei für die Schaltung aus Bild 1 $\underline{U}_{AB} = 60 \text{ V} + j \cdot 0 \text{ V}$ und $\underline{I}_{AB} = j \cdot 1,5 \text{ A}$.

- a) Welche Spannung $\underline{U}_0$ muss die Quelle für diesen Fall liefern? Geben Sie auch den Effektivwert U_0 von $\underline{U}_0$ an. Berechnen Sie dazu zunächst die Spannungen $\underline{U}_1$, $\underline{U}_2$, $\underline{U}_3$, $\underline{U}_4$ sowie die Ströme $\underline{I}_1$, $\underline{I}_2$, $\underline{I}_3$, $\underline{I}_4$.
- b) Berechnen Sie die Phasenverschiebung φ zwischen dem Strom $\underline{I}_1$ und der Spannung $\underline{U}_0$.
- c) Geben Sie die komplexe Impedanz $\underline{Z}_x$ des Verbrauchers an den Klemmen A-B an und begründen Sie, aus wie vielen Widerständen, Induktivitäten und Kondensatoren dieser bestehen müsste.

Frage 3 Netzumformung

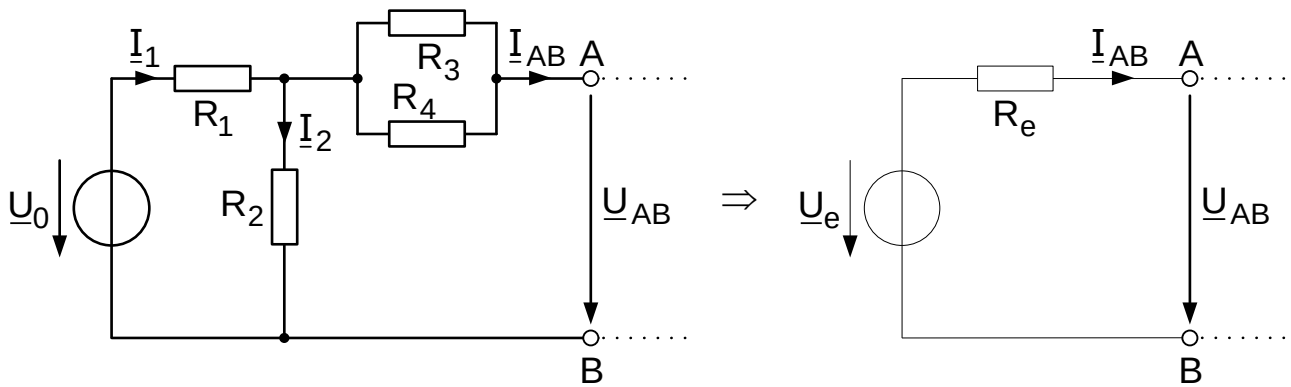


Bild 2: Ersatzschaltbild der Ersatzspannungsquelle

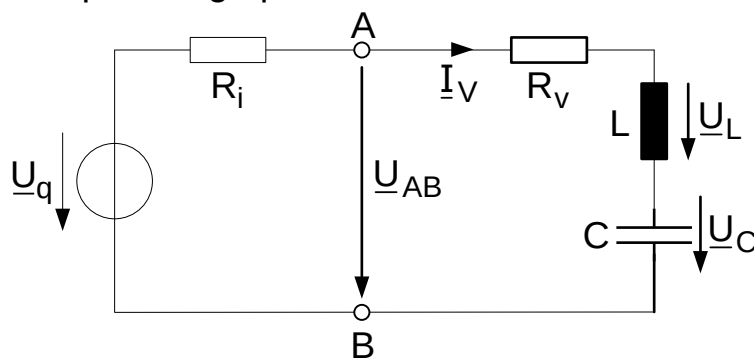
Um die weitere Schaltungsanalyse zu vereinfachen, soll der Schaltungsteil links der Klemmen A und B aus Bild 1 durch eine entsprechende Ersatzspannungsquelle $\underline{U}_e$ mit dem Innenwiderstand R_e gemäß Bild 2 dargestellt werden. Hierbei gilt für die ursprüngliche Spannungsquelle: $\underline{U}_0 = 192 \text{ V} + j \cdot 0 \text{ V}$

- a) Bestimmen Sie die Spannung $\underline{U}_e$ und den Widerstand R_e der Ersatzspannungsquelle.
- b) Wie groß werden die Ströme $\underline{I}_{AB}$ und $\underline{I}_1$, wenn die Klemmen A-B kurzgeschlossen werden?

Frage 4 Schein-, Wirk- und Blindleistung

Ersatzspannungsquelle

Verbraucher

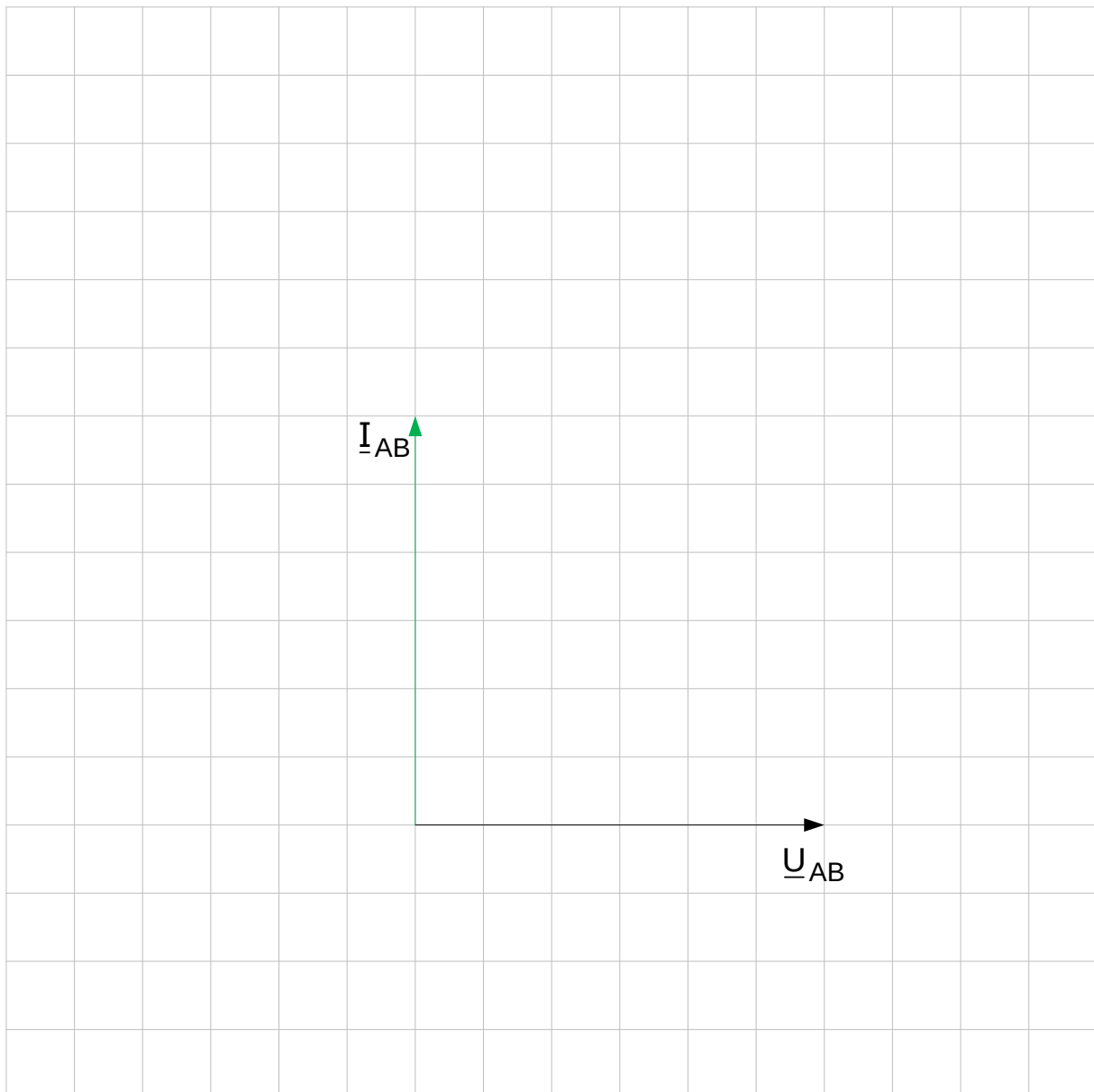


– Bild 3: Ersatzschaltbild der Schaltung mit Verbraucher

An eine andere Ersatzspannungsquelle mit $\underline{U}_q = 50 \text{ V}$ und dem Innenwiderstand $R_i = 20 \Omega$ wird nun gemäß Bild 3 als Verbraucher eine RLC-Serienschaltung bestehend aus dem Widerstand $R_V = 30 \Omega$, einer Spule mit der Induktivität $L = 0,8 \cdot \pi^{-1} \text{ H}$ und dem Kondensator mit $C = (3.000 \cdot \pi)^{-1} \text{ F}$ angeschlossen.

