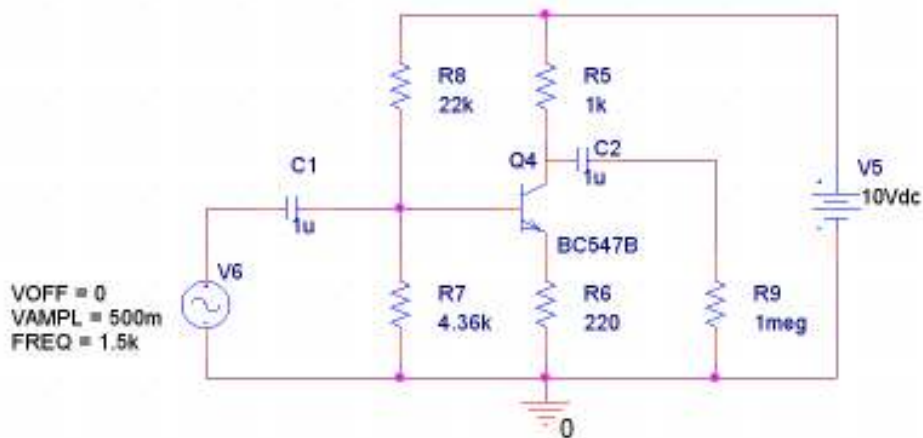


Elektronik Labor 2

Vorbereitende Aufgaben:

Transistor als Verstärker mit Stromgegenkopplung

Schaltung:



1. Berechnung von $V_U, U_{RC}, U_{RE}, I_C, \Delta U_{e\max}$:

$$V_U = -\frac{R_C \parallel R_L}{R_E} = -\frac{1k\Omega}{220\Omega} = -4,5 \quad (R_L \text{ wird vernachlässigt})$$

$$U_{RE} = \frac{U_B}{2 \cdot (|V_U| + 1)} = \frac{10V}{2 \cdot (5,5)} = 0,91V$$

$$U_{RC} = |V_U| \cdot U_{RE} = 4,5 \cdot 0,91V = 4,09V$$

$$I_C = \frac{U_{RC}}{R_C} = \frac{4,09V}{1k\Omega} = 4,09mA$$

$$\Delta U_{e\max} = 2 \cdot U_{RE} = 2 \cdot 0,91V = 1,82V$$

Die maximale Amplitude für ein sinusförmiges Eingangssignal bei dieser Auslegung ist

$$\frac{\Delta U_e}{2} = 0,91V \quad .$$

2. Berechnung von I_B, U_{BE} und R_X

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{4,09mA}{323,14} = 12,7\mu A \quad (\beta \text{ wurde aus Versuch 1 verwendet})$$

U_{BE} kann man der Eingangskennlinie entnehmen. (Aus Versuch 1 bereits vorhanden)

$$U_{BE} = 700mV$$

$$I_q + I_B = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{U_B - U_{RE} - U_{BE}}{R_1} = \frac{8,39V}{22k\Omega} = 381,4\mu A$$

$$I_q = I_q + I_B - I_B = 381,4\mu A - 12,7\mu A = 368,7\mu A$$

$$R_X = \frac{U_{RX}}{I_q} = \frac{U_{BE} + U_{RE}}{I_q} = \frac{0,7V + 0,91V}{368,7\mu A} = 4,36k\Omega$$

3. Berechnung von r_e und r_a

$$r_{BE} = \frac{740mV - 660mV}{55,35\mu A - 3,01\mu A} = \frac{80mV}{53,34\mu A} = 1,5k\Omega$$

$$r_{CE} = \frac{6,72V - 0,32V}{4,29mA - 3,88mA} = \frac{6,4V}{406,5\mu A} = 15,7k\Omega$$

$$r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{BE} + \beta \cdot R_E) = 22k\Omega \parallel 12,7k\Omega \parallel (1,5k\Omega + 323,14 \cdot 220\Omega)$$

$$\frac{1}{r_e} = \frac{1}{22000} + \frac{1}{12700} + \frac{1}{72591}$$

$$r_e = 7248\Omega$$

$$r_a \approx R_C$$

$$r_a \approx 1k\Omega$$

(durch das große r_{CE} , welches durch R_E noch vergrößert wurde, kann man davon ausgehen, dass $r_a \approx R_C$ ist)

