

Lösung Aufgabe 7:

- Kennlinienfeld und Schaltung analysieren. => Emitterschaltung

7.1 Arbeitspunkt U_{CE} , I_C in Kennlinienfeld eintragen

Stromverstärkung ermitteln: $B = I_C / I_B = 37,5 \text{ mA} / 0,15 \text{ mA} = 250$

7.2 Lastgerade für R_C einzeichnen:

1. Punkt: Arbeitspunkt

2. Punkt: $U_{CE} = U_b = 20 \text{ V}$ => Gerade durch die beiden Punkte legen

Ergebnis: Lastgerade schneidet I_C - Achse bei 75 mA

=> $R_C = 20 \text{ V} / 75 \text{ mA} = 266,7 \Omega$

7.3 Aus Gleichstromersatzschaltbild:

$$R_B = \frac{U_b - 0,7V}{I_B} = \frac{20V - 0,7V}{0,15 \text{ mA}} = \frac{19,3V}{0,15 \text{ mA}} = 128,67 \text{ k}\Omega$$

7.4 Wechselstrombetrieb => Wechselstrom(Kleinsignal)-Ersatzschaltbild

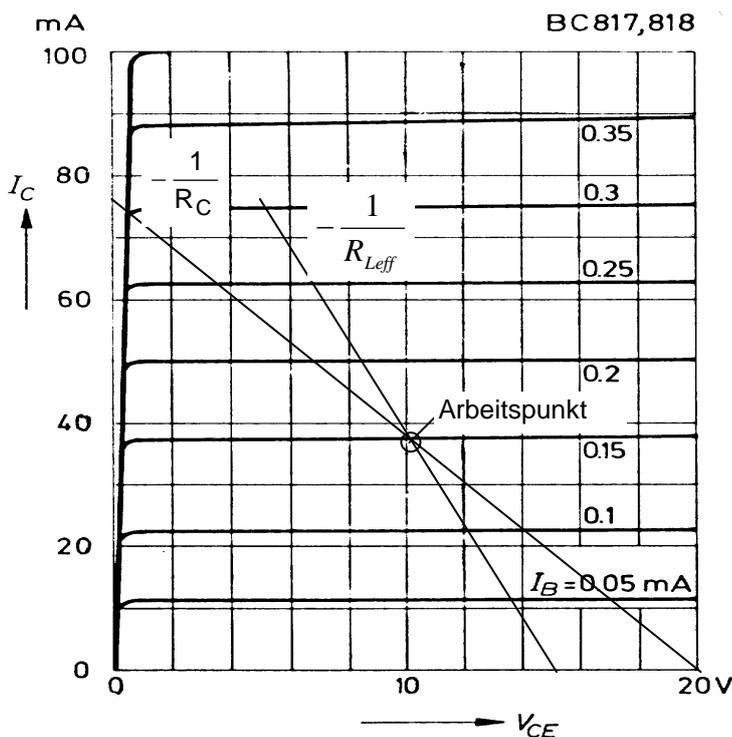
daraus folgt: $R_{Lges} = R_C \parallel R_L$ und mit $R_C = R_L$ wird $R_{Lges} = 133,3 \Omega$
 Jetzt im Arbeitspunkt Lastgerade mit doppelter Steigung eintragen

7.5 Spannungsverstärkung der Schaltung:

$$A = -S R_{Leff} \quad S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{37,5 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 1,44 \text{ S}$$

$$A = -1,44 \frac{1}{\Omega} \cdot 133,3 \Omega = -192$$

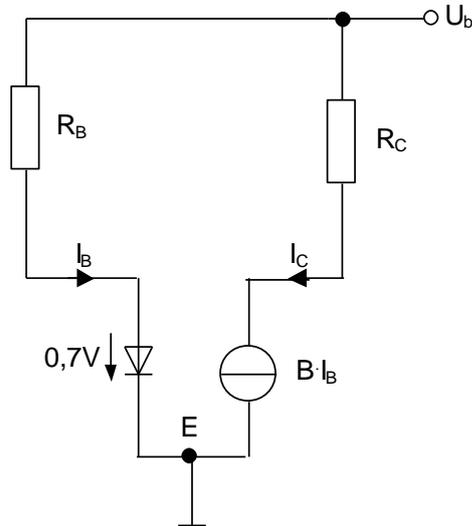
Kennlinienfeld:



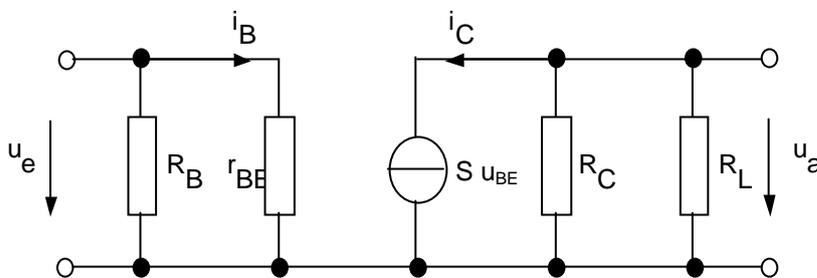
Lösung Aufgabe 8:

8.1 Emitterschaltung, da Eingang u_{BE} und Ausgang u_{CE}
 ⇒ Emitter gemeinsam für Ein- und Ausgang

8.2 Großsignal- (Gleichstrom-) Ersatzschaltbild
 ⇒ Kondensatoren sind ein unendlich großer Widerstand



8.3 Kleinsignal- (Wechselstrom-) Ersatzschaltbild
 ⇒ Kondensatoren sind als Kurzschluss zu betrachten



! Spannungsquelle ist ebenfalls als Kurzschluss zu betrachten !

8.4 $9\mu A \leq I_{Bmax} \leq 10\mu A$

$$I_B = \frac{U_b - 0,7V}{R_B} \Rightarrow R_B \geq \frac{U_b - 0,7V}{I_{Bmax}} = \frac{11,3V}{10\mu A}$$

$$R_B \geq 1,13 M\Omega \Rightarrow R_B = 1,2 M\Omega (E24)$$

$$I_B = \frac{11,3V}{1,2 M\Omega} = 9,42\mu A$$

8.5 Arbeitspunkt der Schaltung $U_{CE} \approx 6V, I_C = ?$

$$U_{CE} = U_2 = U_b - R_C \cdot I_C$$

$$1. \quad I_C = \beta \cdot I_B = 150 \cdot 9,42 \mu A = 1,41 \text{ mA} \approx 1,4 \text{ mA}$$

$$2. \quad U_{CE} = 12V - R_C \cdot I_C$$

$$6V = 12V - R_C \cdot I_C \Rightarrow R_C \cdot I_C = 6V \Rightarrow R_C = \frac{6V}{I_C} = 4,255 \text{ k}\Omega$$

nächster Wert E24-Reihe: 4,3 kΩ ⇒ U_{CE} = 5,94 V

8.6 Steilheit ist das Verhältnis des Kollektorstroms im Arbeitspunkt zur Temperaturspannung

aus 8.4 folgt mit R_B = 1,2MΩ : I_B = 9,4 μA

aus 8.5 mit I_C = β · I_B = 1,4 mA

$$S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{1,4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 53,8 \text{ mS}$$

8.7 Eingangswiderstand der Schaltung

$$r_e = r_{BE} \parallel R_B \qquad r_{BE} = \frac{\beta}{S} = 2,785 \text{ k}\Omega$$

Da R_B = 1,2 MΩ >> r_{BE} = 2,785 kΩ gilt:

$$r_e \approx r_{BE}$$

8.8 Spannungsverstärkung

$$A = \frac{u_a}{u_e}$$

$$u_e = r_B \cdot i_B = \frac{\beta \cdot i_B}{S}$$

$$u_a = -i_C (R_C \parallel R_L)$$

$$\Rightarrow u_a = -i_C \cdot R_C \Big|_{R_L \rightarrow \infty} = -\beta i_B R_C$$