- Berechnen Sie für $f = 50 \text{ Hz}$ die Impedanz $\underline{Z}_V$ des Verbrauchers und die vom Verbraucher aufgenommene komplexe Scheinleistung $\underline{S}_V$ sowie die Wirkleistung P_V und die Blindleistung Q_V .
- Berechnen Sie die Frequenz f_r , bei welcher der Verbraucher keine Blindleistung mehr aufnimmt, also $Q_V(f_r) = 0$ var beträgt.
- Bestimmen Sie den Strom $\underline{I}_V$ bei Resonanz, d.h. bei $f = f_r$ und geben Sie dessen Wert an.

Lösungsblatt zur Frage 1 Zeigerdiagramm



2. Diode, Zenerdiode

Aufgabe 2.1 (Arbeitspunkt, Arbeitsgerade)

Eine Leuchtdiode (LED) mit der in Bild 2 gegebenen Strom-Spannungs-Kennlinie soll über einen Vorwiderstand R_V , wie in Bild 1 dargestellt, an einer idealen Batterie (Innenwiderstand gleich null) mit der Spannung $U_{\text{Bat}} = 10 \text{ V}$ betrieben werden. Der Vorwiderstand R_V soll so dimensioniert werden, dass der Strom durch die Leuchtdiode $I_{\text{LED}} = 20 \text{ mA}$ beträgt.

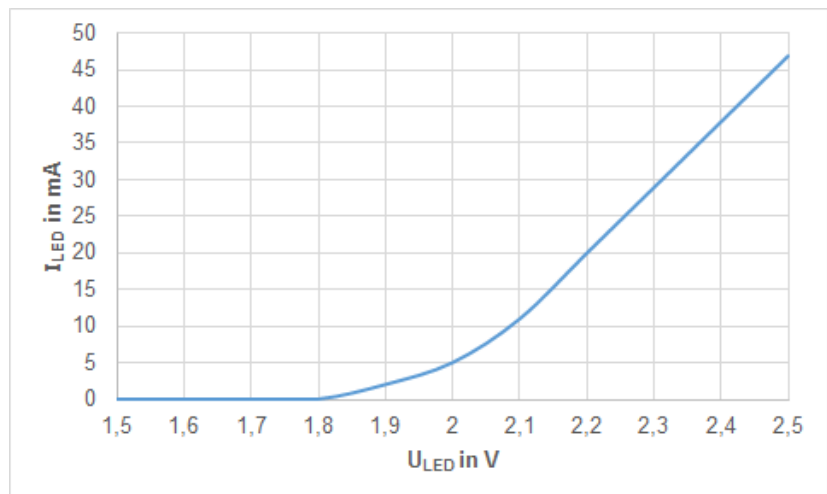
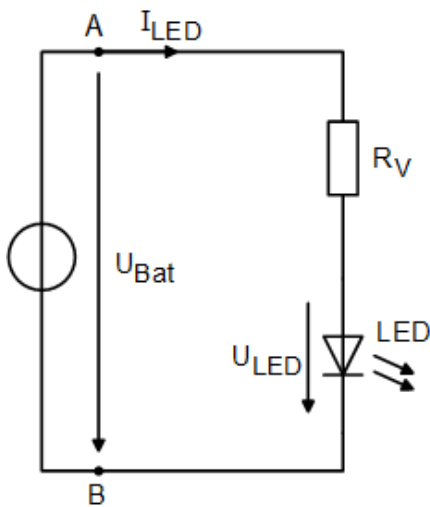


Bild 1: LED mit Vorwiderstand zur Betriebsanzeige

Bild 2: Auszug aus dem Datenblatt der verwendeten LED

Frage 1

- Wie groß ist die Spannung U_{LED} bei dem geforderten Strom durch die Diode?
- Welchen Wert muss der Vorwiderstand R_V haben, damit sich der geforderte Arbeitspunkt einstellt?
- Welche (Verlust)-Leistung tritt im Vorwiderstand auf?
- Wie groß ist die Leistungsaufnahme der gesamten Schaltung aus Bild 1?
- Wie könnte der Arbeitspunkt bei bekanntem U_{Bat} , R_V und der Diodenkennlinie grafisch, d.h. mittels der Arbeitsgeraden, konstruiert werden?

Aufgabe 2.2 (Brückenschaltung mit 4 Dioden, Linearisierung)

Um einen elektrischen Verbraucher gegen falsches Anschließen (Verpolung) an eine Spannungsversorgung (z.B. Batterie) zu schützen, wird eine Brückenschaltung aus vier Dioden, wie sie auch in Gleichrichterschaltungen genutzt wird, eingesetzt (siehe Bild 1). Der Verbraucher wird zur Vereinfachung durch einen ohmschen Widerstand R_L beschrieben.

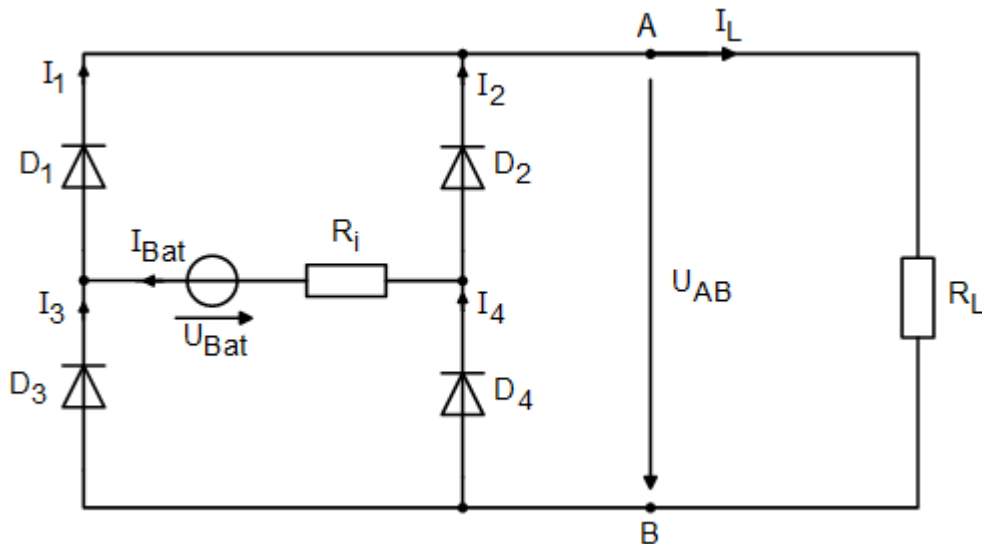


Bild 1: Brückenschaltung aus vier baugleichen Dioden mit angeschlossenem Lastwiderstand

Von der Schaltung sind die folgenden Daten bekannt:

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

Innenwiderstand der Batterie: $R_i = 100 \text{ m}\Omega$

Lastwiderstand: $R_L = 15 \Omega$

Diode: Bild 2 zeigt die Strom-Spannungskennlinie (SSK) der verwendeten Dioden – logarithmischen Maßstab beachten!