4. Prüfen der berechneten Parameter

$$I_B = 12,7\mu A$$

$$I_C = 4,11mA$$

$$U_{RC} = 4,1V$$

$$U_{RE} = 0,91V$$

5. Bestimmung der Spannungsverstärkung aus der Simulation

$$\Delta U_e = 1V$$

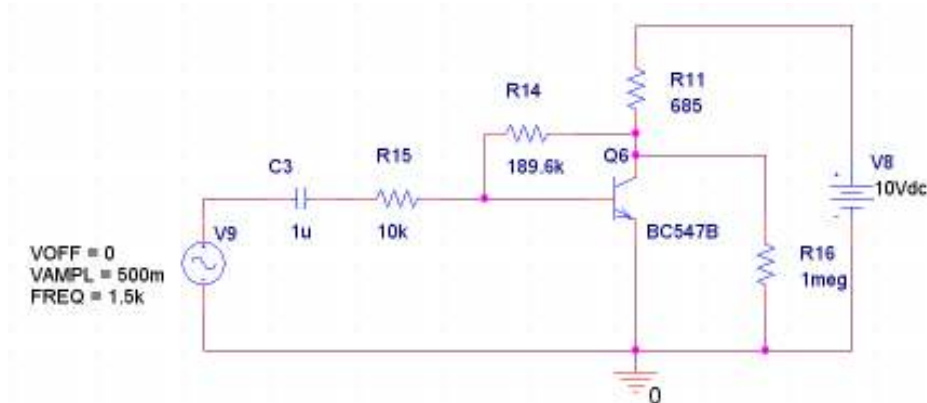
$$\Delta U_a = 4,4V$$

$$\rightarrow V_U = -4,4$$

$$\Delta U_{RE} = 964mV \approx \Delta U_e$$

Transistor als Verstärker mit Spannungsgegenkopplung

Schaltung:



6. Dimensionierung von R_C und R_N

$$I_C = 7,3mA$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{7,3mA}{323,14} = 22,6\mu A$$

$$U_{BE} \text{ aus Kennlinie ablesen} \rightarrow U_{BE} = 715mV$$

$$U_{CE} = \frac{U_B}{2} = 5V \text{ (für maximale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden$$

Spannungsbereichs)

$$R_N = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_N} = \frac{5V - 0,715V}{22,6\mu A} = 189,6k\Omega$$

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{5V}{7,3mA} = 685\Omega$$

$$r_{BE} = \frac{740mV - 660mV}{55,35\mu A - 3,01\mu A} = \frac{80mV}{53,34\mu A} = 1,5k\Omega$$

$$r_{CE} = \frac{6,72V - 0,32V}{4,29mA - 3,88mA} = \frac{6,4V}{406,5\mu A} = 15,7k\Omega$$

$$\frac{1}{V_U} = - \left(\frac{1 + \frac{(R_1 + R_i)}{r_{BE}}}{\beta \cdot (r_{CE} \parallel R_C \parallel R_L)} + \frac{(R_1 + R_i)}{R_N} \right) = - \left(\frac{1 + \frac{10k\Omega}{1,5k\Omega}}{\frac{323,14}{1,5k\Omega} \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{15,7k\Omega} + \frac{1}{685\Omega}} \right)} + \frac{10k\Omega}{189,6k\Omega} \right)$$

$$= - \left(\frac{7,67}{0,215 \cdot 656,36} + 0,053 \right) = -0,1074$$

$$V_U = -9,32$$

7. Berechnung von r_e und r_a

$$r_e = R_1 + \left(r_{BE} \parallel \frac{R_N}{\frac{\beta}{r_{BE}} \cdot (R_C \parallel r_{CE} \parallel R_L)} \right) = 10k\Omega + \left(\frac{1}{\frac{1}{1,5k\Omega} + \frac{1}{\frac{323,14}{1,5k\Omega} \cdot \left(\frac{1}{\frac{1}{685\Omega} + \frac{1}{15,7k\Omega}} \right)}} \right)$$

$$= 10k\Omega + 708\Omega = 10,7k\Omega$$

$$r_a = r_{CE} \parallel R_C \parallel \left(\frac{R_N}{\beta} \cdot \left(1 + \frac{r_{CE}}{R_1 + R_i} \right) \right)$$

$$\frac{1}{r_a} = \frac{1}{15,7k\Omega} + \frac{1}{685\Omega} + \frac{1}{\frac{189,6k\Omega}{323,14} \cdot \left(1 + \frac{15,7k\Omega}{10k\Omega} \right)}$$

