

1. Klausur
Grundlagen der Elektrotechnik I-B
28. Mai 2005



Musterloesung

Name:

Vorname:

Matr.-Nr.:

Bearbeitungszeit: 135 Minuten

- Trennen Sie den Aufgabensatz **nicht** auf.
- Benutzen Sie für die Lösung der Aufgaben **nur** das mit diesem Deckblatt ausgeteilte Papier. **Lösungen, die auf anderem Papier geschrieben werden, können nicht gewertet werden.** Weiteres Papier kann bei den Tutoren angefordert werden.
- **Notieren Sie bei der Aufgabe einen Hinweis, wenn die Lösung auf einem Extrablatt fortgesetzt wird**
- **Schreiben Sie deutlich!** Doppelte, unleserliche oder mehrdeutige Lösungen können nicht gewertet werden.
- Schreiben Sie **nicht** mit Bleistift!
- Schreiben Sie nur in **blau** oder **schwarz!**

1. Aufgabe (5 Punkte): Fragen aus verschiedenen Gebieten

Beantworten Sie die folgenden Fragen.

1.1. Transistor als Schalter (0,5 Punkte)

Wodurch unterscheidet sich ein Transistor als Schalter von einem mechanischen Schalter (Relais)? Nennen Sie mindestens zwei Merkmale.

Lösung:

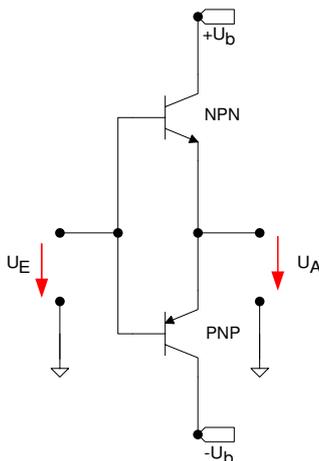
- *Schnell*
- *geringe Steuerleistung*
- *kleine Abmessungen (bei kleiner Schaltleistung)*

- *keine galvanische Trennung*
- *Restspannung $U_{CE,rest}$*
- *Empfindlich gegenüber Spannungsspitzen*
- *R_{ON} ist signalabhängig*

1.2. Gegentaktendstufe (0,5 Punkte)

Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau einer Gegentaktendstufe mit komplementären Transistoren. Kennzeichnen Sie die Ein- und Ausgangsspannung.

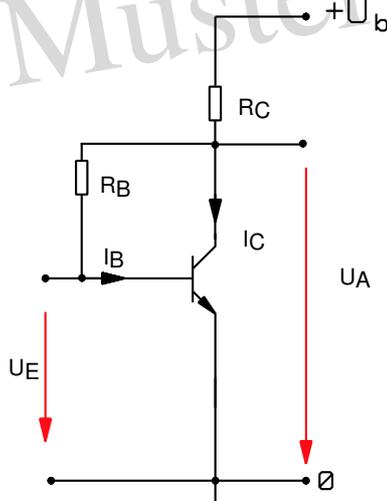
Lösung:



1.3. Transistorgrundschaltung (0,5 Punkte)

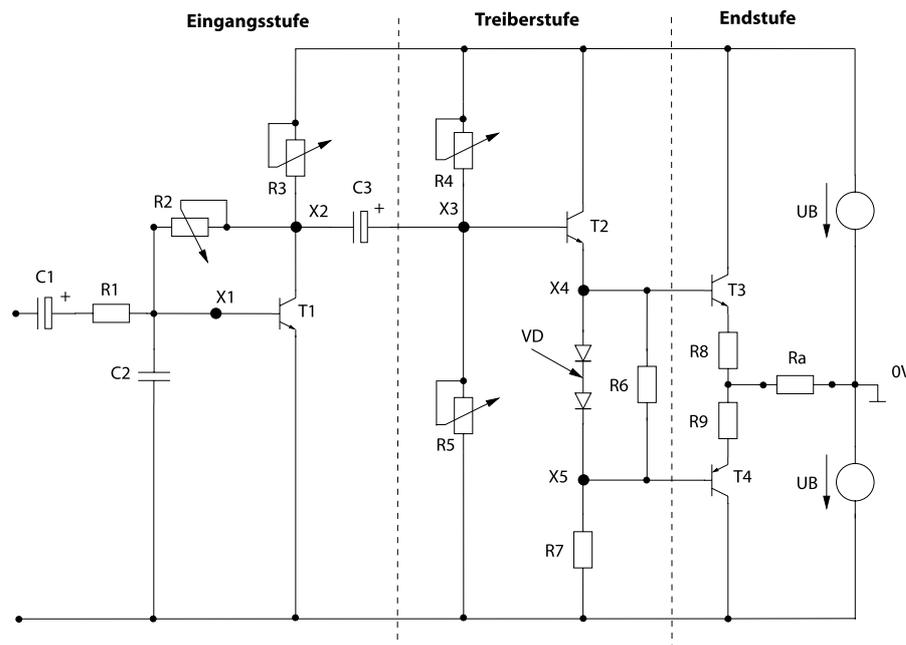
Skizzieren Sie einen npn-Transistor in Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung. Machen Sie Ein- und Ausgangsspannungen sowie die Versorgungsspannung kenntlich.