➔ Siehe Zusatzblätter „Logarithmische Maßstäbe“

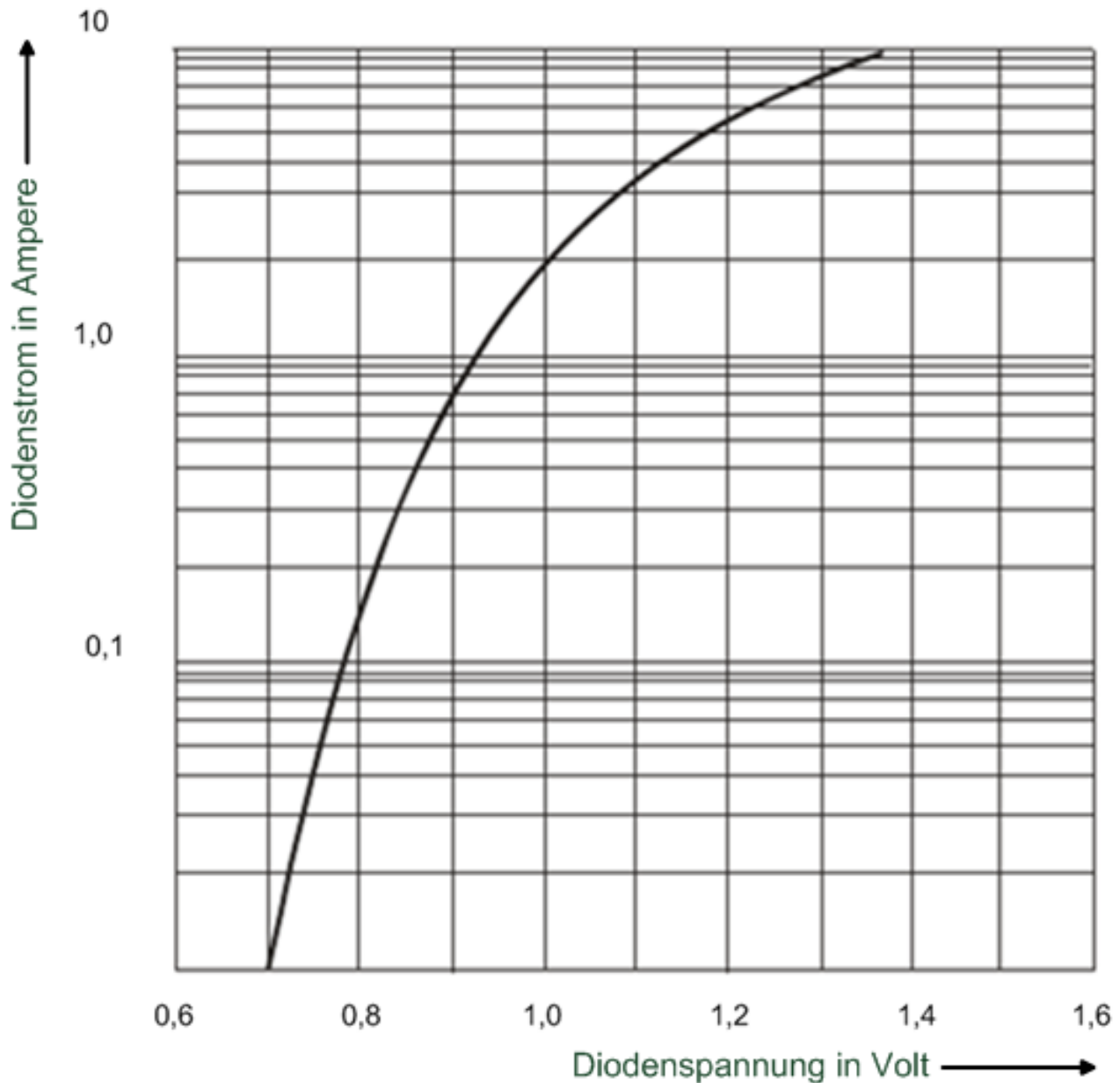


Bild 2: Strom-Spannungskennlinie der Diode in Vorwärtsrichtung. Auszug aus dem Datenblatt der verwendeten Dioden - logarithmischer Maßstab!!

Frage 1 Grobe Schaltungsanalyse

Gehen Sie zunächst von idealen Dioden aus.

- Welche der vier Dioden leiten, welche sperren (für $U_{\text{Bat}} > 0 \text{ V}$)?
- Zeichnen Sie ein vereinfachtes Ersatzschaltbild der Schaltung, in welchem Sie die nichtleitenden Dioden (für $U_{\text{Bat}} > 0 \text{ V}$) vernachlässigen.

Für alle weiteren Teilaufgaben gilt: Sperrende Dioden können vernachlässigt werden.

Frage 2 Linearisierung

Im Folgenden sollen die Dioden durch ein linearisiertes Dioden-ESB beschrieben werden.

- a) Gehen Sie zunächst von idealen Dioden aus und schätzen sie den Laststrom grob ab.
- b) Wie lässt sich diese grobe Abschätzung mit wenig Aufwand noch verbessern?
- c) Linearisieren Sie die Diodenkennlinie um den Arbeitspunkt mit $I_L = 0,8 \text{ A}$
*Hinweis: Suchen sie gut ablesbare Wertepaare aus der gegebenen SSK und zeichnen Sie die SSK mit **linearen** Maßstäben neu bevor Sie linearisieren!*
- d) Geben Sie die Schleusenspannung U_S und den dynamischen Widerstand R_d der Dioden an.
- e) Zeichnen Sie die Schaltung erneut auf und verwenden Sie dabei das linearisierte Dioden-ESB.
- f) Berechnen Sie den Laststrom I_L .
- g) Berechnen Sie die Verlustleistung, die in den leitenden Dioden auftritt.
- h) Wie groß ist die Differenz zwischen der Schleusenspannung U_S und der gesamten Spannung an einer Diode U_D ?

Frage 3 Veränderung des Lastwiderstandes

Im Folgenden wird der Lastwiderstand verdoppelt. Es gilt nun: $R_L = 30 \Omega$

- a) Ist die in Frage 2 bestimmte Linearisierung auch für diesen Lastwiderstand gültig (Begründung)?
- b) Berechnen Sie den Laststrom und die Spannungen an den Dioden.

Frage 4 Leerlauf

Die Diodenbrücke wird nun bei Leerlauf betrachtet, d.h. $R_L \rightarrow \infty$.

- a) Ist die in Frage 2 bestimmte Linearisierung für diesen Arbeitspunkt gültig (Begründung)?
- b) Geben Sie die Klemmenspannung U_{AB} an.

Frage 5 Umpolung der Quelle

Im Folgenden wird die Spannungsquelle umgekehrt herum angeschlossen, d.h. $U_{\text{Bat}} = -12 \text{ V}$.

- a)** Was ändert sich im Vergleich zu den Fragen 1 bis 4?
- b)** Geben Sie die Klemmspannung U_{AB} für $R_{\text{L}} = 15 \Omega$, $R_{\text{L}} = 30 \Omega$ und den Leerlauf an.

Aufgabe 2.3 (Zenerdiode zur Spannungsstabilisierung)

Zur Spannungsstabilisierung wird eine Reihenschaltung aus einem Widerstand R und einer Zenerdiode Z entsprechend Bild 1 eingesetzt.

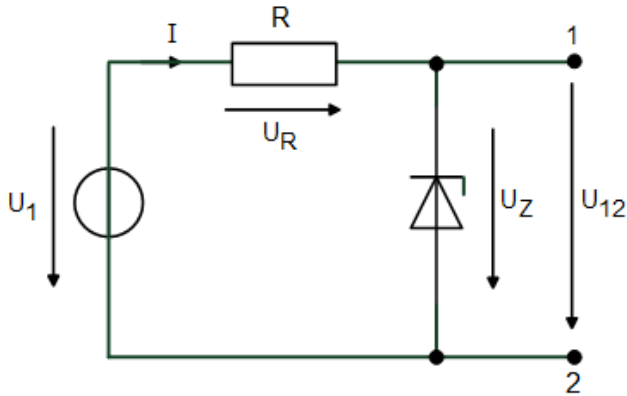


Bild 1: Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit einer Zener-Diode

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle: U_1 (variabel, siehe Fragen)

Ohm'scher Widerstand: $R = 12 \, \Omega$

Diode: Kennlinie in Bild 2

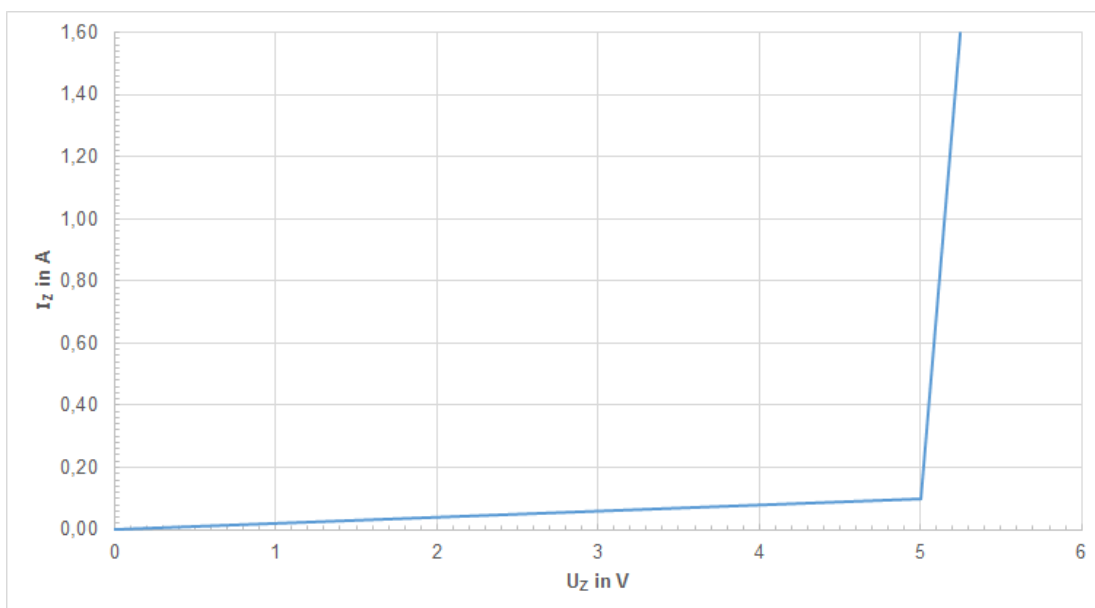


Bild 2: Kennlinie der Zenerdiode

Frage 1 Arbeitsgeraden, grafische Bestimmung der Arbeitspunkte

- a) Zeichnen Sie für $U_1 = 2\text{ V}$, $U_1 = 4\text{ V}$, $U_1 = 6\text{ V}$, $U_1 = 10\text{ V}$ und $U_1 = 14\text{ V}$ die Arbeitsgeraden in Bild 2 ein.
- b) Geben Sie für $U_1 = 2\text{ V}$, $U_1 = 4\text{ V}$, $U_1 = 6\text{ V}$, $U_1 = 10\text{ V}$ und $U_1 = 14\text{ V}$ die sich einstellenden Arbeitspunkte an.
- c) Skizzieren Sie die Spannung U_{12} in Abhängigkeit von der Spannung U_1 .

