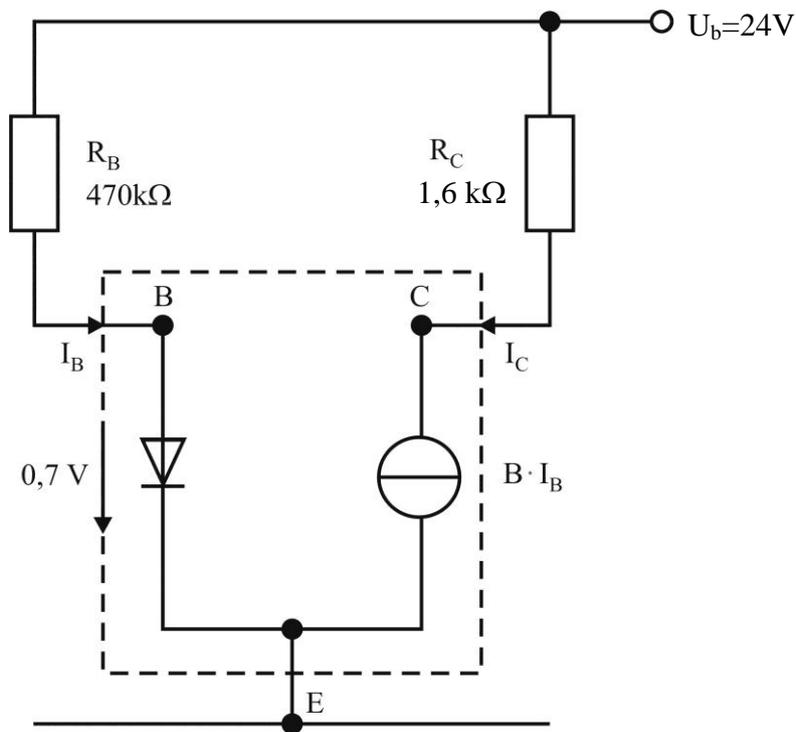


Aufgabe 4:

- 4.1 Die Schaltung ist eine Emitterschaltung mit Basisstromeinprägung.
- 4.2 Die Kondensatoren haben die Aufgabe, die Gleichspannungsanteile der Basis–Emitter – und der Kollektor–Emitterspannung vom Ein- bzw. Ausgangssignal zu entkoppeln.
- 4.3 Großsignalersatzschaltbild



4.4

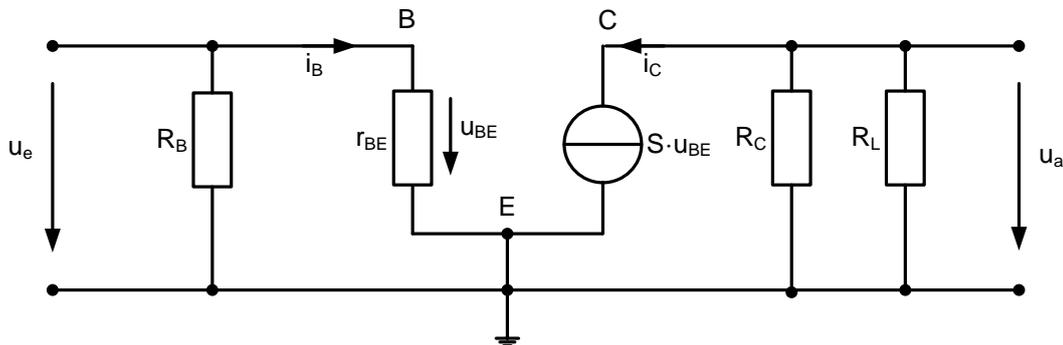
$$I_B = \frac{U_b - 0,7\text{V}}{R_B} = \frac{24\text{V} - 0,7\text{V}}{470\text{k}\Omega} = 49,6\mu\text{A}$$

$$I_C = B \cdot I_B = 150 \cdot 49,6\mu\text{A} = 7,44\text{mA} = I_{C,A}$$

$$U_{CE,A} = U_b - I_{C,A} \cdot R_C = 24\text{V} - 7,44\text{mA} \cdot 1,6\text{k}\Omega = 24\text{V} - 11,9\text{V} = 12,1\text{V}$$