Lösung:



1.4. Mehrstufiger Verstärker (1,5 Punkte)

Folgende Abbildung zeigt einen mehrstufigen Verstärker für Audiosignale. Beschreiben Sie die Aufgaben der einzelnen Stufen des Verstärkers:



- Eingangsstufe: (0,5 Punkte)

Lösung:

Die Eingangsstufe realisiert eine **Signalanpassung an die Quelle**. Sie ist als **Emitterschaltung** ausgeführt. In dieser Stufe wird die **Spannungsverstärkung** realisiert.

- Treiberstufe: (0,5 Punkte)

Lösung:

Die Treiberstufe stellt den **benötigten Basisstrom** für die Endstufentransistoren bereit. Die Treiberstufe ist als **Kollektorschaltung** mit einer **Spannungsverstärkung von $V_U = 1$** realisiert.

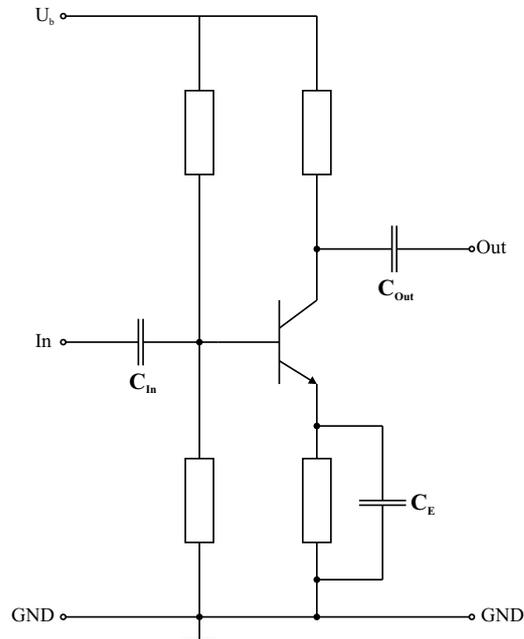
- Endstufe: (0,5 Punkte)

Lösung:

Die Endstufe treibt den Strom durch den Lastwiderstand. Die Endstufentransistoren erledigen die notwendige Stromverstärkung, um die abzugebende Leistung bereitzustellen. Da dies mit der Abgabe von reichlich Verlustleistung verbunden ist, werden Sie gekühlt.

1.5. Emitterschaltung (1 Punkt)

Erläutern Sie in folgender Emitterschaltung die Funktionen der Kondensatoren ...



- C_{In} , C_{Out} (0,5 Punkte):
- C_E (0,5 Punkte):

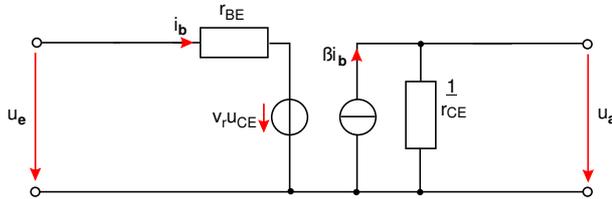
Lösung:

- C_{In} , C_{Out} sind die sog. „Koppelkondensatoren“, d.h. Beseitigung eines DC-Anteils oder Auskopplung des AC-Signales.
- C_E dient zum „Kurzschluss“ von AC-Signalen am Widerstand R_E vorbei! So wird der Arbeitspunkt des Verstärkers durch eine DC-Stromgegenkopplung mit R_E stabilisiert, ohne daß die Verstärkung der AC-Signalen darunter leidet!

1.6. Ersatzschaltbild (0,5 Punkte)

Zeichnen Sie für kleine Signale das Wechselspannungersatzschaltbild des Transistors. Benennen Sie alle Elemente und tragen Sie **alle Strom- und Spannungspfeile** ein.

Lösung:



1.7. Energie im Kondensator (0,5 Punkte)

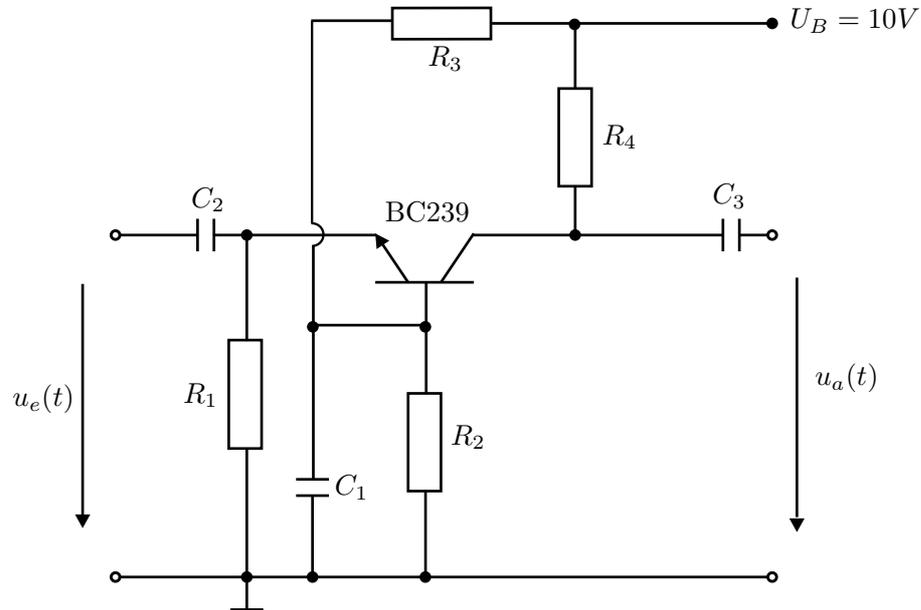
Nach welcher Formel errechnet sich die Energie, die in einem Kondensator der Kapazität C gespeichert ist, wenn er auf eine Spannung U aufgeladen ist?