Frage 2 Linearisierung

- a) Linearisieren Sie die Kennlinie der Zenerdiode für $U > 5\text{ V}$ und berechnen Sie die sich einstellenden Arbeitspunkte für $U_1 = 6\text{ V}$, $U_1 = 10\text{ V}$ und $U_1 = 14\text{ V}$
- b) Wie können die Arbeitspunkte für $U_1 = 4\text{ V}$, $U_1 = 2\text{ V}$ berechnet werden?

3. npn-Bipolartransistor – Kennlinien, Ersatzschaltbild

Aufgabe 3.1 (Linearisierung der npn-Bipolar-Transistor-Kennlinien)

Gegeben ist die Eingangskennlinie $I_B = f(U_{BE})$ und eine Ausgangskennlinie $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ für einen Basisstrom $I_B = 0,15 \text{ mA}$ eines npn-Bipolar-Transistors. Die Kennlinien sind jeweils in Tabellenform gegeben. Der Arbeitspunkt soll bei $I_{B,AP} = 0,15 \text{ mA}$ liegen.

$U_{BE} [\text{V}]$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,63	0,66	0,69	0,72
$I_B [\mu\text{A}]$	0	0	0	3	5	9	30	100	170	250	330

Tabelle 1: Eingangskennlinie $I_B = f(U_{BE})$ des Bipolartransistors

$U_{CE} [\text{V}]$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$I_C [\text{mA}]$	0	36	40	41	42	43	44	45	46	47	48

Tabelle 2: Ausgangskennlinie $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ des Bipolartransistors für $I_B = 0,15 \text{ mA}$

Frage 1 Basis-Emitter-Kreis

- Zeichnen Sie die Kennlinie $I_B = f(U_{BE})$ in das vorbereitete Diagramm in Bild 1 ein und linearisieren Sie die Kennlinie um den Arbeitspunkt, welcher bei $I_{B,AP} = 0,15 \text{ mA}$ liegen soll (Verwenden Sie gegebene umliegende Punkte und linearisieren Sie durch eine Sekante).
- Bestimmen Sie das elektrische Ersatzschaltbild für den Basis-Emitter-Kreis des linearisierten Transistors und geben Sie die Werte der darin vorkommenden Zweipole an.

Frage 2 Kollektor-Emitter-Kreis

- Zeichnen Sie die Kennlinie $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ für einen Basisstrom von $I_B = 0,15 \text{ mA}$ in das vorbereitete Diagramm in Bild 1.2 ein und linearisieren Sie die Kennlinie grafisch um den Arbeitspunkt, welcher bei $I_{C(AP)} = 44 \text{ mA}$ und $U_{CE(AP)} = 6 \text{ V}$ liegen soll.
- Bestimmen Sie das elektrische Ersatzschaltbild für den Kollektor-Emitter-Kreis des linearisierten Transistors und geben Sie die Werte der darin vorkommenden Zweipole an.

Frage 3 Ersatzschaltbild

- a)** Zeichnen Sie das gesamte Ersatzschaltbild für den um den gegebenen Arbeitspunkt linearisierten Transistor.
- b)** Welche weiteren Vereinfachungen sind denkbar?