$$S = \frac{I_{C,A}}{U_T} = \frac{7,44\text{mA}}{26\text{mV}} = 286,1\text{mS}$$

4.5 Kleinsignalersatzschaltbild



4.6 r_e, r_a, A

$$r_e = R_B \parallel r_{BE} \quad , \quad r_{BE} = \frac{\beta}{S} = 524,3 \Omega$$

$$r_e = 470 \text{ k}\Omega \parallel 524,3 \Omega \approx 524 \Omega \approx r_{BE}$$

$$r_a = R_C \parallel R_L = 1,6 \text{ k}\Omega \parallel 4,7 \text{ k}\Omega = 1193,6 \Omega$$

$$A = -S \cdot r_a = 286,1 \text{ mS} \cdot 1193,6 \Omega = -341,5$$

4.7 Arbeitspunkt soll erhalten bleiben, $\beta_{neu} = 300$

AP ist bestimmt durch $I_C, U_{CE} \Rightarrow R_C$ bleibt

R_B muss geändert werden.

Ansatz :

$$I_C = \beta \cdot I_B = \beta_{neu} \cdot I_{B,neu}$$

$$\Rightarrow I_{B,neu} = \frac{\beta}{\beta_{neu}} \cdot I_B = \frac{150}{300} \cdot 49,6 \mu\text{A} = 24,8 \mu\text{A}$$

$$R_{B,neu} = \frac{U_b - 0,7 \text{ V}}{I_{B,neu}} = \frac{23,3 \text{ V}}{24,8 \mu\text{A}} = 939,5 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow \text{E24-Reihe: } R_{B,neu} = 910 \text{ k}\Omega$$

Neuer Arbeitspunkt:

$$I_{B,Aneu} = \frac{24 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{910 \text{ k}\Omega} = 25,6 \mu\text{A}$$

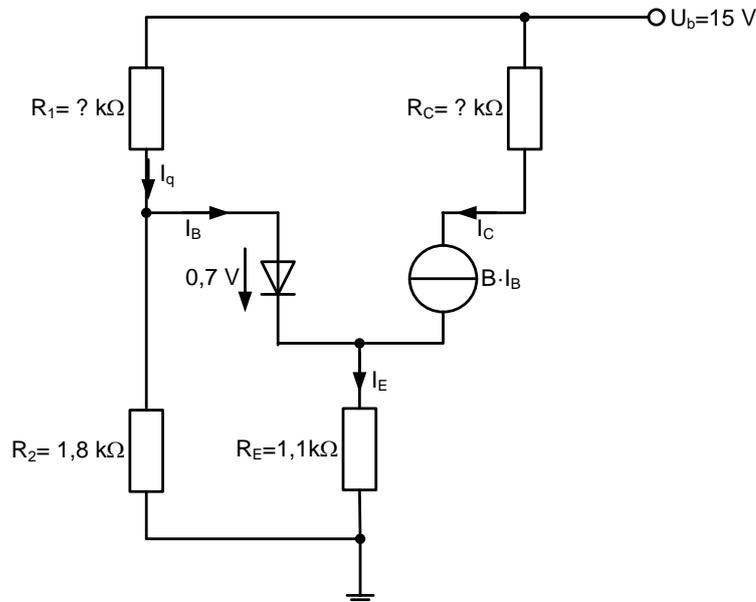
$$I_{C,Aneu} = \beta_{neu} \cdot I_{B,Aneu} = 300 \cdot 25,6 \mu\text{A} = 7,68 \text{ mA}$$

$$U_{CE,Aneu} = 24 \text{ V} - 1,6 \text{ k}\Omega \cdot 7,68 \text{ mA} = 24 \text{ V} - 12,29 \text{ V} = 11,71 \text{ V}$$

$$\Rightarrow S_{neu} = \frac{7,68 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 295 \text{ mS} \Rightarrow A = -S \cdot r_a = -295 \text{ mS} \cdot 1193,6 \Omega = -352$$