Lösung:

$$W = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

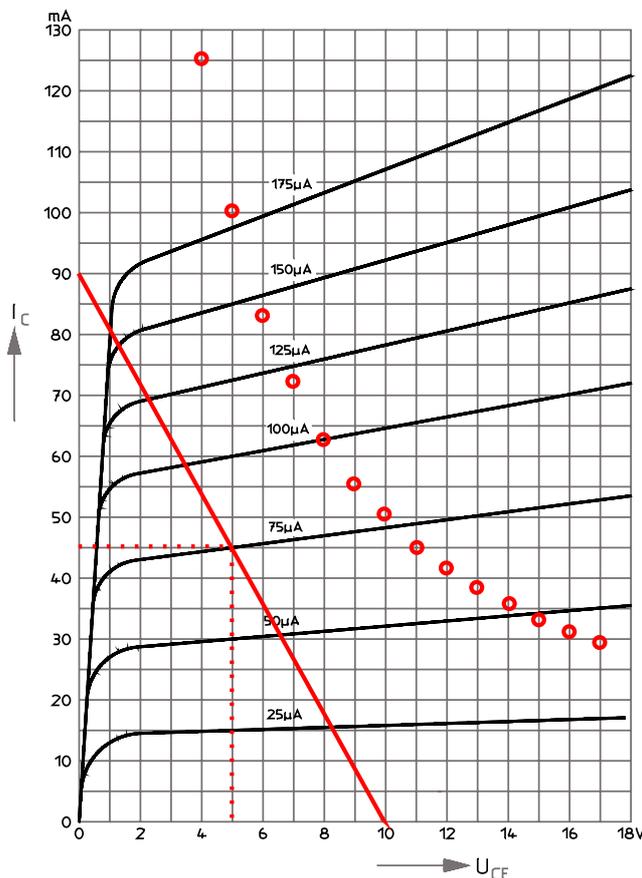
2. Aufgabe (5 Punkte): Arbeitspunkteinstellung am Transistor

Folgende Basis-Schaltung ist gegeben.

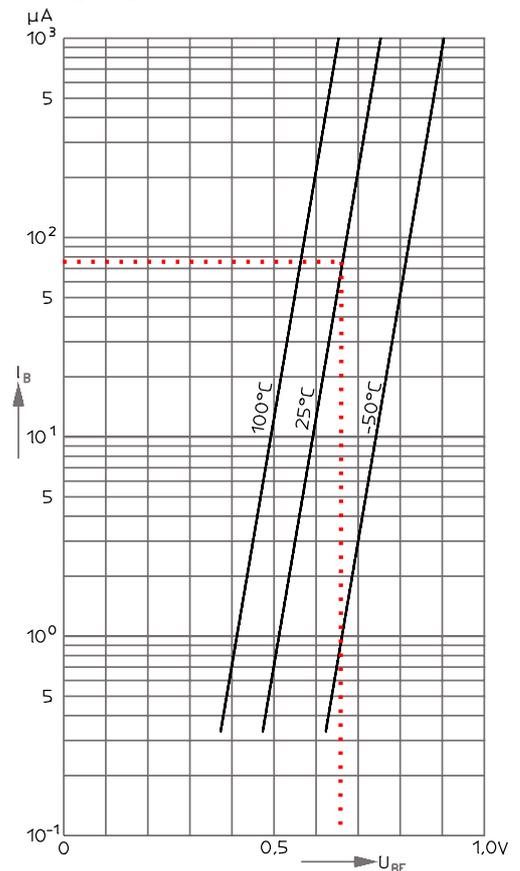


Es ist bekannt, dass im Arbeitspunkt der Basisstrom $I_B = 75\mu A$ und der Kollektorstrom $I_C = 45mA$ betragen. Es gelte weiterhin $R_4 = 5 \cdot R_1$ und $I_{R_2} = 9 \cdot I_B$. Die Schaltung arbeitet bei Raumtemperatur. Die maximale Verlustleistung $P_{BC239max}$ betragt $0.5W$.

Ausgangskennlinienfeld des BC239



Eingangskennlinien des BC239



2.1. Arbeitsgerade (1,5 Punkte)

Tragen Sie die Arbeitsgerade in das geeignete Kennlinienfeld ein. Geben Sie hierzu 2 Punkte der Geraden an!

Lösung:

1. Punkt: $I_C = 0A$. Daraus folgt $U_{CE} = U_B = 10V$.
2. Punkt: Für $I_C = 45mA$ und $I_B = 75\mu A$ folgt ein weiterer Punkt im Ausgangskennlinienfeld.