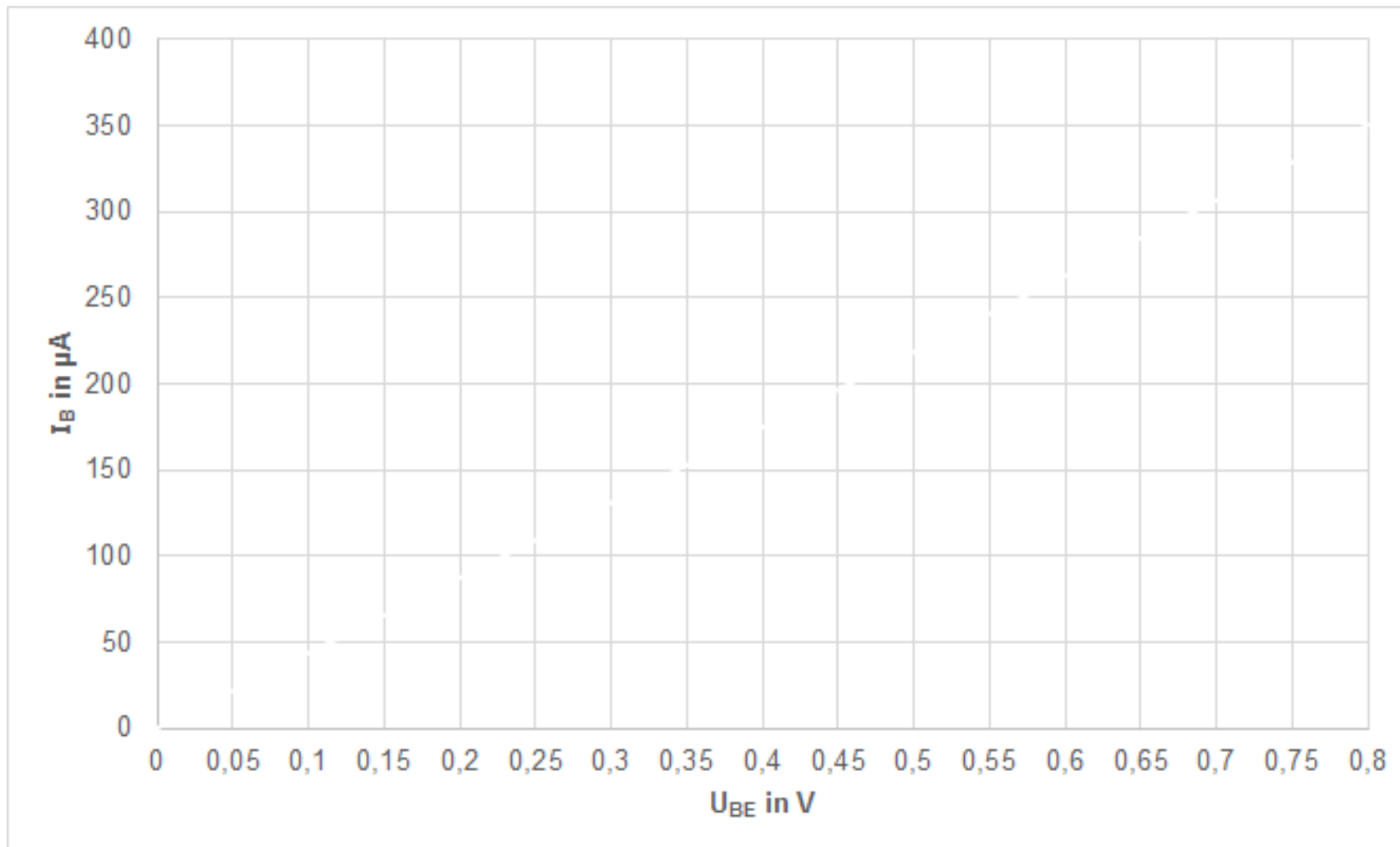


Bild 1: Eingangskennlinie $I_B = f(U_{BE})$ des npn-Bipolartransistors

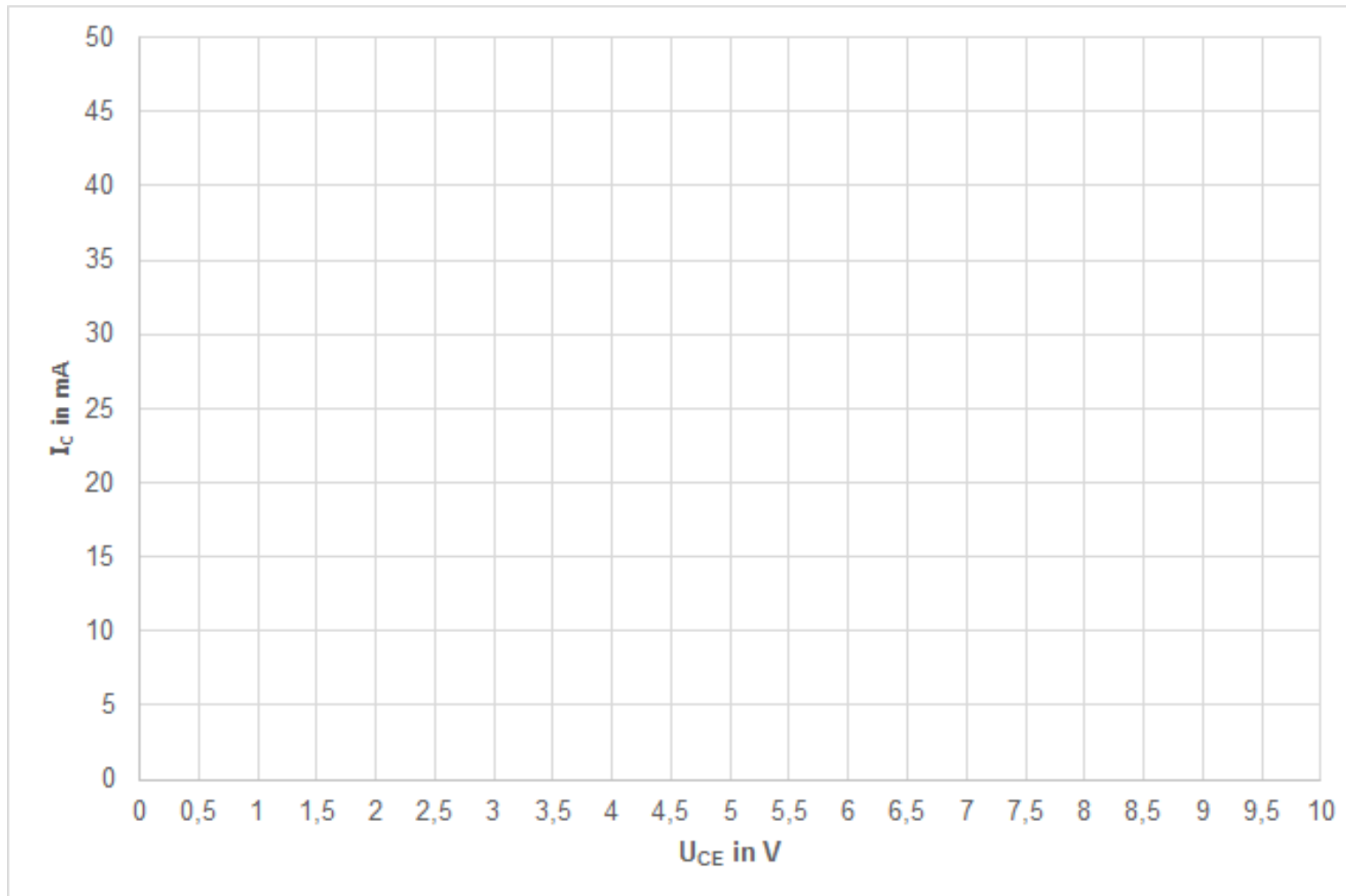


Bild 2: Ausgangskennlinie $I_C = f(U_{CE}, I_B)$ des npn-Bipolartransistors für $I_B = 0,15$ mA

4. npn-Bipolartransistor – Anwendung als Schalter

Aufgabe 4.1 (Transistor als Schalter)

Im Bild 1 ist das Ersatzschaltbild einer elektrischen Schaltung mit einem npn-Bipolartransistor und einer Glühlampe (GL) gegeben.

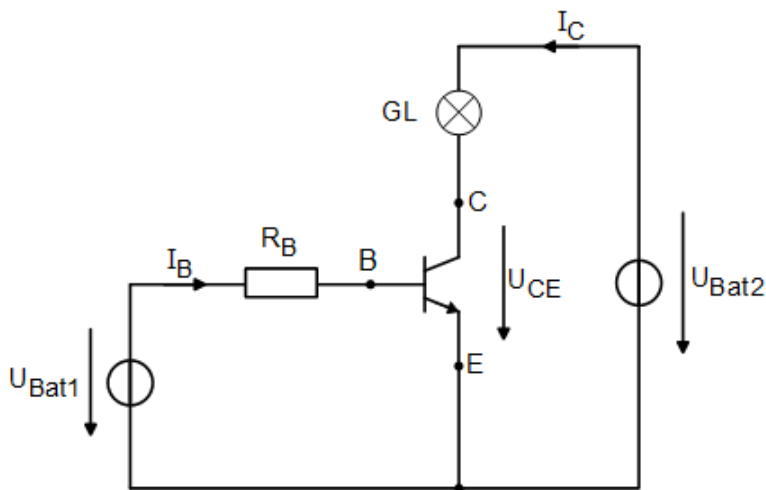


Bild 1: Schaltung mit npn-Transistor und Glühlampe

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquellen $U_{\text{Bat1}} = 3 \text{ V}$
 $U_{\text{Bat2}} = 12 \text{ V}$

npn-Transistor

Schleusenspannung: $U_{\text{BE0}} = 0,62 \text{ V}$
 Basis-Emitter-Widerstand: $R_{\text{BE}} = 390 \Omega$
 Gleichstromverstärkung: $B = 250 \quad R_{\text{CE}} \rightarrow \infty$
 Sättigungsspannung: $U_{\text{CE,sat}} = 1 \text{ V}$

Glühlampe (GL)

Nennspannung: $U_{\text{N}} = 10 \text{ V}$
 Nennleistung: $P_{\text{N}} = 500 \text{ mW}$

Die Glühlampe (GL) kann näherungsweise durch einen konstanten ohmschen Widerstand beschrieben werden.

Frage 1 Allgemeines

- a) Um welche Transistor Grundschaltung handelt es sich?
- b) Welche Funktion erfüllt der Transistor in dieser Schaltung?
- c) Zeichnen Sie das obige Ersatzschaltbild erneut auf, indem Sie den Transistor durch sein linearisiertes Ersatzschaltbild ersetzen.

Frage 2 Dimensionierung des Basis-Vorwiderstandes R_B

- a) Berechnen Sie den Kollektorstrom $I_{C(AP)}$, sodass die Glühbirne im Nennbetriebspunkt betrieben wird.
- b) Berechnen Sie den Basisvorwiderstand R_B , sodass im Kollektor-Emitter-Kreis der geforderte Kollektorstrom $I_{C(AP)}$ fließt.
- c) Welche Spannung $U_{CE(AP)}$ fällt in diesem Arbeitspunkt an der Kollektor-Emitter-Strecke des Transistors ab.
- d) Welche Leistung (Verlustleistung) wird im Transistor in diesem Arbeitspunkt in Wärme umgesetzt?

Frage 3 Veränderung des Basis-Vorwiderstandes ($R_B > R_{B(AP)}$)

Anstelle des in Frage 2 berechneten Basisvorwiderstandes wird $R_{B(AP2)} = 15 \text{ k}\Omega$ verwendet.

- a) Berechnen Sie den Basisstrom $I_{B(AP2)}$ und den Kollektorstrom $I_{C(AP2)}$ für diesen Arbeitspunkt.
- b) Berechnen Sie die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE(AP2)}$ und die Spannung an der Glühlampe.
- c) Welche Leistung wird in der Glühlampe umgesetzt?
- d) Welche Verlustleistung tritt im Kollektor-Emitter-Kreis des Transistors auf?

Frage 4 Maximale Verlustleistung

Im Folgenden soll die maximal mögliche Verlustleistung, welche im Kollektor-Emitter-Kreis des Transistors auftreten kann, berechnet werden.

- a) Berechnen Sie die Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE(AP3)}$ bei welcher die Verlustleistung des Transistors in im Kollektor-Emitter-Kreis maximal wird.
- b) Welchem Basisvorwiderstand $R_{B(AP3)}$ entspricht dieser Arbeitspunkt?
- c) Vergleichen Sie diesen Betriebspunkt mit dem Nennbetrieb.

Frage 5 Übersteuerter Betrieb

Im Folgenden soll das Verhalten der Schaltung bei verkleinertem Basiswiderstand, d.h. bei größerem Basisstrom betrachtet werden.

a) Zeichnen Sie das Ausgangskennlinienfeld (siehe Bild 2) für folgende Basisströme:

$$I_B = 100 \mu\text{A}, I_B = 200 \mu\text{A}, I_B = 220 \mu\text{A} \text{ und } I_B = 250 \mu\text{A}.$$

b) Betrachten Sie die Spannungsquelle U_{Bat2} und die Glühlampe als eine Spannungsquelle mit Innenwiderstand und zeichnen Sie die Arbeitsgerade mit in das Kennlinienfeld ein.

c) Für welchen Kollektorstrom wird $U_{\text{CE}} = U_{\text{CE,sat}}$?

d) Welchem Basisstrom entspricht dies?

e) Welche Leistung wird bei diesem Kollektorstrom in der Glühlampe umgesetzt?

f) Ist dieser Betrieb dauerhaft zulässig?

g) Was passiert, wenn der Basisstrom weiter erhöht wird?

h) Welche Vereinfachung ist möglich bzw. üblich?

