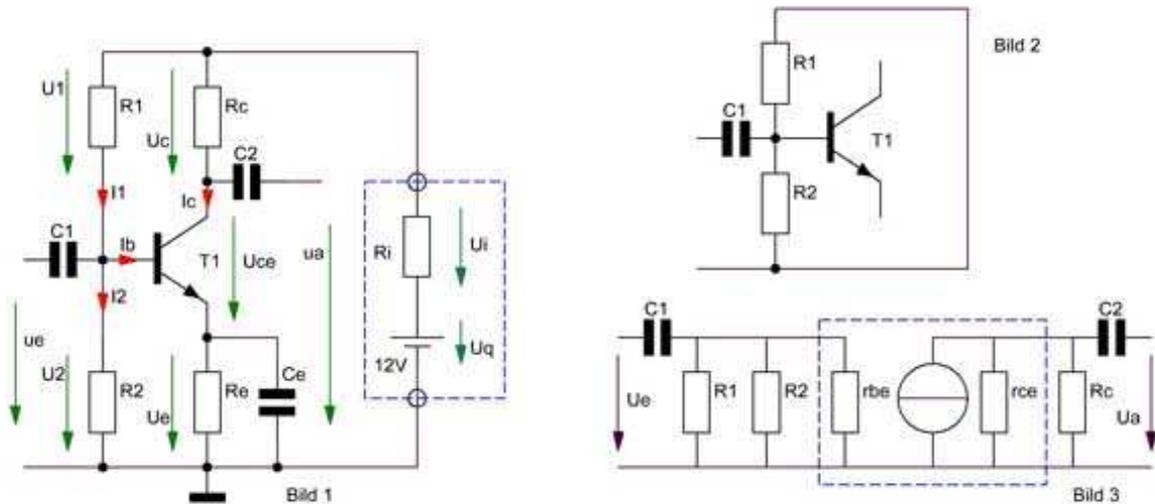


Berechnung einer Emitterschaltung



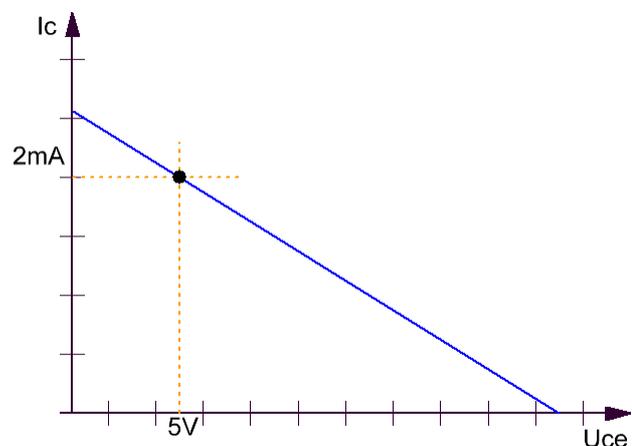
Die Berechnung der Bauteile hängt natürlich in hohem Maß von den Gegebenheiten ab. Gehen wir mal davon aus das unser Verstärker in ein bestehendes Gerät eingebaut werden soll. Die Versorgungsspannung beträgt $U_{\text{betr}} = 21\text{V}$. Die Signalspannung am Eingang hat einen Wert von $U_E = 40\text{mV}$ und soll auf $U_A = 1\text{V}$ verstärkt werden. Wir benötigen also eine Spannungsverstärkung von:

$$v_U = \frac{U_A}{U_E} = \frac{1\text{V}}{0,04\text{V}} = 25$$

Der Frequenzbereich soll von 15Hz bis 25kHz reichen.

Diese Bedingungen erfüllt nahezu jeder NPN-Transistor dessen Name mit BC... beginnt. Ich wähle den BC846A, da mir für diesen Typ die technischen Unterlagen vorliegen. Ein anderes Auswahlkriterium ist natürlich auch die Frage: "Was finde ich noch in meiner Bastelkiste?".