Durch Verbinden beider Punkte folgt die Arbeitsgerade (rot eingezeichnet).

2.2. Widerstände im AP (3 Punkte)

Berechnen Sie die Werte aller Widerstände (Hinweis: Es kann näherungsweise angenommen werden, dass der Emitterstrom I_E gleich dem Kollektorstrom I_C ist).

Lösung:

Aus der Ausgangskennlinie folgt $U_{CE} = 5V$ und aus der Eingangskennlinie $U_{BE} = 0,66V$.

$$\begin{aligned} I_C &= \frac{U_B - U_{CE}}{R_1 + R_4} = \frac{U_B - U_{CE}}{6 R_1} \\ \Rightarrow R_1 &= \frac{U_B - U_{CE}}{6 I_C} = \frac{10V - 5V}{6 \cdot 45mA} = \underline{\underline{18,5\Omega}} \\ \Rightarrow R_4 &= 5 \cdot R_1 = \underline{\underline{92,5\Omega}} \\ U_{R_3} &= U_{R_4} + U_{CE} - U_{BE} = I_C R_4 + U_{CE} - U_{BE} \\ &= 45mA \cdot 92,5\Omega + 5V - 0,66V = 8,50V \\ I_{R_3} &= I_B + I_{R_2} = 10 \cdot I_B = 0,75mA \\ \Rightarrow R_3 &= \frac{U_{R_3}}{I_{R_3}} = \frac{8,50V}{0,75mA} = \underline{\underline{11,33k\Omega}} \\ \Rightarrow R_2 &= \frac{U_{R_2}}{I_{R_2}} = \frac{U_B - U_{R_3}}{9 \cdot I_B} = \frac{10V - 8,50V}{9 \cdot 75\mu A} = \underline{\underline{2,22k\Omega}} \end{aligned}$$

2.3. Verlustleistungshyperbel (0,5 Punkte)

Zeichnen Sie die Verlustleistungshyperbel in das Ausgangskennlinienfeld ein. Berechnen Sie dazu mindestens 4 Stützpunkte. Darf die Schaltung im vorgegebenen Arbeitspunkt betrieben werden? (Begründung!)

Lösung:

Zur Verlustleistungshyperbel siehe Ausgangskennlinienfeld. Die Schaltung kann im Arbeitspunkt betrieben werden, denn $I_C \cdot U_{CE} = 0,225W < P_{BC239max} = 0,5W$.

3. Aufgabe (5 Punkte): h-Parameter

Gegeben ist folgender passiver Vierpol:

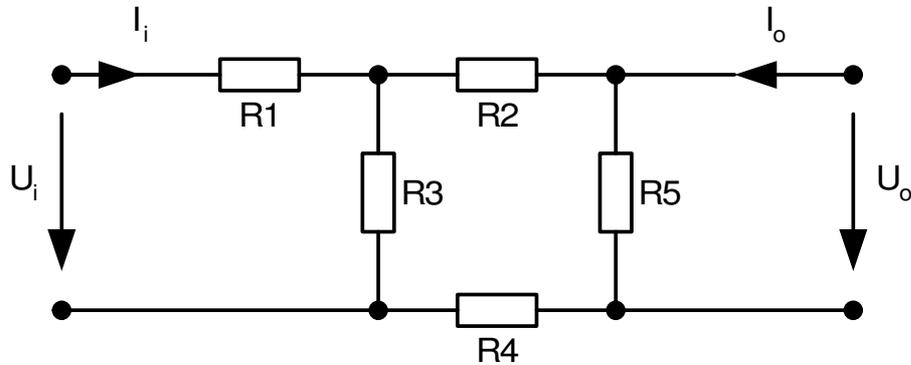


Abbildung 1: Vierpol

$$R = R1 = R2 = R3 = \frac{1}{2} \cdot R4 = \frac{1}{2} \cdot R5$$

3.1. Vierpolgleichungen (1 Punkt)

Schreiben Sie die allgemeinen Vierpolgleichungen mit Hilfe der h-Parameter für diese Schaltung auf.

Hinweis: Beachten Sie die Indizes

Lösung:

$$u_i = h_{11} * i_i + h_{12} * u_o \quad (0,5 \text{ Punkte})$$

$$i_o = h_{21} * i_i + h_{22} * u_o \quad (0,5 \text{ Punkte})$$

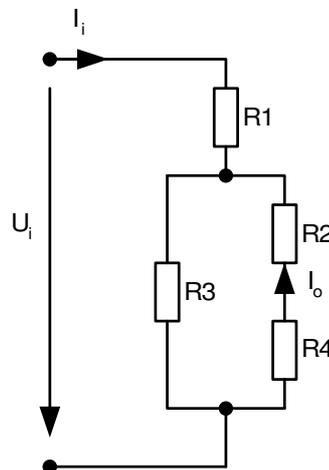
3.2. Vierpolparameter (4 Punkte)

Nennen Sie die Formeln zur Bestimmung der h-Parameter und berechnen Sie diese!