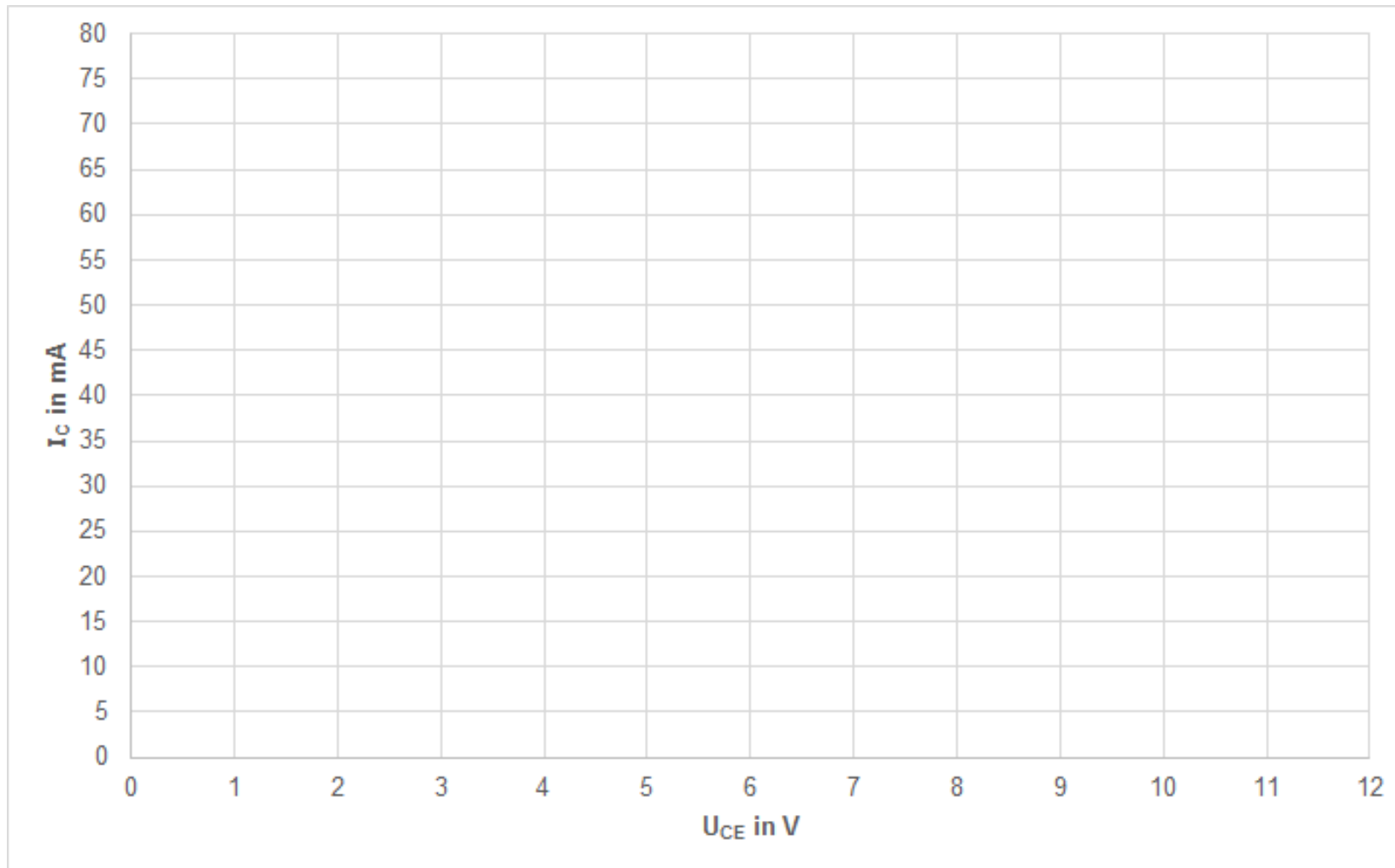


Bild 2: Ausgangskennlinienfeld des Transistors mit Arbeitsgerade

5. npn-Bipolartransistor – Anwendung als Signalverstärker

Aufgabe 5.1 (Kleinsignalverstärker mit npn-Bipolartransistor)

Im nachfolgenden Bild 1 ist die Schaltung eines Kleinsignalverstärkers dargestellt.

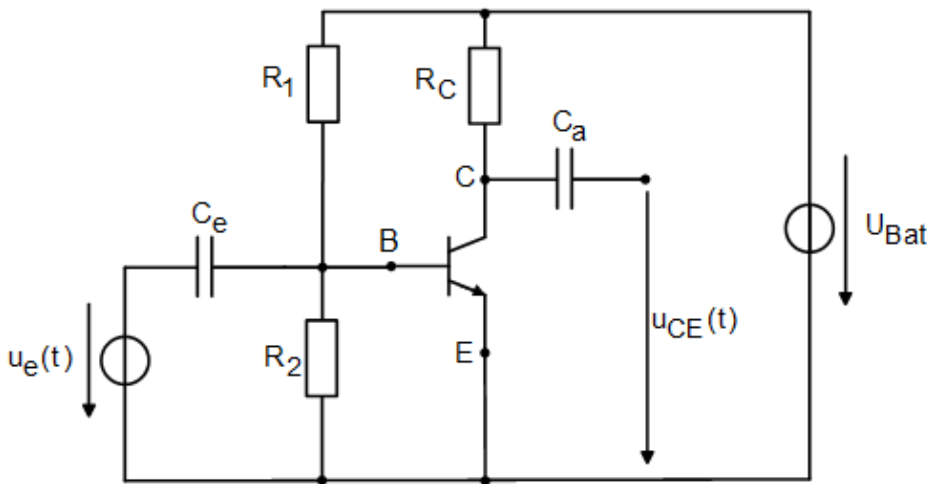


Bild 1: Kleinsignalverstärker mit einem npn-Bipolartransistor

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

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

Signalspannung

Sinusförmige Spannung: $u_e(t) = 10 \text{ mV} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$

Frequenz: $f = 1 \text{ kHz}$

npn-Transistor

Schleusenspannung: $U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$

Basis-Emitter-Widerstand: $R_{\text{BE}} = 300 \Omega$

Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{\text{CE}} = \infty \Omega$

Stromverstärkungen: $B = \beta = 200$

Kollektorstrom im Arbeitspunkt $I_{\text{C,AP}} = 30 \text{ mA}$

Kollektor-Emitterspannung im Arbeitspunkt $U_{\text{CE,AP}} = 6 \text{ V}$

- Kapazitive Effekte dürfen vernachlässigt werden!

Koppelkondensatoren $C_e = C_a = 10 \mu\text{F}$

Frage 1 Allgemeine Funktion der Schaltung

- Welchen Zweck erfüllt diese Schaltung?
- Wie nennt man diese Art der Verschaltung des Bipolartransistors?
- Welche Funktion haben die ohmschen Widerstände R_1 , R_2 und R_C ?
- Welche Funktion haben die Kondensatoren C_e und C_a ?

Frage 2 Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB) und Arbeitspunkteinstellung

- Zeichnen Sie das GS-ESB der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Widerstände R_1 , R_2 und R_C , sodass der Transistor im gewünschten Arbeitspunkt betrieben wird, sowie unter der Maßgabe, dass durch R_1 der 3-fache Basisstrom fließt.

Frage 3 Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB) und Vereinfachungen

- Zeichnen Sie das WS-ESB der Schaltung.
- Bestimmen Sie die Blindwiderstände der Kondensatoren.
Welche Vernachlässigungen können Sie treffen?
- Zeichnen Sie das WS-ESB unter Berücksichtigung der Vernachlässigungen erneut auf.

Frage 4 Verstärkung, Ein- und Ausgangsimpedanz

Die in Frage 3 getroffenen Vereinfachungen dürfen hier weiter verwendet werden.

- Bestimmen Sie die Stromverstärkung $v_I = \frac{\hat{i}_C}{\hat{i}_e}$ unter der Maßgabe, dass der Ausgang kurzgeschlossen ist (d.h. es fließt der maximale Strom) und die Spannungsverstärkung $v_U = \frac{\hat{u}_a}{\hat{u}_e}$ unter der Maßgabe, dass der Ausgang im Leerlauf ist (offener Ausgang, d.h. es fließt kein Strom).
- Wie groß sind der Eingangswiderstand r_e und der Ausgangswiderstand r_a ?
- Welchen Scheitelwert hat die Ausgangsspannung wenn der Ausgang der gesamten Schaltung mit einem ohmschen Widerstand $R_L = 1.000 \, \Omega$ belastet wird?
Berechnen Sie für diesen Fall die Strom- und Spannungsverstärkung sowie die Leistungsverstärkung $v_P = v_I \cdot v_U$.