Aufgabe 5:

- 5.1 Großsignalbetrieb: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung
 Kleinsignalbetrieb: Emitterschaltung (da $C \parallel R_E$ und Angabe bei Aufgabe: Die Kondensatoren können für Wechselspannungen als Kurzschluss betrachtet werden)
 (Eingang: Basis, Ausgang: Kollektor, gemeinsam: Emitter)
- 5.2 Großsignalersatzschaltbild



- 5.3 Annahme: $I_B \ll I_q \Rightarrow$ vereinfachte Berechnung (unbelasteter Spannungsteiler)
 Annahme: $I_E \approx I_C$, mit Vorgabe: $I_C = 2 \text{ mA}$

$$U_{R2} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_b = 0,7 \text{ V} + I_E \cdot R_E = 0,7 \text{ V} + 2 \text{ mA} \cdot 1,1 \text{ k}\Omega = 2,9 \text{ V}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{R_2 \cdot U_b}{U_{R2}} - R_2 = \frac{1,8 \text{ k}\Omega \cdot 15 \text{ V}}{2,9 \text{ V}} - 1,8 \text{ k}\Omega = (9,31 - 1,8) \text{ k}\Omega = 7,51 \text{ k}\Omega$$

damit wird

$$I_q = \frac{U_b}{R_1 + R_2} = \frac{15 \text{ V}}{(7,51 + 1,8) \text{ k}\Omega} = 1,61 \text{ mA}$$

- 5.4 Berechnung von R_C mit Vorgabe: $U_{CE} = 5 \text{ V}$

$$U_B - U_{CE} - R_C \cdot I_C - R_E \cdot I_C = 0$$

$$\Rightarrow R_C = \frac{U_b - U_{CE} - U_{RE}}{I_C} = \frac{15 \text{ V} - 5 \text{ V} - 2,2 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = \frac{7,8 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 3,9 \text{ k}\Omega$$

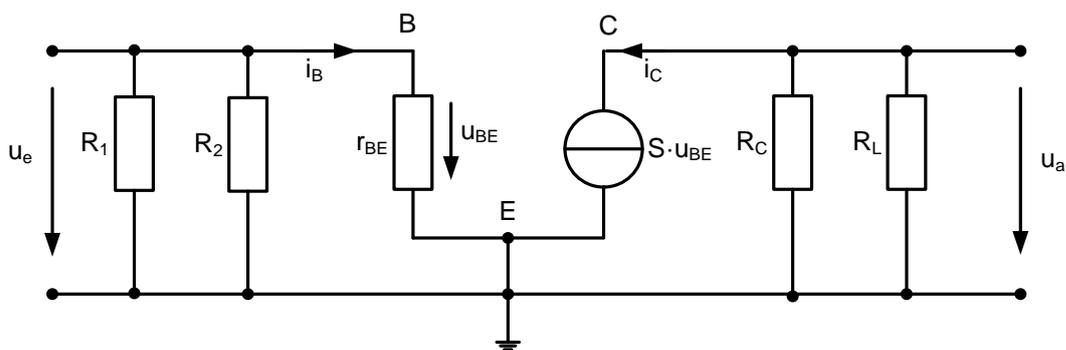
- 5.5 Aus Datenblatt B herauslesen:
 $B =$ DC Current Gain (Gleichstromverstärkung, Symbol: h_{FE}). Mit gegebenen Arbeitspunkt $\Rightarrow B_{Typ} = 290$. Damit wird

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2 \text{ mA}}{290} = 6,896 \mu\text{A} \approx 6,9 \mu\text{A} \quad (\ll I_q)$$

da kein U_T angegeben ist : Annahme : $U_T = 26 \text{ mV}$

$$S = \frac{I_{C,A}}{U_T} = \frac{2 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} = 76,92 \text{ mS}$$

5.6 Kleinsignalersatzschaltbild:



5.7 Eingangswiderstand r_e

$$r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel r_{BE} \quad \text{mit} \quad r_{BE} = \frac{\beta}{S}$$