Musterloesung

Lösung:

ESB für h_{11} und h_{21} :

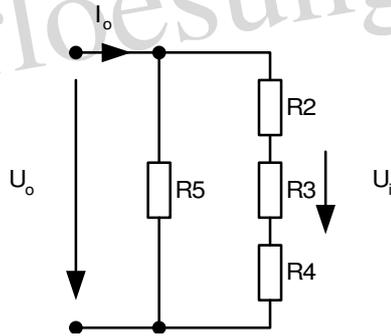


$$h_{11} = \frac{u_i}{i_i} \Big|_{u_o=0} = R1 + R3 \parallel (R2 + R4) = R + R \parallel 3R = \frac{7}{4} \cdot R = 1,75 \cdot R \quad (1)$$

$$h_{21} = \frac{i_o}{i_i} \Big|_{u_o=0} = -\frac{R3 \parallel (R2 + R4)}{R2 + R4} = -\frac{R \parallel 3R}{3 \cdot R} = -\frac{1}{4} \cdot R \quad (2)$$

ESB für h_{12} und h_{22} :

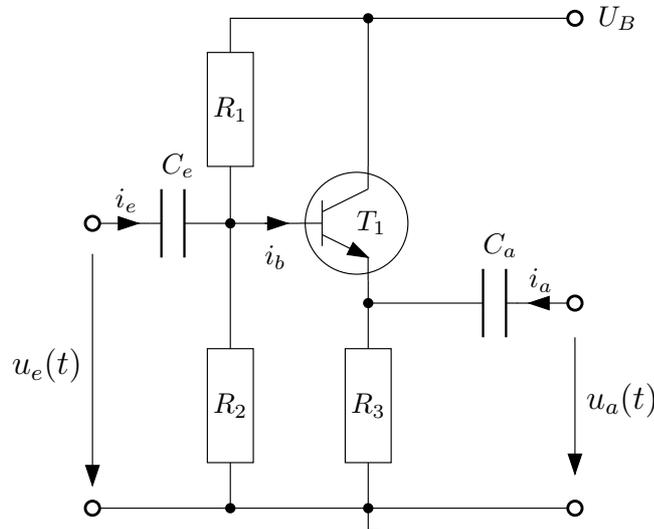
$$h_{12} = \frac{u_i}{u_o} \Big|_{i_i=0} = \frac{R3}{R2 + R3 + R4} = \frac{R}{4 \cdot R} = \frac{1}{4} \cdot R \quad (3)$$



$$h_{22} = \frac{i_o}{u_o} \Big|_{i_i=0} = \frac{1}{R_5} + \frac{1}{R_2 + R_3 + R_4} = \frac{1}{2 \cdot R} + \frac{1}{4 \cdot R} = \frac{3}{4 \cdot R} \quad (4)$$

4. Aufgabe (5 Punkte): Wechselstromersatzschaltbild

Gegeben ist die folgende Schaltung:



4.1. Schaltung erkennen (0,5 Punkte)

Um was für eine Transistorschaltung handelt es sich?

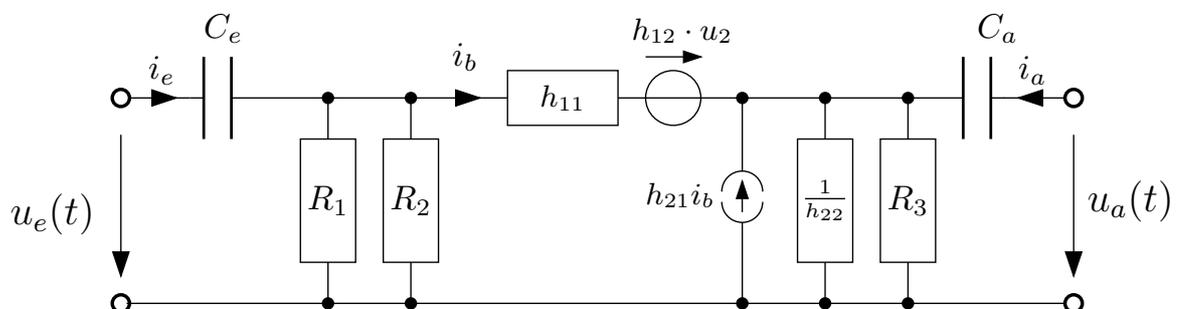
Lösung:

Es handelt sich um eine Kollektorschaltung.

4.2. Vollständiges Wechselstromersatzschaltbild (1,5 Punkte)

Zeichnen Sie das **vollständige** Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung unter der Annahme $C_e = C_a \neq \infty$. Vergessen Sie nicht die in der obigen Abbildung gegebenen Ströme und Spannungen einzuzichnen, sowie die Elemente des Ersatzschaltbilds zu benennen.

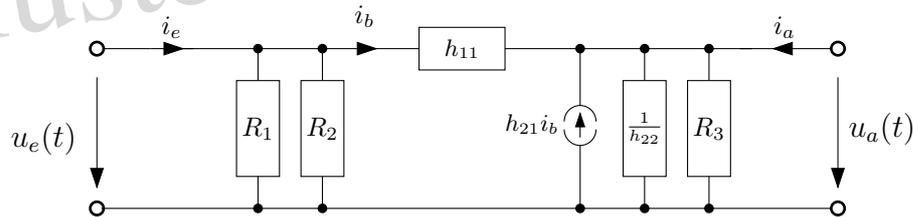
Lösung:



4.3. Vereinfachung des Wechselstromersatzschaltbilds (1 Punkt)

Vereinfachen Sie das in der vorherigen Teilaufgabe gewonnene Ersatzschaltbild unter der Voraussetzung, dass: $h_{12} = 0$, $C_e \rightarrow \infty$ und $C_a \rightarrow \infty$. Vergessen Sie nicht die Bauelemente zu benennen, sowie die Spannungen und Ströme einzuzichnen.

