

## Stabilisierung der Emitterschaltung durch Spannungsgegenkopplung

$$U_{RN} + U_{BE} = U_{CE} \quad I_N = \frac{U_{RN}}{R_N}$$

- Basis-Vorwiderstand  $R_N$  ist nicht an die feste Betriebsspannung angeschlossen, sondern an das veränderliche Kollektorpotential

Wirkungsweise:

- Ein Teil der Ausgangsspannung wird über  $R_N$  zum Eingang zurückgekoppelt. Die Ausgangsspannung ist jedoch um  $180^\circ$  phasenverschoben
- Der Widerstand  $R_1$  legt fest, in welchem Maße die Gegenkopplung zur Wirkung kommt
- $R_1$  kann (zum Teil) aus dem Innenwiderstand der Signalquelle  $R_i$  bestehen

Überlagerungssatz:

Man sucht sich eine Quelle aus und überbrückt alle anderen (dies wird mit jeder Quelle durchgeführt):

- Spannungen werden berechnet
- alle Spannungen auf einer Leitung werden addiert

$$\Delta I_B = \Delta I_{B1} - \Delta I_{B2}$$

→ je nachdem, wie groß  $R_1$  ist, fließt mehr Strom bei  $\Delta I_{B2}$

→ stärkere Gegenkopplung = größeres  $R_1$  → kleinere Verstärkung

Formelgrößen:

WS-Eingangswiderstand:

$$r_e = R_1 + (r_{BE} \parallel R_X)$$

→  $R_1$  bestimmt maßgeblich den WS-Eingangswiderstand

$$r_e = R_1 + \left( r_{BE} \parallel \frac{R_N}{\frac{\beta}{r_{BE}} \cdot (R_C \parallel r_{CE} \parallel R_L)} \right)$$

Anschaulich: Reihenschaltung aus  $R_1$  und  $(r_{BE} \parallel R_X)$

WS-Ausgangswiderstand:

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

Spannungsverstärkung:

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

setze  $R_1 + R_i = 0 \rightarrow$  keine Gegenkopplung

$$\frac{1}{V_U} = - \frac{1}{\frac{\beta}{r_{BE}} \cdot (r_{CE} \parallel R_C \parallel R_L)} = \frac{r_{BE}}{\beta \cdot (r_{CE} \parallel R_C \parallel R_L)} \quad (\text{Verstärkung ohne Gegenkopplung})$$

Damit die Gegenkopplung wirksam ist, muss gelten:

$$(R_1 + R_i) > r_{BE} \quad (R_1 + R_i \text{ sollte } 5 \dots 10 \text{ Mal so groß sein wie } r_{BE})$$

Zahlenbeispiel:

gegeben:  $\beta = 295, I_C = 10 \text{ mA}, U_B = 15 \text{ V}$

1.  $I_B$  berechnen:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{10 \text{ mA}}{295} = 34 \mu\text{A}$$

2.  $U_{BE}$  aus Kennlinie ablesen  $\rightarrow U_{BE} = f(I_B) = 0,7 \text{ V}$

3. Dimensionierung von  $R_N$ :

$$R_N = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_N} \quad (\text{mit } I_B = I_N = 34 \mu\text{A}, U_q = 0 \text{ V})$$

$$U_{CE} = \frac{U_B}{2} = 7,5 \text{ V} \quad (\text{für maximale Ausnutzung des zur Verfügung stehenden}$$

Spannungsbereichs)

$$R_N = \frac{7,5 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{34 \mu\text{A}} = 200 \text{ k}\Omega$$

4. Dimensionierung von  $R_C$ :

$$R_C = \frac{U_{RC}}{I_C} = \frac{7,5 \text{ V}}{10 \text{ mA}} = 750 \Omega$$

5. Berechnung der Spannungsverstärkung:

$$r_{CE} = 10k\Omega \quad r_{BE} = 1,5k\Omega \quad R_1 = 10k\Omega$$

$$\frac{1}{V_U} = - \left( \frac{1 + \frac{10k\Omega}{1,5k\Omega}}{\frac{295}{1,5k\Omega} \cdot (10k\Omega \parallel 750\Omega)} + \frac{10k\Omega}{200k\Omega} \right)$$

$$\frac{1}{V_U} = -0,1058$$

$$V_U = -9,46$$

Über  $R_1$  kann die Verstärkung  $V_U$  (und der Eingangswiderstand  $r_e$ ) eingestellt werden.