Als erstes wird der Arbeitspunkt festgelegt. Die Werte aus den Datenblättern sind in der Regel für einen bestimmten Arbeitspunkt, hier $U_{CE} = 5\text{V}$ und $I_C = 2\text{mA}$, gegeben. Benötigt man einen anderen Arbeitspunkt müssen die Parameter mit Hilfe von Diagrammen angepasst werden. Diesen Punkt tragen wir in das nebenstehende I_C - U_{CE} Diagramm ein. Die Signalspannung lässt diesen Punkt später auf der Geraden auf und ablaufen. In unserem Fall um $\pm 1,4\text{V}$.



Wenn der Transistor sperrt fließt kein Strom, also fällt an den Widerständen R_C und R_E auch keine Spannung ab. Die volle Spannung von 21V liegt also an den Anschlüssen des Transistors. Das ist die maximale

Spannung für die er ausgelegt sein muss. Der BC846 hat eine maximale Kollektor-Emitter-Spannung von 65V. Der Strom hat einen Wert von $I_C = 0\text{mA}$ und die Spannung beträgt $U_{CE} = 21\text{V}$. Das ist der Schnittpunkt mit der horizontalen Achse. Da der Kurvenverlauf von der äußeren Beschaltung, also von R_C und R_E abhängt ergibt sich eine Gerade. Um sie zu zeichnen genügen diese zwei Punkte. Der Schnittpunkt mit der vertikalen Achse ergibt den maximalen Strom wenn der Transistor ganz aufgesteuert ist. Hier sind das $I_{C\text{max}} = 2,55\text{mA}$.

Da am Transistor im Arbeitspunkt $U_{CE} = 5\text{V}$ abfallen sollen, verbleiben für die Widerstände R_C und R_E noch:

$$U_R = U_{\text{Betr}} - U_{CE} = 21\text{V} - 5\text{V} = 16\text{V}$$

Der Spannungsabfall an R_C stabilisiert den Arbeitspunkt des Transistors bei veränderten Temperaturen. Je höher diese Spannung ist umso stabiler arbeitet der Transistor. Der mögliche Aussteuerbereich wird dadurch aber verkleinert. In der Praxis hat sich ein Wert von 1V bis 2V als sinnvoll erwiesen. Nehmen wir an dieser Stelle einfach mal $U_{RE} = 2\text{V}$ an.

$$U_{RC} = U_R - U_{RE} = 16\text{V} - 2\text{V} = 14\text{V}$$

Mit dem ermittelten maximalen Strom von $I_{C\text{max}} = 2,55\text{mA}$ ergibt sich für R_C folgender Wert:

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_{C\text{max}}} = \frac{14\text{V}}{2,55\text{mA}} = 5490\Omega$$

Aus der E24 Reihe wähle ich 5,6k Ω .

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_{C\text{max}}} = \frac{2\text{V}}{2,55\text{mA}} = 784\Omega \quad \text{Gewählt } 750\Omega.$$

Der Arbeitspunkt wird über den Basisstrom eingestellt. Dazu benötigen wir die Gleichstromverstärkung B des Transistors. Beim BC846A liegt dieser Wert zwischen 110 und 220. Nehmen wir hier einfach mal den Mittelwert $B = 165$.

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{2,55\text{mA}}{165} = 15,5\mu\text{A}$$

Die Basisspannung die für einen Kollektorstrom von 2,55mA nötig ist wird im Datenblatt mit $U_{BE} = 0,65\text{V}$ angegeben.

Zur Erzeugung der Basisvorspannung soll ein Spannungsteiler verwendet werden. Da der Basisstrom sich mit dem Signal ändert, ändern sich auch die Spannungen am Spannungsteiler (belasteter Spannungsteiler). Um diese Schwankungen zu verhindern sollte der Strom durch R_2 etwa fünf bis zehnmal so groß wie I_B sein.

$$I_2 = 5 \cdot I_B = 5 \cdot 15,5\mu\text{A} = 77,5\mu\text{A}$$

Durch R_1 fließt sowohl der Strom I_2 als auch der Strom I_B .

$$I_1 = I_2 + I_B = 77,5\mu\text{A} + 15,5\mu\text{A} = 92\mu\text{A}$$

Nach dem 2. Kirchhoff'schen Satz beträgt die Spannung an R_2 :

$$U_{R2} = U_{BE} + U_{RE} = 0,65\text{V} + 2\text{V} = 2,65\text{V}$$

Für die Spannung an R_1 gilt somit:

$$U_{R1} = U_{\text{Betr}} - U_2 = 21\text{V} - 2,65\text{V} = 18,35\text{V}$$

Die Widerstände R_1 und R_2 lassen sich nun berechnen:

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_1} = \frac{18,35V}{92\mu A} = 199k\Omega \quad \text{Gewählt: } 200k\Omega$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_2} = \frac{2,65V}{77,5\mu A} = 34k\Omega \quad \text{Gewählt: } 33k\Omega$$

Der Widerstand R_E dient der Stabilisierung des Arbeitspunktes bei Temperaturänderung. Wird der Transistor warm erhöht sich der Kollektorstrom. Das hat eine weitere Erwärmung zur Folge. Diese zieht wiederum eine Erhöhung des Stromes nach sich und so weiter. Der Emitterwiderstand wirkt dem entgegen. Ein höherer Strom I_C bewirkt einen höheren Spannungsabfall an R_E . Da die Spannung an R_2 konstant bleibt muss sich U_{BE} verringern. Dadurch sinkt I_C . Der Arbeitspunkt bleibt stabil.

Der Widerstand kann aber nicht eine Stromänderung infolge von Temperaturschwankungen von Stromänderung durch ein Nutzsignal unterscheiden. Das würde eine Verminderung der Verstärkung bedeuten. Da Temperaturänderungen nur sehr langsam, als mit sehr kleiner Frequenz, vor sich gehen, wird der Widerstand mit einem Kondensator überbrückt der die hohen Signalfrequenzen kurzschließt. Es findet keine Gegenkopplung mehr statt.

Der Kondensator wird so bemessen das sein Blindwiderstand bei der unteren Grenzfrequenz etwa ein Zehntel des Emitterwiderstandes beträgt. In unserem Fall also 75Ω bei 15 Hz.

$$C_E = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 15Hz \cdot 75\Omega} = 141\mu F \quad \text{Gewählt: } 150\mu F$$

Sieht man sich das Ersatzschaltbild an, kann man erkennen dass der Kondensator C_1 zusammen mit den Widerständen R_1 , R_2 , und r_{BE} einen Hochpass bildet. Die geforderte untere Grenzfrequenz bestimmt also den Wert des Kondensators.

Die drei Widerstände sind parallel geschaltet:

$$R_e = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{BE}}} = \frac{1}{\frac{1}{200k\Omega} + \frac{1}{33k\Omega} + \frac{1}{2,7k\Omega}} = 2465\Omega$$

Der Wert für r_{BE} ist wieder dem Datenblatt entnommen. Er ist dort als Parameter h_{11e} angegeben. Der Eingangswiderstand der Schaltung wird fast nur durch den Eingangswiderstand des Transistors bestimmt.

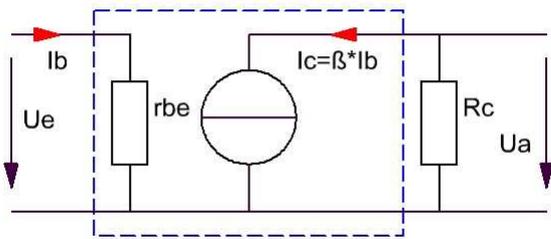
$$C_1 = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot R_e} = \frac{1}{2\pi \cdot 15Hz \cdot 2465\Omega} = 4,3\mu F \quad \text{Gewählt: } 4,7\mu F$$

Der Kondensator C_2 ist abhängig vom Innenwiderstand der nächsten Stufe.