Lösung:



4.4. Berechnungen (2 Punkte)

Berechnen Sie die Wechselspannungsverstärkung $v = \frac{u_a}{u_e}$ und den Eingangswiderstand $r_e = \frac{u_e}{i_e}$ für das vereinfachte Wechselstromersatzschaltbild der Schaltung.

Hinweis: Zur Übersichtlichkeit genügt es bei einer Parallelschaltung $R_x \parallel R_y$ anstelle von $\frac{R_x \cdot R_y}{R_x + R_y}$ zu schreiben.

Lösung:

Spannungsverstärkung:

$$v = \frac{u_a}{u_e} = \frac{(1 + h_{21})i_b \cdot R_3 \parallel \frac{1}{h_{22}}}{i_b \cdot h_{11} + (1 + h_{21})i_b \cdot R_3 \parallel \frac{1}{h_{22}}} = \frac{1}{1 + \frac{h_{11}}{(1+h_{21}) \cdot R_3 \parallel \frac{1}{h_{22}}}}$$

oder auch

$$v = \frac{1}{1 + \frac{r_{be}}{(1+\beta) \cdot R_3 \parallel r_{CE}}} \approx \frac{1}{1 + \frac{r_{be}}{\beta \cdot R_3 \parallel r_{CE}}}$$

Eingangswiderstand:

$$r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel \frac{u_e}{i_b} = R_1 \parallel R_2 \parallel \frac{i_b \cdot h_{11} + (1 + h_{21})i_b \cdot R_3 \parallel \frac{1}{h_{22}}}{i_b}$$

$$\Rightarrow r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel \left[h_{11} + (1 + h_{21}) \cdot R_3 \parallel \frac{1}{h_{22}} \right]$$

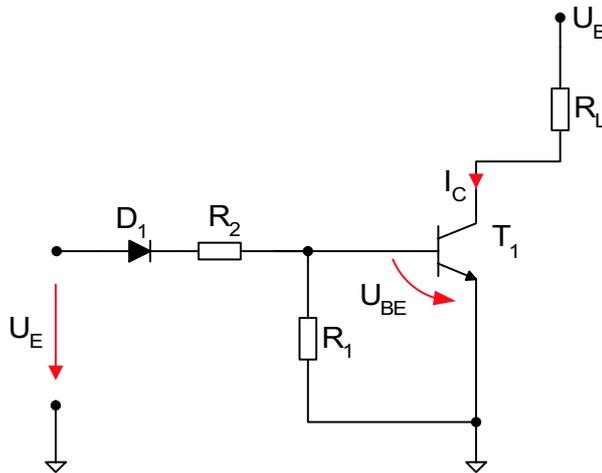
oder auch

$$\Rightarrow r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel [r_{be} + (1 + \beta) \cdot R_3 \parallel r_{CE}]$$

Bewertung:

5. Aufgabe (5 Punkte): Transistor als Schalter

Gegeben ist die folgende Schaltung mit den Kennlinien auf folgenden den Blättern für einen Transistor im Schalterbetrieb



Daten zur Schaltung

$$\begin{aligned}T &= 25^\circ\text{C} \\U_B &= 16\text{ V} \\R_L &= 200\ \Omega\end{aligned}$$

Daten Transistor (Quelle Datenblatt)

$$\begin{aligned}U_{CE,sat} &= 200\text{ mV} (I_C = 100\text{ mA}) \\I_{C,max} &= 100\text{ mA} \\P_{tot} &= 500\text{ mW} \\T_{j,max} &= 150^\circ\text{C} \\I_{B,peak} &= 200\text{ mA}\end{aligned}$$

Daten Diode (Quelle Datenblatt)

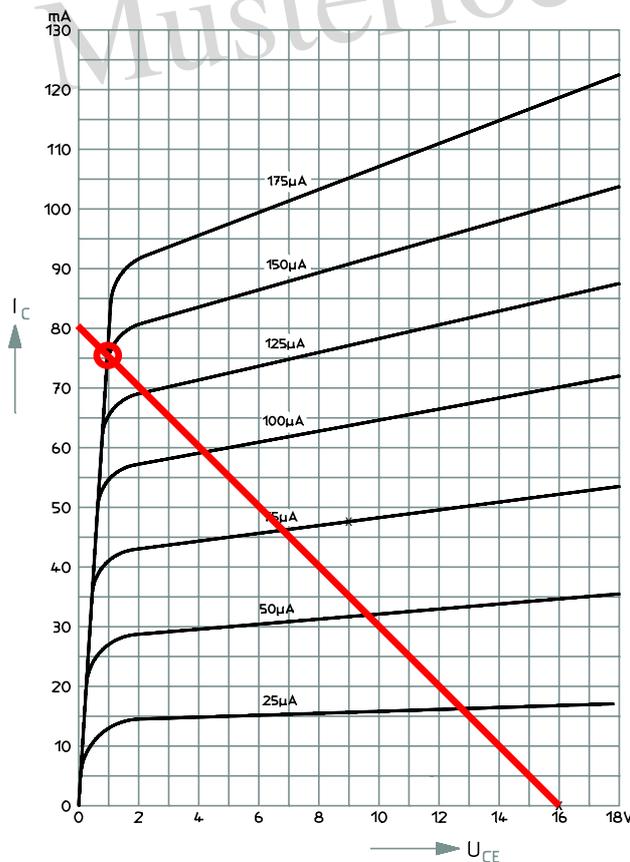
$$\begin{aligned}U_D &= 0,7\text{ V}, \\r_D &= 0\ \Omega\end{aligned}$$