$$u_a = -i_C \cdot \frac{R_C}{2} \Big|_{R_C=R_L} = -\frac{1}{2} \beta i_B R_C$$

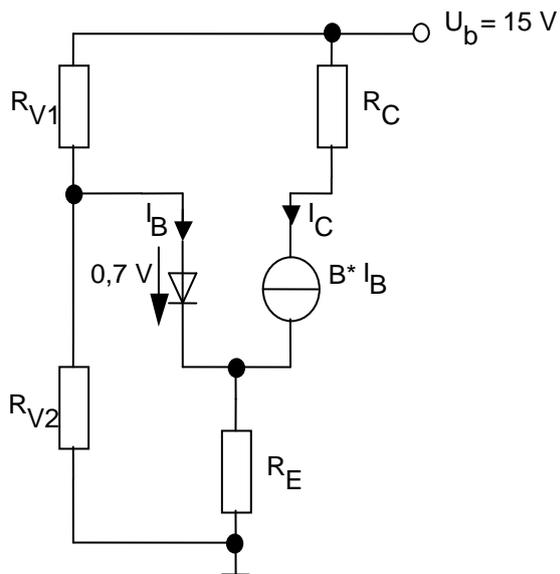
$$A \Big|_{R_L=\infty} = -\frac{\beta i_B \cdot R_C}{\frac{\beta \cdot i_B}{S}} = -S \cdot R_C = -53,8 \text{ mS} \cdot 4,3 \text{ k}\Omega = -231,3$$

$$A \Big|_{R_L=R_C} = -\frac{1}{2} \frac{\beta i_B \cdot R_C}{\frac{\beta \cdot i_B}{S}} = -\frac{1}{2} S \cdot R_C = -115,65$$

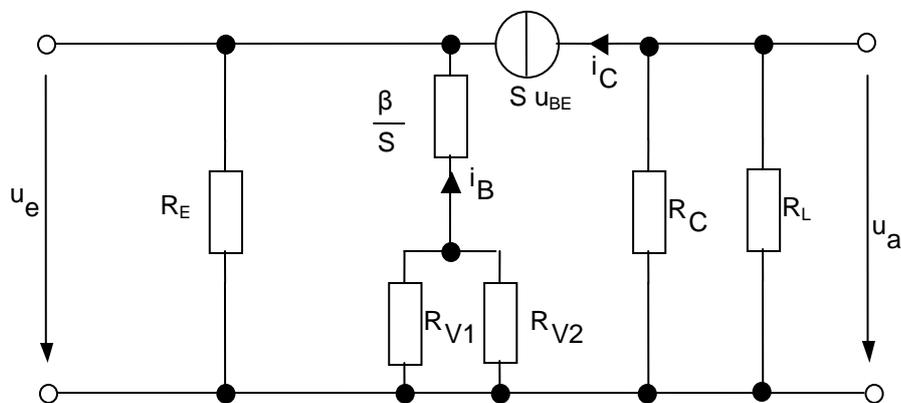
Lösung Aufgabe 9:

9.1 Basisschaltung

Großsignal-Ersatzschaltbild:



Kleinsignal-Ersatzschaltbild



9.4 Arbeitspunkt I_C , U_{CE}

$$U_B = U_b \frac{R_{V2}}{R_{V1} + R_{V2}} = 15 \text{ V} \frac{3,9 \text{ k}\Omega}{13,0 \text{ k}\Omega} = 4,5 \text{ V}$$

$$U_E = U_B - 0,7 \text{ V} = 3,8 \text{ V} \quad , \quad I_E = \frac{U_E}{R_E} = 3,8 \text{ mA} \quad \Rightarrow \quad I_B = \frac{I_E}{\beta + 1} = 9,5 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 400 \cdot 9,5 \mu\text{A} = 3,8 \text{ mA} \quad S = \frac{I_C}{U_T} = 146 \text{ mS}$$

$$U_{CE} = U_b - I_C \cdot R_C - U_E = 15 \text{ V} - 4,56 \text{ V} - 3,8 \text{ V} = 6,64 \text{ V}$$

9.5 Spannungsverstärkung :

$$A \approx \frac{\beta \cdot (R_C \parallel R_L)}{r_{BE} + R_{BV}} \quad \text{mit } R_{BV} = R_{V1} \parallel R_{V2} = \frac{9,1k\Omega \cdot 3,9k\Omega}{9,1k\Omega + 3,9k\Omega} = 2,73k\Omega$$

$$\text{und } r_{BE} = \frac{\beta}{S} = \frac{400}{146 \text{ mS}} = 2,74 \text{ k}\Omega$$

$$A = \frac{400 \cdot 1 \text{ k}\Omega}{2,73 \text{ k}\Omega + 2,74 \text{ k}\Omega} = 73,13$$