Aus Datenblatt β herauslesen:

β = Small-Signal Current Gain (Symbol: h_{fe}). Mit gegebenen Arbeitspunkt => $\beta_{Typ} = 330$. (für S wird üblicherweise der Wert eingesetzt, der durch die Arbeitspunkt-Einstellung bestimmt wurde). Damit wird

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} = \frac{330}{76,9 \text{ mS}} = 4,29 \text{ k}\Omega$$

$$r_e = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot r_{BE}}{R_2 \cdot r_{BE} + R_1 \cdot r_{BE} + R_1 \cdot R_2} = \frac{7510 \cdot 1800 \cdot 4290}{1800 \cdot 4290 + 7510 \cdot 4290 + 7510 \cdot 1800} \Omega = 1084,8 \Omega$$

5.8 Ausgangswiderstand r_a

$$r_a = R_C \parallel R_a \quad a) \quad R_a = \infty : r_a = R_C = 3,9 \text{ k}\Omega$$

$$b) \quad R_a = 3,9 \text{ k}\Omega : r_a = 3,9 \text{ k}\Omega \parallel 3,9 \text{ k}\Omega = 1,95 \text{ k}\Omega$$

Berechnung der Spannungsverstärkung:

$$A = \frac{u_a}{u_e} \quad \text{mit} \quad u_e = r_{BE} \cdot i_B = \frac{\beta}{S} \cdot i_B \quad \text{und} \quad u_a = -r_a \cdot i_C = -r_a \cdot \beta \cdot i_B$$

wird

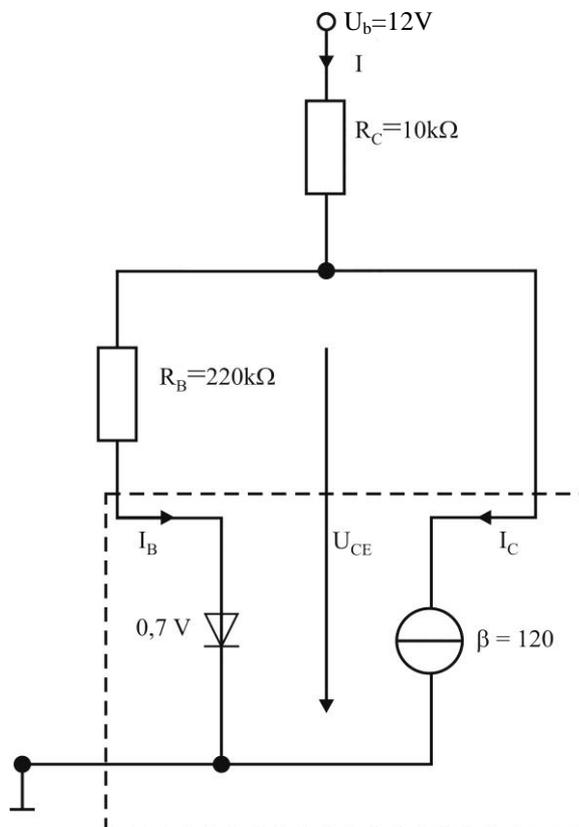
$$A = \frac{-r_a \cdot \beta \cdot i_B}{r_{BE} \cdot i_B} = -\frac{r_a \cdot \beta}{\frac{\beta}{S}} = -S \cdot r_a \quad a) \quad A = -\frac{3,9 \text{ k}\Omega \cdot 330}{4,29 \text{ k}\Omega} = -300$$

$$b) \quad A = -\frac{1,95 \text{ k}\Omega \cdot 330}{4,29 \text{ k}\Omega} = -150$$

Aufgabe 6:

6.1 Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung

6.2 Großsignalersatzschaltbild:



6.3 Arbeitspunktbestimmung

$$1. \quad I = I_B + I_C$$

$$\text{mit } I_C = \beta \cdot I_B \Rightarrow I = I_B \cdot (\beta + 1)$$

$$2. \quad U_b = R_C \cdot I + R_B \cdot I_B + 0,7 \text{ V}$$

$$= I_B \cdot (\beta + 1) \cdot R_C + I_B \cdot R_B + 0,7 \text{ V}$$

$$U_b = I_B \cdot ((\beta + 1) \cdot R_C + R_B) + 0,7 \text{ V}$$

$$U_b - 0,7 \text{ V} = I_B \cdot ((\beta + 1) \cdot R_C + R_B)$$

$$\Rightarrow I_B = \frac{11,3 \text{ V}}{(\beta + 1) \cdot R_C + R_B} = \frac{11,3 \text{ V}}{121 \cdot 10 \text{ k}\Omega + 220 \text{ k}\Omega}$$

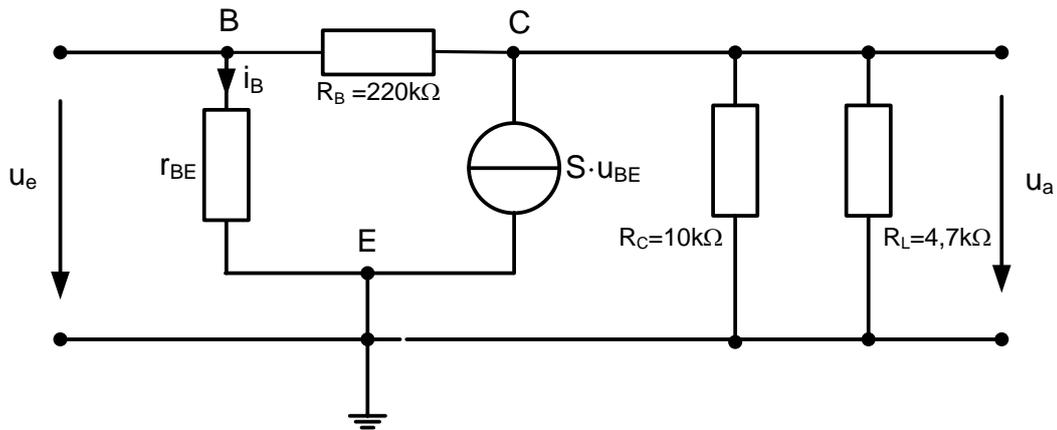
$$I_B = \frac{11,3 \text{ V}}{1,43 \cdot 10^6 \Omega} = 7,90 \mu\text{A}$$

$$I_C = \beta \cdot I_B = 120 \cdot 7,90 \mu\text{A} = 948 \mu\text{A}$$

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

$$U_{CE} = 12 \text{ V} - 9,56 \text{ V} = 2,44 \text{ V}$$

6.4 Kleinsignalersatzschaltbild



6.5 Spannungsverstärkung

$A = \frac{u_a}{u_e}$, d.h. Wechselspannung.

1. Eingangswiderstand berechnen

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} \quad , \quad S = \frac{I_C}{U_T} \quad \Rightarrow \quad r_{BE} = \frac{\beta \cdot U_T}{I_C} = \frac{120 \cdot 26 \text{ mV}}{0,948 \text{ mA}}$$

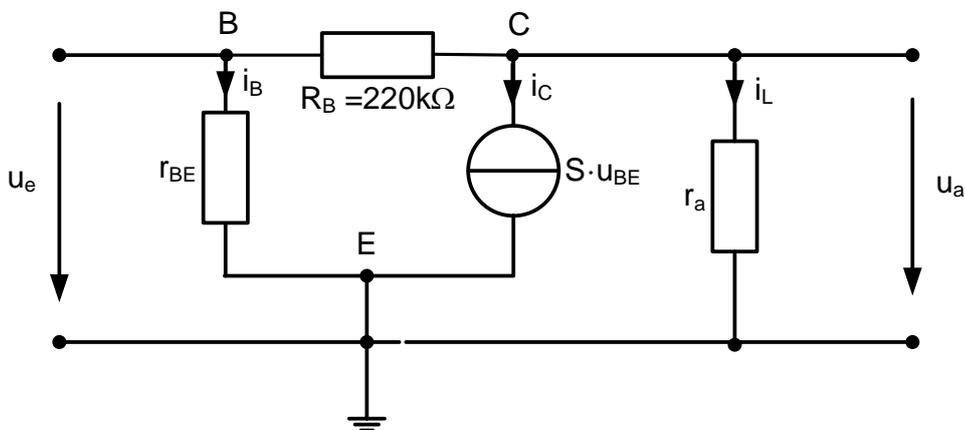
$$S = 36,46 \text{ mS} \quad , \quad r_{BE} = 3,29 \text{ k}\Omega$$