5.1. Arbeitsgerade (1,5 Punkte)

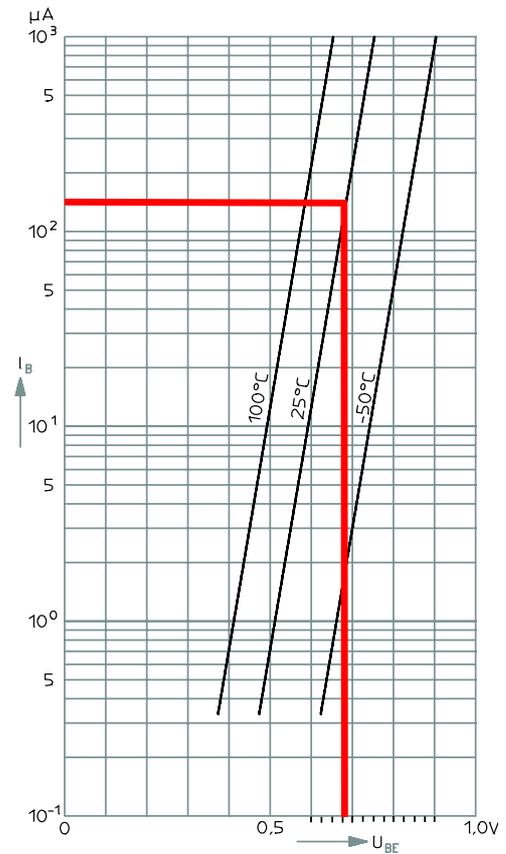
Zeichnen Sie die **Arbeitsgerade** in das Ausgangskennlinienfeld ein. Bestimmen Sie graphisch aus dem Kennlinienfeld den Kurzschlussstrom I_K und Basisstrom $I_{B,sat}$, der **mindestens** notwendig ist, um die Kollektor-Emitterspannung U_{CE} so klein wie möglich zu machen.

Hinweis: Der Transistor soll sicher durchschalten. Ein Übersteuern der Basis ist nicht gewünscht.

Ausgangskennlinienfeld des BC239



Eingangskennlinien des BC239



Lösung:

$$I_K = \frac{U_B}{R_c} = 80 \text{ mA} \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (5)$$

$$I_{B,sat} = 150 \mu\text{A} \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (6)$$

5.2. Widerstandsdimensionierung (2 Punkte)

Bestimmen Sie R_1 und R_2 so, dass bei $U_e = U_B$ gilt: $I_{R_1} = 10 \cdot I_{B,sat}$. Verwenden Sie hierfür $I_{B,sat}$ aus dem Aufgabenteil 1.

Lösung:

aus der Eingangskennlinie: $U_{BE} = 0,68 \text{ V} \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (7)$

$$U_{BE} = R_1 \cdot I_{R_1} = R_1 \cdot 10 \cdot I_{B,sat} \Rightarrow R_1 = 453,3 \Omega \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (8)$$

Maschengleichung: $U_e = U_D + R_2 \cdot (I_B + I_{R_1}) + U_{BE} \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (9)$

$$R_2 = \frac{16 \text{ V} - 0,68 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{11 \cdot I_B} = 8,8606 \text{ k}\Omega \quad 0.5 \text{ Punkte} \quad (10)$$

5.3. Neuer Lastwiderstand (1 Punkt)

Der Lastwiderstand R_L soll auf einen Wert von $10\ \Omega$ verkleinert werden. Ist es möglich, diesen Wert zu wählen?

Hinweis: Beachten Sie die Angaben zum verwendeten Transistor aus dem Datenblatt wie in der Aufgabenstellung angegeben.

Begründen Sie Ihre Antwort!

Lösung:

Man darf diesen Wert nicht wählen.

Mit $R_L = 10\ \Omega$ ergibt sich ein Kollektorstrom

$$I_{C,neu} = \frac{U_B - U_{CE,sat}}{R_L} \simeq 1,6\ A \quad (11)$$

Dieser Wert liegt deutlich über dem maximal zulässigen Kollektorstrom $I_{C,max}$.

Am Rande bemerkt: Die maximale Verlustleistung P_{tot} wird hierbei nicht überschritten. Nimmt man $U_{CE,max} = 200\ mV$ auch für diesen Wert von I_C an, so ist

$$P = 200\ mV \cdot 1,6\ A = 320\ mW \quad (12)$$

Das ist also nicht der Grund, dass der Wert für R_L nicht zulässig ist.