9.6 Eingangswiderstand r_e :

$$r_e = \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right)$$

$$r_e = R_E \parallel \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right)$$

$$R_{BV} = R_{V1} \parallel R_{V2} = \frac{9,1k\Omega \cdot 3,9k\Omega}{9,1k\Omega + 3,9k\Omega} = 2,73k\Omega \Rightarrow \frac{R_{BV}}{\beta} = \frac{2,73 \text{ k}\Omega}{400} = 6,82\Omega$$

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{146 \text{ mS}} = 6,85\Omega$$

$$r_e = R_E \parallel (6,85 + 6,82)\Omega = 1k\Omega \parallel 13,67\Omega = 13,48 \Omega$$

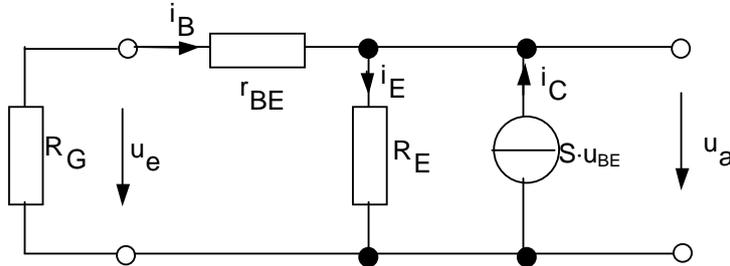
9.7 Ausgangswiderstand

$$r_a = R_C \parallel R_L = 1,2 \text{ k}\Omega \parallel 6 \text{ k}\Omega = 1 \text{ k}\Omega$$

Lösung Aufgabe 10:

10.1 Eingangssignal an Basis, Ausgangssignal am Emitter ⇒ Kollektorschaltung

10.2 Kleinsignalersatzschaltbild



10.3 Eingangs- und Ausgangswiderstand

$$r_e = \frac{u_e}{i_b}$$

Masche: $u_1 = i_B \cdot r_B + i_E R_E = i_B \cdot r_B + (1 + \beta) i_B \cdot R_E$

$$r_e = \frac{u_e}{i_b} = r_{BE} + (1 + \beta) R_E$$

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} \quad \text{mit } S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{\beta \cdot I_B}{U_T} = \frac{200 \cdot 10 \mu A}{26 mV} = 77 mS$$

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} = \frac{200}{77 mS} = 2597 \Omega \approx 2,6 k\Omega$$

$$(1 + \beta) \cdot R_E = 201 \cdot 2 k\Omega = 402 k\Omega$$

$$r_e = 2,6 k\Omega + 402 k\Omega = 404,6 k\Omega$$

$$r_a = R_E \parallel \frac{R_G + r_{BE}}{1 + \beta} = 2 k\Omega \parallel \frac{100 k\Omega + 2,6 k\Omega}{201} = 408 \Omega$$

10.4 Spannungsverstärkung

$$A = \frac{u_a}{u_e} = \frac{\beta + 1}{\beta + 1 + \frac{\beta}{S \cdot R_E}} = \frac{201}{201 + \frac{200}{77 mS \cdot 2 k\Omega}} = \frac{201}{201 + 1,3} = 0,993$$

Lösung der Verständnisaufgabe (optional):

- **Verstärker für ein Hochfrequenzsignal bei mehreren GHz**

Hier kommt nur ein extrem schneller Feldeffekttransistor (wie zum Beispiel ein HEMT) in Frage. Bei bipolaren Transistoren begrenzt die Basisweite der Transistoren die Laufzeit, was die maximale Frequenz stark limitiert.

- **Ausgangstreiberstufe eines IC für mehrere mA**

Bipolare Transistoren können bei gleicher Fläche höhere Ströme aushalten. Für Ausgangsstufen mit hohen Strömen wäre daher eine integrierte Schaltung in bipolarer Technik sinnvoll.