$$r_a = 457,3\Omega$$

8. Prüfen der Werte durch Simulation

$$I_C = 7,29mA$$

$$I_B = 22,5\mu A$$

$$U_{RN} = 4,28V$$

$$U_{RC} = 5V$$

9. Ermittlung der Spannungsverstärkung in der Simulation

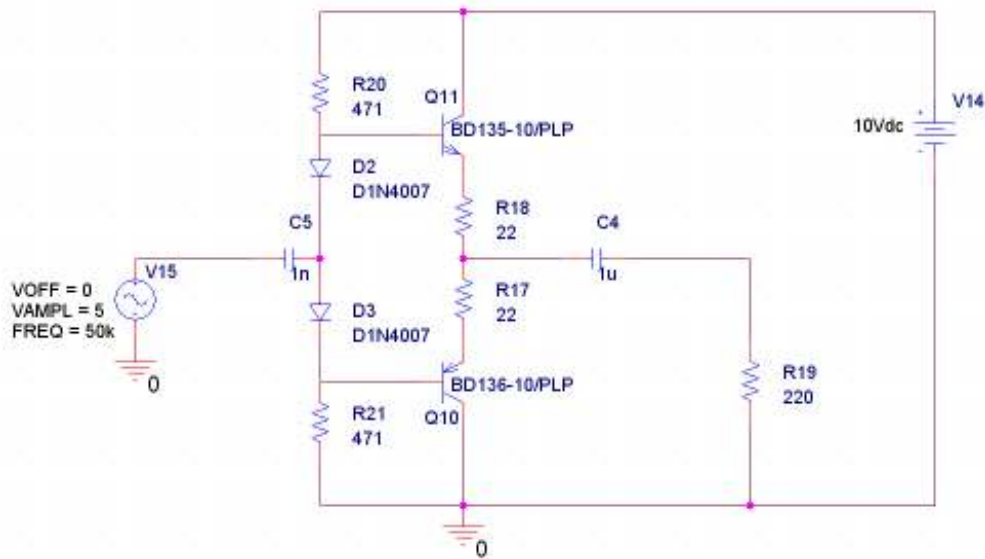
$$\Delta U_e = 1V$$

$$\Delta U_a = 8,83V$$

$$\rightarrow V_U = -8,83$$

Endstufenschaltung:

Schaltung:



10. Auslegung von R_1 (bzw. R_2)

$$\beta = 124, I_C = 2,5\text{mA}, R_{E1} = R_{E2} = 22\Omega$$

$$U_{RE} = R_{E1} \cdot I_E \approx R_{E1} \cdot I_C = 22\Omega \cdot 2,5\text{mA} = 55\text{mV}$$

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{2,5\text{mA}}{124} = 20,2\mu\text{A}$$

Aus der Eingangskennlinie des Transistors wird U_{BE} bestimmt $\rightarrow U_{BE} = 632\text{mV}$

$$U_D = U_{BE} + U_{RE1} = 632\text{mV} + 55\text{mV} = 687\text{mV}$$

aus der Diodenkennlinie wird I_D bestimmt $\rightarrow I_D = 9,15\text{mA}$

$$U_{R1} = \frac{U_B}{2} - U_D = 5\text{V} - 0,687\text{V} = 4,313\text{V}$$

$$R_1 \approx \frac{U_{R1}}{I_D} = \frac{4,313\text{V}}{9,15\text{mA}} = 471,3\Omega$$

11. Testen der Einstellungen:

$$I_{B1} = 19,1\mu\text{A}$$

$$I_{C1} = 2,4\text{mA}$$

$$U_{BE1} = 631\text{mV}$$

$$U_{D1} = 684\text{mV}$$

$$I_{B2} = -19,1\mu\text{A}$$

$$I_{C2} = -2,4\text{mA}$$

$$U_{BE2} = -631\text{mV}$$

$$U_{D1} = 684\text{mV}$$

Aufnahme von Messwerten für verschiedene Werte der Eingangsspannung

U_e (in V)	U_{D1} (in mV)	U_{RE1} (in mV)	U_{BE1} (in mV)	U_{RL} (in V)
3	677	269	674	2,69
5	668	443	691	4,43
-3	670	-0,413	393	-2,94
-5	694	0,072	166	-4,58

Begründung:

Über den Dioden können nur Werte auftreten, die oberhalb der Schwellspannung auftreten, daher liegen alle Werte in dem Bereich um 650-700mV, der Schwellspannung einer Siliziumdiode. U_{RE1} und U_{BE1} zeigen den Verlauf der Halbwellen bei der getrennten Endstufe. In der positiven Halbwelle leitet der Transistor T_1 , es ist außerdem ein Spannungsabfall über R_{E1} zu erkennen. In der negativen Halbwelle liegt der Spannungsabfall über U_{BE1} unter der Diodenschwellspannung, der Transistor sperrt und es ist kaum Spannungsabfall an R_{E1} zu sehen.

Aus Ausgangssignal an R_L ist fast identisch mit dem Eingangssignal, eine 1:1 Ausgabe erfolgt jedoch nicht. Dieses kann auch in der Simulation durch ein Erhöhen der Eingangskapazität nicht behoben werden.

12. Bestimmung von r_e

$$\Delta U_e = 10V$$

$$\Delta i_e = 41,1\Omega$$

$$\rightarrow r_e = 243\Omega$$