5.4. Lösung für $R_L = 10\ \Omega$ (0,5 Punkte)

Wie würden Sie das Problem lösen, wenn Sie einen Lastwiderstand von $R_L = 10\ \Omega$ betreiben müssen? Beschreiben Sie **stichpunktartig** einen Ansatz.

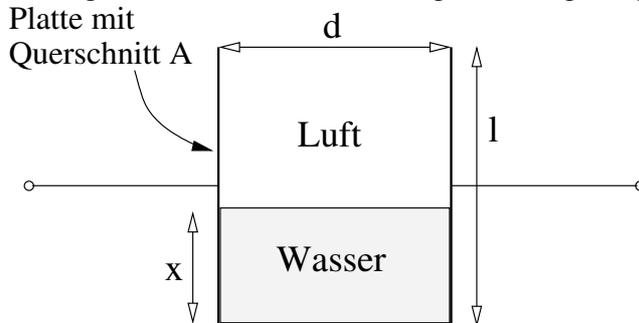
Lösung:

Da der Transistor den gewünschte Strom nicht führen kann kann man:

- *einen anderen Transistor auswählen (z.B. 2N3055)*
- *mehrere Transistoren parallel betreiben*

6. Aufgabe (5 Punkte): Kondensator

Gegeben ist die folgende Anordnung mit 2 Kondensatorplatten mit der Querschnittsfläche A . Die Anordnung ist mit einer nicht leitfähigen Flüssigkeit gefüllt.



Gegeben:

$$d = 53,47 \text{ cm}$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$l = 80 \text{ cm}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$$

$$\epsilon_{r,Wasser} = 80$$

6.1. Kapazität (1.5 Punkte)

Geben Sie die Kapazität (Formel+Zahlenwert) der Anordnung an! Vernachlässigen Sie Randeffekte!
gegeben: $x = 10 \text{ cm}$

Lösung:

$$C_{\text{allgemein}} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d} \quad (13)$$

$$A_{\text{Luft}} = \frac{A}{l} (l - x) \quad (14)$$

$$A_{\text{Wasser}} = \frac{A}{l} x \quad (15)$$

$$C = C_{\text{Luft}} + C_{\text{Wasser}} = \frac{\epsilon_0}{d} [A_{\text{Luft}} + \epsilon_{r,W} A_{\text{Wasser}}] \quad (16)$$

$$= \frac{\epsilon_0 A}{dl} [(l - x) + \epsilon_{r,w} x] \quad (17)$$

$$= \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}}{0,5347 \text{ m} \cdot 0,8 \text{ m}} [0,7 \text{ m} + 80 \cdot 0,1 \text{ m}] = 1,8 \cdot 10^{-10} \text{ F} \quad (18)$$

6.2. Wasserstand $x=?$ (1.5 Punkte)

Wie groß ist der Wasserstand x , wenn am Kondensator die Kapazität $C = 32,896 \text{ pF}$ gemessen wird?

Lösung:

$$C = \frac{\epsilon_0 A}{dl} [(l - x) + \epsilon_{r,w} x] \quad (19)$$

$$\frac{Cdl}{\epsilon_0 A} - l = -x + \epsilon_{r,w} x = x(\epsilon_{r,w} - 1) \quad (20)$$

$$x = l \left(\frac{Cd}{\epsilon_0 A} - 1 \right) \frac{1}{\epsilon_{r,w} - 1} \quad (21)$$

$$= 0,8 \text{ m} \left(\frac{32,896 \cdot 10^{-12} \text{ F} \cdot 0,5347 \text{ m}}{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} \cdot 1 \text{ m}^2} - 1 \right) \frac{1}{80 - 1} = 1 \text{ cm} \quad (22)$$

6.3. Elektrische Ladung (1 Punkt)

Der Kondensator wird an eine Spannungsquelle $U = 14,92\text{V}$ angeschlossen und zur Hälfte mit Wasser gefüllt. Welche Ladung Q wird an den Elektroden gespeichert?

Lösung:

$$C(x = 0,4\text{m}) = \frac{\epsilon_0 A}{d} [(l - x) + \epsilon_{r,w} x] \quad (23)$$

$$= \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} 1\text{m}^2}{0,5347\text{m} \cdot 0,8\text{m}} [0,4\text{m} + 80 \cdot 0,4\text{m}] = 6,7033 \cdot 10^{-10} \text{F} \quad (24)$$

$$Q = CU = 6,7033 \cdot 10^{-10} \text{F} \cdot 14,92\text{V} = 10^{-8} \text{C} \quad (25)$$

6.4. Spannung (1 Punkt)

Der Kondensator wird nun von der Spannungsquelle getrennt. Anschließend wird das Wasser im Kondensator abgelassen. Wie groß ist jetzt die Kondensatorspannung?

Lösung:

$$C(x = 0) = \frac{\epsilon_0 A}{d} \quad (26)$$

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Qd}{\epsilon_0 A} \quad (27)$$

$$= \frac{10^{-8} \text{As} \cdot 0,5347\text{m}}{8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}} 1\text{m}^2} = 604,18\text{V} \quad (28)$$