Aufgabe 5.2 (Kleinsignalverstärker mit npn-Bipolartransistor)

Mit einem npn-Bipolartransistor soll ein Kleinsignalverstärker aufgebaut werden. Das Ersatzschaltbild des Verstärkers ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

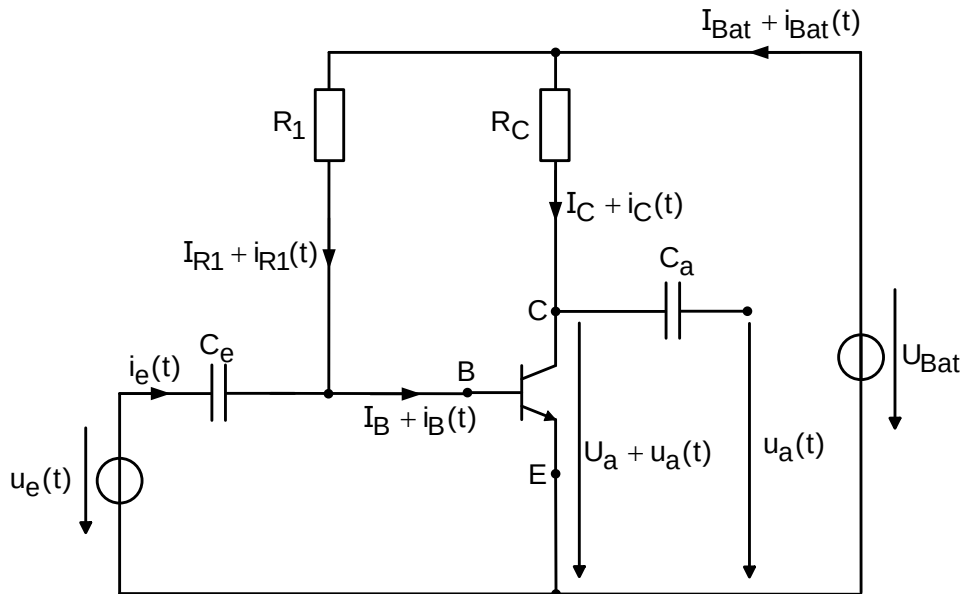


Bild 1: Grundsaltung eines Verstärkers in Emitterschaltung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

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

Signalspannung

Sinusförmige Spannung: $u_e(t) = 8,5 \text{ mV} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t)$

Frequenz: $f = 1.600 \text{ Hz}$

npn-Transistor

Schleusenspannung: $U_{\text{BE0}} = 0,6 \text{ V}$

Stromverstärkungen: $B = \beta = 200$

Basis-Emitter-Widerstand: $R_{\text{BE}} = 300 \Omega$

Kollektor-Emitter-Widerstand: $R_{\text{CE}} = 1,5 \text{ k}\Omega$

Kollektorstrom im Arbeitspunkt: $I_{\text{C(AP)}} = 30 \text{ mA}$

Kapazitive Effekte dürfen vernachlässigt werden!

Koppelkondensatoren $C_e = C_a = 10 \mu\text{F}$

Frage 1 Arbeitspunkt und Gleichstrom-Ersatzschaltbild (GS-ESB)

- a) Wo liegt der günstigste Arbeitspunkt wenn der Transistor als Kleinsignalverstärker betrieben werden soll?
Begründen Sie Ihre Antwort.
- b) Zeichnen Sie das GS-ESB der Verstärkerschaltung.
Beachten Sie dabei die getroffenen Vereinfachungen.
- c) Ermitteln Sie die Widerstände R_1 und R_C , sodass der Transistor im gewünschten Arbeitspunkt betrieben wird.
- d) Skizzieren Sie die Ausgangskennlinie des Transistors und tragen Sie die Arbeitsgerade ein.

Frage 2 Wechselstrom-Ersatzschaltbild (WS-ESB)

- a) Zeichnen Sie das WS-ESB für die Verstärkerschaltung auf.
- b) Bestimmen Sie die Blindwiderstände der Koppelkondensatoren.
Welche Vereinfachungen können Sie treffen?

Frage 3 Verstärkungen und Ausgangsspannung

- a) Berechnen Sie die Stromverstärkung v_i und die Spannungsverstärkung, wenn der Verstärker mit dem sinusförmigen Eingangssignal mit einer Frequenz von $f = 1.600 \text{ Hz}$ betrieben wird.
- b) Geben Sie den Kollektorstrom und die am Transistor zwischen Kollektor und Emitter abfallende Spannung an.
- c) Welche Spannung $u_a(t)$ kann am Ausgang der Verstärkerschaltung abgegriffen werden?

Frage 4 Untere Grenzfrequenz

- a) Berechnen Sie die untere Grenzfrequenz des Verstärkers.

6. Operationsverstärker (OP)

Aufgabe 6.1 (OP-Grundschtung)

Bild 1 zeigt eine Schaltung mit einem idealen Operationsverstärker (OP). Der Operationsverstärker wird ohne Rückkopplung betrieben.

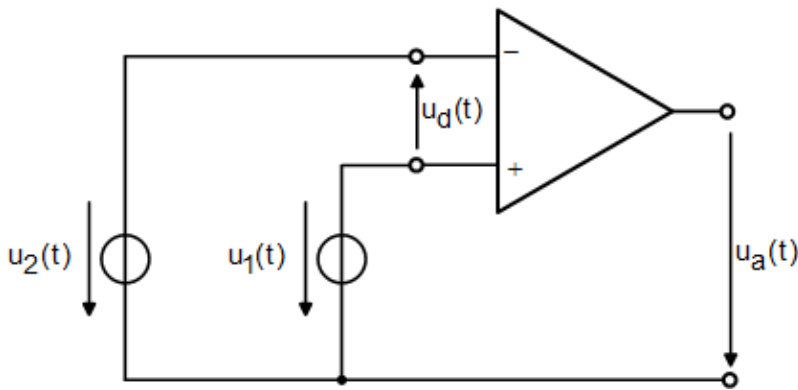


Bild 1: Operationsverstärkerschaltung ohne Rückkopplung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquellen $u_1(t) = 10 \text{ V} \cdot \sin\left(100 \cdot \pi \cdot \frac{t}{\text{ms}}\right)$

$$u_2(t) = U_2 = 6,0 \text{ V}$$

Operationsverstärker ideal

Symmetrische Versorgungsspannung $U_{\text{Bat}} = \pm 15 \text{ V}$

(im Bild 1 nicht eingezeichnet)

Frage 1 Ausgangsspannung

- Bestimmen Sie die Ausgangsspannung $u_a(t) = f(u_1(t), u_2(t))$.
- Stellen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_a(t)$ in einem Liniendiagramm dar.

Frage 2 Funktion der Schaltung

- Welche Funktion erfüllt diese Schaltung?
- Wie nennt man demnach diese Grundschtung?

Aufgabe 6.2 (OP-Grundschialtung)

Im nachfolgenden Bild 1 ist eine Schaltung mit einem idealen Operationsverstärker (OP) dargestellt.

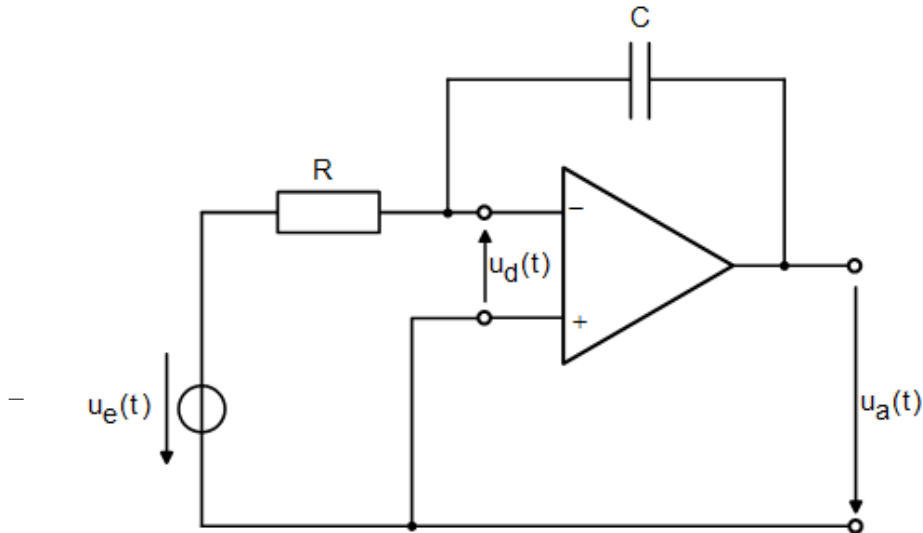


Bild 1: Schaltung mit idealem Operationsverstärker und Rück-Kopplung

Von der Schaltung sind folgende Daten bekannt:

Spannungsquelle	$u_e(t)$	(siehe Fragen)
Ohm'scher Widerstand	$R = 1\text{ k}\Omega$	
Kondensator	$C = 1\text{ }\mu\text{F}$	
	$u_C(t = 0) = 0\text{ V}$	(Anfangsbedingung)
Operationsverstärker	ideal	
	Symmetrische Versorgungsspannung $U_{OP} = \pm 15\text{ V}$	

Frage 1 Idealer OP, Rückkopplung

- a) Durch welche Eigenschaften ist ein idealer Operationsverstärker gekennzeichnet?
- b) Was bewirkt die Rückkopplung?