Für den Ausgangswiderstand gilt:

$$R_a = \frac{1}{\frac{1}{R_c} + g_{CE}} = \frac{1}{\frac{1}{5,6k\Omega} + 18\mu S} = 5087\Omega$$

Hier wird der Gesamtwert fast nur durch den Widerstand R_C bestimmt. Das Ersatzschaltbild lässt sich also noch weiter vereinfachen:



Mit den Beziehungen

$$u_e = r_{BE} \cdot i_B$$

$$u_a = i_C \cdot R_C$$

$$i_C = \beta \cdot i_B$$

kann nun die Spannungsverstärkung bestimmt werden.

$$v_U = \frac{u_a}{u_e} = \frac{i_C \cdot R_C}{i_B \cdot r_{BE}} = \frac{\beta \cdot i_B \cdot R_C}{i_B \cdot r_{BE}} = \beta \cdot \frac{R_C}{r_{BE}} = \frac{200 \cdot 5,6k\Omega}{2,7k\Omega} = 415$$

Mit 40mV am Eingang wären das 16,6V am Ausgang. Das ist wesentlich mehr als wir vorgegeben haben. Die Verstärkung kann reduziert werden wenn man den Kondensator C_E entfernt. Der war ja extra eingefügt worden um die Signalspannung nicht Gegenzukoppeln. Dann bestimmen die Widerstände R_C und R_E die Verstärkung:

$$v_U = \frac{R_C}{R_E} = \frac{5,6k\Omega}{0,75k\Omega} = 7,5$$

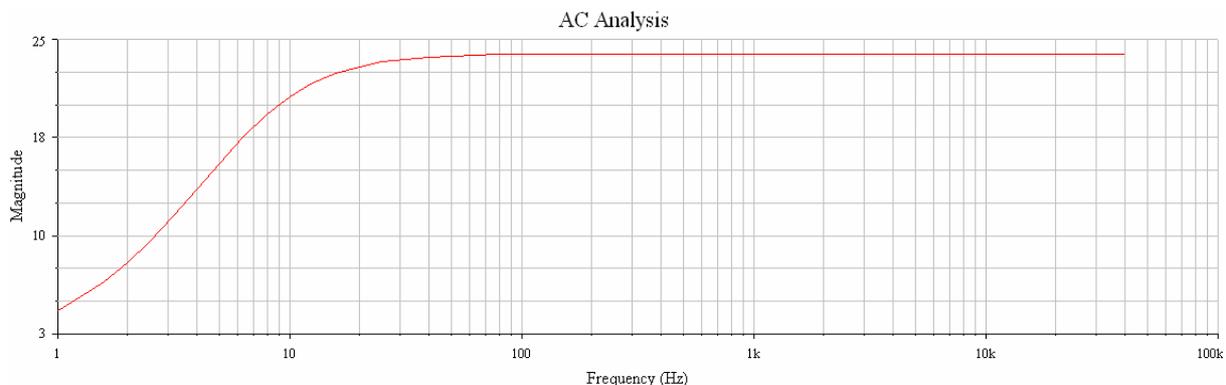
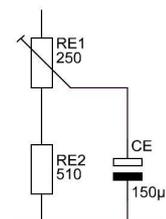
Das ist aber zu wenig. Es war ja eine Verstärkung von 25 gefordert. Dazu wird der Widerstand R_E aufgeteilt. Nur ein Teil wird mit dem Kondensator überbrückt.

$$R_{E1} = \frac{R_C}{v_U} = \frac{5,6k\Omega}{25} = 224\Omega \quad \text{Gewählt: } 220\Omega$$

Dieser Widerstand wird nicht überbrückt und dient der Gegenkopplung des Signals. Der restliche Widerstand:

$$R_{E2} = R_E - R_{E1} = 750\Omega - 220\Omega = 530\Omega \quad \text{Gewählt: } 510\Omega$$

dient weiterhin der Stabilisierung des Arbeitspunktes und wird mit dem Kondensator überbrückt. Interessant ist auch die Möglichkeit ein Poti einzusetzen und den Kondensator am Schleifer anzuschließen. Die Verstärkung ist dann einstellbar.



Eine Simulation der Schaltung ergab die oben dargestellte Kurve. Die untere Grenzfrequenz liegt unter 10Hz und die obere Grenzfrequenz weit über 50kHz. Die Verstärkung erreicht nicht ganz die geforderten 25. hier ist noch etwas Feinabgleich nötig.

Noch einmal alle Werte zusammengefasst:

| | | | |
|-------|-------------|-------|-----------|
| T_1 | BC846A | R_2 | 33k |
| R_C | 5,6k | C_E | 150 μ |
| R_E | 220 und 510 | C_1 | 4,7 μ |
| R_1 | 200k | | |