Beispiel:

Für das Zahlenbeispiel soll  $V_U = -15$  eingestellt werden ( $r_{BE} = 1,5k\Omega$ ,  $r_{CE} = 10k\Omega$ )

$$\frac{1}{15} = \left( \frac{1 + \frac{R_1}{1,5k\Omega}}{\frac{295}{1,5k\Omega} \cdot (10k\Omega \parallel 750\Omega)} + \frac{R_1}{200k\Omega} \right) \quad (\text{auflösen nach } R_1)$$

$$\frac{1}{15} = \frac{1}{137,2} + \frac{R_1}{205,8k\Omega} + \frac{R_1}{200k\Omega}$$

$$\frac{1}{15} - \frac{1}{137,2} = R_1 \cdot \left( \frac{1}{205,8k\Omega} + \frac{1}{200k\Omega} \right)$$

$$\Rightarrow R_1 = 6022\Omega$$

Simulationsergebnis, wenn man den errechneten Wert eingibt:

$$V_U = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = \frac{-258mV}{20mV} = -14,9$$

6. Berechnung von  $r_e$  und  $r_a$

$$r_e = 10k\Omega + \left( 1,5k\Omega \parallel \frac{200k\Omega}{\frac{295}{1,5k\Omega} \cdot (750\Omega \parallel 10k\Omega)} \right)$$

$$r_e = 10739\Omega$$

$$r_a = 10k\Omega \parallel 750\Omega \parallel \left( \frac{200k\Omega}{295} \cdot \left( 1 + \frac{1,5k\Omega}{10k\Omega} \right) \right)$$

$$r_a = 368,2\Omega$$

## Kollektorschaltung

Wirkungsweise:

- Eingangs- und Ausgangssignal sind in Phase

Formeln:

$$r_e = R_1 \parallel R_2 \parallel (r_{BE} + \beta \cdot (R_E \parallel R_L))$$

$$U_e = \Delta U_{BE} + U_a$$

$$r_{BE} \ll \beta \cdot (R_E \parallel R_L)$$

$$V_U = \frac{U_a}{U_e} < 1 \quad (\text{weil } U_a < U_e)$$

$$\boxed{V_U \approx 1}$$

Die Kollektorschaltung hat einen wesentlich größeren Eingangswiderstand als die Emitterschaltung.

$$r_a = R_E \parallel \left( \frac{r_{BE} + (R_1 \parallel R_2)}{\beta} \right) \quad (\text{Die Kollektorschaltung hat einen kleinen Ausgangswiderstand!!})$$

- ➔ Schaltung ist thermisch stabil
- ➔  $U_2 = U_{BE} + U_E$  ( $U_2$  fast const.)

Dimensionierungsbeispiel:

$$\beta = 295, I_C = 5\text{mA}, U_B = 15\text{V}$$

1.  $I_B$  berechnen:

$$I_B = \frac{I_C}{\beta} = \frac{5\text{mA}}{295} = 17\mu\text{A}$$

2.  $U_{BE}$  aus der Eingangskennlinie ablesen  $f(17\mu\text{A}) = 680\text{mV}$

3.  $R_E$  dimensionieren:

$$U_{CE} = U_{RE} = \frac{U_B}{2} = 7,5\text{V} \quad (\text{Spannungsbereich maximal ausnutzen})$$

$$R_E = \frac{U_{RE}}{I_E} \approx \frac{U_{RE}}{I_C} = \frac{7,5\text{V}}{5\text{mA}} = 1,5\text{k}\Omega$$

4. Basisspannungsteiler auslegen:

$$I_q = 10 \cdot I_B = 10 \cdot 17\mu\text{A} = 170\mu\text{A}$$

$$U_{R2} = U_{BE} + U_{RE} = 0,68\text{V} + 7,5\text{V} = 8,18\text{V}$$

$$R_2 = \frac{U_{R2}}{I_q} = \frac{8,18\text{V}}{170\mu\text{A}} = 48,1\text{k}\Omega$$

$$R_1 = \frac{U_B - U_{R2}}{I_q + I_B} = \frac{6,82\text{V}}{187\mu\text{A}} = 36,4\text{k}\Omega$$