Frage 2 Ersatzschaltbild und Ausgangsspannung

- a) Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild (ESB) der Schaltung aus Bild 1.
- b) Ermitteln Sie die Ausgangsspannung $u_a(t)$ für $u_e(t) = U_e = 1\text{mV}$ (Gleichspannung).
- c) Zeichnen Sie die Ausgangsspannung $u_a(t)$ für $0 < t < 20\text{ s}$ auf.
- d) Ermitteln Sie die Ausgangsspannung $u_a(t)$ für die sinusförmigen Eingangsspannungen mit $\hat{u}_e = 1\text{ V}$ und den Frequenzen $f_1 = 1\text{ kHz}$ und $f_2 = 10\text{ kHz}$.

Frage 3 Funktion der Schaltung

- a) Welche Funktion erfüllt diese Schaltung?
- b) Wie heißt demnach diese Grundschialtung?

7. Gleichstrommaschine (GM)

Aufgabe 7.1 (Permanentmagneterregte Gleichstrommaschine)

Nachfolgend soll das Betriebsverhalten eines permanentmagneterregten Gleichstrommotors für ein Spielzeug untersucht werden. Das elektrische Ersatzschaltbild des Motors ist im Bild 1 dargestellt (Permanentmagnet, d.h. der Erregerkreis ist nicht dargestellt).

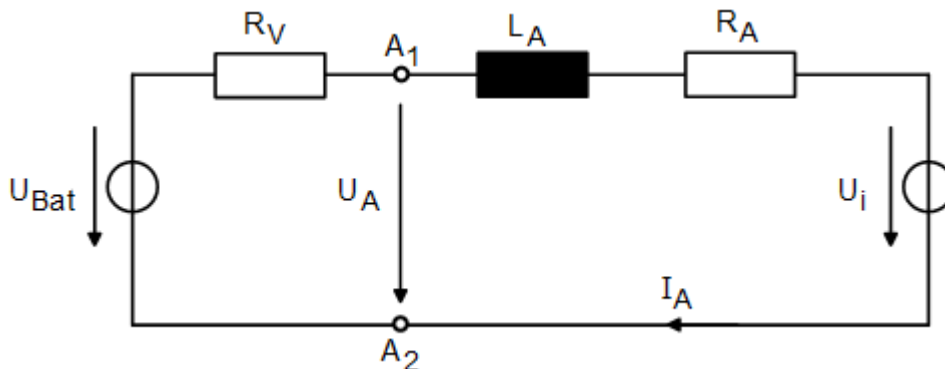


Bild 1: Elektrisches Ersatzschaltbild der Anordnung, bestehend aus Batterie, Vorwiderstand und permanentmagneterregtem GM (ohne Erregerkreis)

Es sind folgende Daten bekannt:

Batterie

Spannung: $U_{\text{Bat}} = 6,0 \text{ V}$

Der Innenwiderstand darf vernachlässigt werden, d.h. Annahme: ideale Spannungsquelle.

Gleichstrommaschine

Nenn-Ankerspannung: $U_{A,N} = 2,5 \text{ V}$

Nenndrehzahl: $n_N = 6.000 \text{ min}^{-1}$

Nenndrehmoment: $M_N = 0,17 \text{ Ncm}$

Wirkungsgrad im Nennbetrieb: $\eta_N = 42 \%$

Es dürfen alle Motorverluste, außer den Kupferverlusten im Ankerkreis, vernachlässigt werden. Die Maschine wird stets im stationären Betrieb betrieben.

Frage 1 Nennwerte, Ankerwiderstand

- a) Geben Sie die Nennleistung P_N des Spielzeugantriebs an.
- b) Wie groß ist der Strom $I_{A,N}$ und die induzierte Spannung $U_{i,N}$ im Nennbetrieb?
- c) Bestimmen Sie den Ankerwiderstand R_A .

Frage 2 Vorwiderstand, Anlaufmoment

- a) Wie groß muss der Vorwiderstand R_V im Ankerkreis sein, damit die Ankerspannung im Nennbetrieb $U_{A,N} = 2,5 \text{ V}$ beträgt?
- b) Welche Verluste $P_{RV,N}$ entstehen dabei im Vorwiderstand R_V ?
Beim Einschalten unter Last muss der Motor ein Losbrechmoment von $M_W = 0,25 \text{ Ncm}$ überwinden.
- c) Kann der Motor mit Vorwiderstand an der Batterie von selbst anlaufen?

Frage 3 Tiefsetzsteller

Alternativ zum Vorwiderstand soll ein Tiefsetzsteller (Leistungselektronik) zur Verminderung der Batteriespannung eingesetzt werden. Der Tiefsetzsteller darf als ideal (d.h. verlustfrei) betrachtet werden.

- a) Wie muss der Modulationsgrad m des Tiefsetzstellers zur Einstellung der Motorspannung von $2,5 \text{ V}$ eingestellt werden?
- b) Wie verändert sich das Anlaufdrehmoment M_{St} des Motors?

Frage 4 Wirkungsgrad

- a) Vergleichen Sie den Wirkungsgrad des Gesamtsystems im Nennbetrieb bei Reduzierung der Batteriespannung mit einem Vorwiderstand ($\eta_{N,RV}$) und einem Tiefsetzsteller ($\eta_{N,TSS}$).
- b) Wie groß ist in den beiden Fällen jeweils der Batteriestrom I_{Bat} (im Nennbetrieb des Motors)?

Aufgabe 7.2 (Fremderregte Gleichstrommaschine)

Im nachfolgenden Bild 1 ist das Übersichtsschaltbild eines Antriebssystems, bestehend aus einer fremderregten Gleichstrommaschine (GM) als Antrieb und einer Arbeitsmaschine (AM), dargestellt.

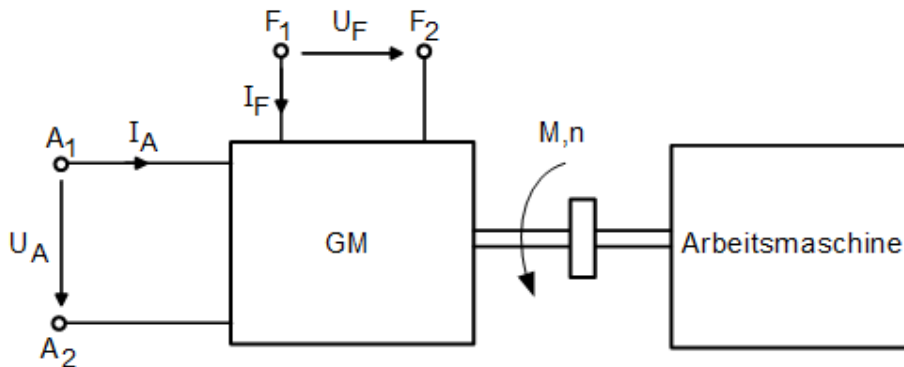


Bild 1: Übersichtsschaltbild eines Antriebssystems, bestehend aus Antrieb (GM) und Arbeitsmaschine (AM)

Vom System sind folgende Daten bekannt:

Fremderregte Gleichstrommaschine

Nenn-Ankerspannung:	$U_N = 220 \text{ V}$
Leerlaufdrehzahl bei Betrieb mit U_N :	$n_{0,N} = 1.450 \text{ min}^{-1}$
Nenndrehmoment M_N :	$M_N = 72,6 \text{ Nm}$
Ankerwiderstand:	$R_A = 0,151 \Omega$
Widerstand der Erregerwicklung:	$R_F = 110 \Omega$
Nennerergerstrom:	$I_F = 2 \text{ A}$

Die GM darf, mit Ausnahme der ohmschen Verluste im Anker- und Erregerkreis, als verlustfrei angenommen werden. Die Maschine wird stets im stationären Betrieb betrieben.

Arbeitsmaschine

Drehmoment bei Voll-Last:	$M_V = 72,6 \text{ Nm}$
Drehmoment bei Halb-Last:	$M_H = 36,3 \text{ Nm}$

Die Reibungsverluste dürfen Vernachlässigt werden.

Die Maschine wird stets im stationären Betrieb betrachtet.

Frage 1 ESB der GM, Drehzahlen

- a) Zeichnen Sie das elektrische Ersatzschaltbild der fremderregten Gleichstrommaschine und versehen Sie es mit Zählpfeilen für die Spannungen und Ströme.
- b) Wie groß ist die Nenndrehzahl n_N und die Drehzahl n_H des Motors bei Halblast?

Frage 2 Anlauf und Nennbetrieb

- a) Wie groß ist der Anlaufstrom $I_{A,St}$ und das Anlaufdrehmoment M_{St} ?
- b) Wie groß ist die Nennleistung P_N und der Ankernennstrom $I_{A,N}$?
- c) Wie groß ist die im Anker induzierte Spannung $U_{i,N}$ im Nennbetrieb?

Frage 3 Elektrische Leistung, Wirkungsgrad

- a) Wie groß ist die aufgenommene elektrische Leistung $P_{A,N}$ im Nennbetrieb?
- b) Berechnen Sie den Wirkungsgrad η_N der Maschine im Nennbetrieb.