- **Digitales IC für Taktraten im MHz Bereich**

Um schnelle Taktraten zu erreichen sind schnelle Schaltzeiten nötig. Daher sind hier Feldeffekttransistoren wie sie in CMOS Schaltkreisen verwendet werden von Vorteil. Hinzu kommt, dass der Stromverbrauch des integrierten Schaltkreises äußerst gering ist, da nur während eines Umlade Vorgangs Strom fließt.

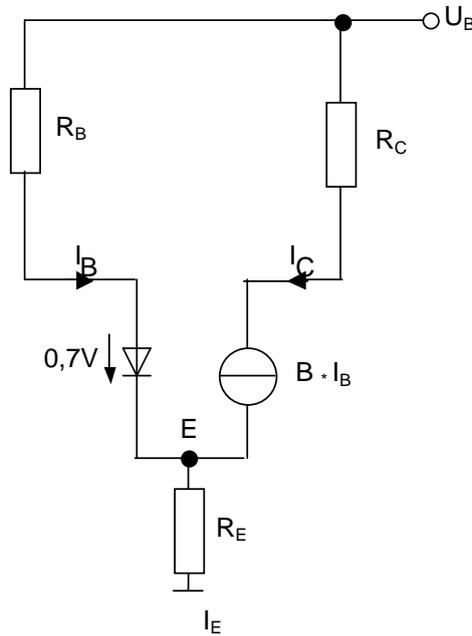
- **Antennenverstärker mit hoher Verstärkung**

Grundsätzlich sind die Verstärkungen bei Bipolartransistoren höher als bei Feldeffekttransistoren. Insofern wäre für einen analogen Eingangsverstärker des Antennensignals der Bipolartransistor besser geeignet. Bei höheren Frequenzen kann unter Umständen der Bipolarverstärker nicht mehr folgen, dann wäre eher ein Feldeffekttransistor nötig. Als Grundschaltung wäre die Basisschaltung am sinnvollsten, da sie eine gute Eingangswiderstandsanpassung an die Antenne ermöglicht.

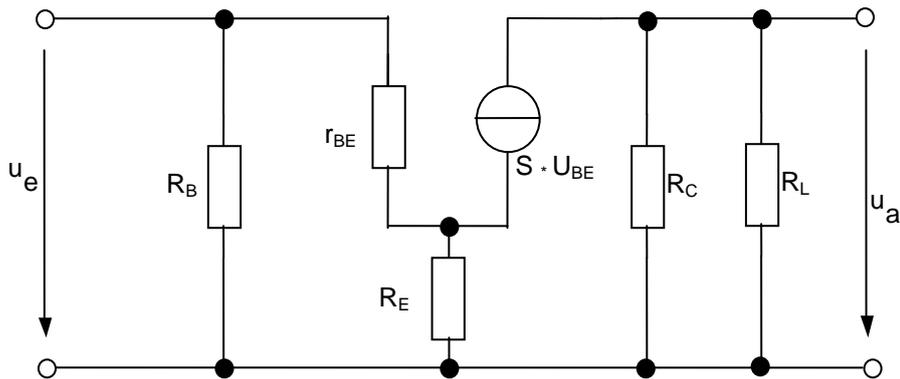
Lösung Aufgabe 11

11.1 Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

11.2



11.3



11.4 Ströme I_B und I_C

(rechter Pfad in Großsignal-Ersatzschaltbild)

$$U_b - U_{CE} = I_C \cdot R_C + I_E \cdot R_E$$

$$U_b - U_{CE} = B \cdot I_B \cdot R_C + (B+1) \cdot I_B \cdot R_E$$

$$I_B = \frac{6V}{B \cdot R_C + (B+1) \cdot R_E} = 2,5 \mu A$$

$$I_C = B \cdot I_B = 500 \mu A$$

Widerstand R_B

(linker Pfad in Großsignal-Ersatzschaltbild)

$$R_B = \frac{U_B - 0,7V - I_E \cdot R_E}{I_B}$$

$$R_B = \frac{9,3V - (B+1) \cdot I_B \cdot R_E}{I_B} = 2,92 M\Omega$$

11.5

$$S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{500\mu A}{26mV} = 19,2mS$$

11.6

$$A = -\frac{S \cdot (R_C \parallel R_L)}{1 + S \cdot R_E} = -0,538$$