2. r_a berechnen

Da $R_B + r_{BE} \gg R_C \parallel R_L$ können wir vereinfachen zu:

$$r_a \approx R_C \parallel R_L = 10 \text{ k}\Omega \parallel 4,7 \text{ k}\Omega = \frac{R_C \cdot R_L}{R_C + R_L} = \frac{47 \cdot 10^6}{14,7 \cdot 10^3} = 3,2 \text{ k}\Omega$$

\Rightarrow vereinfachtes Ersatzschaltbild



$$1. \quad i_B = \frac{u_e}{r_{BE}}$$

$$i = i_C + i_L = S \cdot u_{BE} + i_L \quad \text{mit} \quad u_{BE} = r_{BE} \cdot i_B = \frac{\beta}{S} \cdot i_B \quad \text{wird}$$

$$2. \quad i = \beta \cdot i_B + i_L = \beta \cdot i_B + \frac{u_a}{r_a}$$

$$3. \quad i = \beta \cdot \frac{u_e}{r_{BE}} + \frac{u_a}{r_a}$$

$$4. \quad u_a = u_e - R_B \cdot i \Rightarrow 3. \text{ in } 4.$$

$$u_a = u_e - R_B \cdot \beta \cdot \frac{u_e}{r_{BE}} - R_B \cdot \frac{u_a}{r_a}$$

$$u_a \cdot \left(1 + \frac{R_B}{r_a}\right) = u_e \cdot \left(1 - \beta \cdot \frac{R_B}{r_{BE}}\right)$$

$$A = \frac{u_a}{u_e} = \frac{1 - \beta \cdot \frac{R_B}{r_{BE}}}{1 + \frac{R_B}{r_a}} = \frac{1 - 120 \cdot \frac{220 \text{ k}\Omega}{3,29 \text{ k}\Omega}}{1 + \frac{220 \text{ k}\Omega}{3,2 \text{ k}\Omega}} = \frac{-8023}{69,75}$$

$$A = -115$$

6.6 Eingangswiderstand

$$r_e = \frac{r_{BE} \cdot (r_A + R_B)}{r_{BE} + (1 + \beta)r_A + R_B}$$

$$r_e = 1,203 \text{ k}\Omega$$

Tabelle: Eigenschaften der verschiedenen Schaltungen mit Bipolartransistoren

Schaltung	Strom- verstärkung B, β	Spannungs- verstärkung A	Leistungs- verstärkung	Eingangs- widerstand r_e	Ausgangs- widerstand r_a
Emitterschaltung	hoch	hoch, $-S \cdot r_a$	hoch, $\beta \cdot A$	$\approx r_{BE}$	$R_C \parallel R_L$
Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung	hoch	klein, r_a / R_E	Mittel, $\beta \cdot A$	$\approx r_{BE} + \beta R_E$, aber abh. von Widerstands- werten für AP- Einstellung	$R_C \parallel R_L$
Emitterschaltung mit Spannungsgegen- kopplung	hoch	abhängig von Beschaltung	Hoch, $\beta \cdot A$	abhängig von Beschaltung	abhängig von Beschaltung
Kollektorschaltung	hoch	≈ 1	$\approx \beta$	$\approx r_{BE} + \beta R_E$	$\approx R_E \parallel \left(\frac{R_g}{\beta} + \frac{1}{S} \right)$
Basisschaltung	≈ 1	hoch, $+S \cdot r_a$	$\approx A$	klein, $R_E \parallel \left(\frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right)$	$R_C \parallel R_L$