



Die robuste Emitter-Schaltung

Transistor-Schaltungen reagieren ohne Sondermaßnahmen mit Fehlfunktionen auf Temperaturänderungen und Parameter-Schwankungen. Für die Emitter-Schaltung wird gezeigt, wie dies vermieden wird.

Arbeitspunktstabilisierung

Die rechts abgebildete minimale Emitter-Schaltung hat ihren Arbeitspunkt bei einer Kollektorspannung von

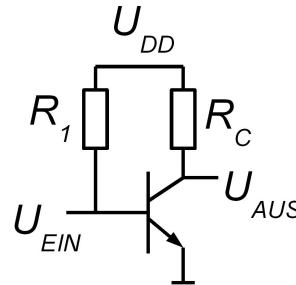
$$U_C = U_{AUS} = U_{DD} - \frac{R_C}{R_1} \cdot B \cdot (U_{DD} - U_{BE})$$

und eine Spannungsverstärkung von

$$V_U = \beta \cdot R_C / r_{BE}$$

Wird die Temperatur erhöht, so verschiebt sich der Arbeitspunkt, denn U_{BE} verringert sich im schlimmsten Falle um bis zu 200mV . Wegen des Faktors

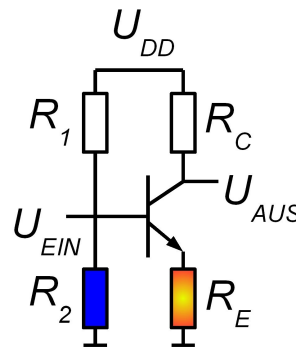
$(R_C/R_1) \cdot B$ kann dies eine Verminderung der Ausgangsspannung um mehrere Volt bewirken. Signale mit großen Ausgangsamplituden werden dann „oben abgeschnitten“. Gleichermäßen drastisch ist die Abhängigkeit von produktionsbedingten Schwankungen der Stromverstärkungen B bzw. β - sowohl hinsichtlich des Arbeitspunktes als auch hinsichtlich der Verstärkung der Schaltung.



Fachbereich Elektrotechnik
trifft Informatik
Elektroniklabor
Prof. Dr. Martin Poppe

Deutlich robuster ist die um zwei Widerstände erweiterte Schaltung. Der Emitter-Widerstand R_E dient der Temperaturstabilisierung, der Widerstand R_2 reduziert die Abhängigkeit vom genauen Wert von B, β .

R_E wirkt wie folgt: Eine Erhöhung des Basisstroms bringt eine Erhöhung des Emitterstroms und mit Hilfe des Emitterwiderstandes eine Erhöhung des Emitterpotenzials. Durch diese Erhöhung sinkt die Basis-Emitter Spannung und so der Basisstrom. Daher spricht man von „**Strom Gegenkopplung**“: R_E sorgt dafür, dass sich der Basisstrom selbst zurückregelt. Für eine quantitative Analyse wird zunächst der Kollektorstrom bestimmt:



$$I_C = \frac{U_{DD} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1} - U_{BE}}{\frac{1}{B} \cdot (R_1 \parallel R_2) + R_E \cdot \frac{(B+1)}{B}}$$

Für große Werte von B wird dies $I_C \approx U_{DD} \cdot \frac{R_1 \parallel R_2}{R_1 R_E} - \frac{U_{BE}}{R_E}$. Die Änderung des Kollektorstromes mit der Änderung der Basis-Emitter-Spannung ist daher

$$\Delta I_C = \frac{dI_C}{dU_{BE}} \cdot \Delta U_{BE} \approx -\frac{1}{R_E} \cdot \Delta U_{BE}$$

Bis auf einen Faktor $(-R_C)$ ist dies die Änderung des Ausgangs-Arbeitspunktes:

$$\Delta U_{AUS} \approx \frac{R_C}{R_E} \cdot \Delta U_{BE}$$

Praxis-Daumenregel: R_E wird so gewählt, dass 1V darüber abfällt.

Um die Wirkung von R_2 zu sehen, muss man sich fragen: „Wann hängt der Kollektorstrom nur noch schwach von B ab? Nach der Formel für den Kollektorstrom genau dann, wenn

$$(R_1 \parallel R_2) \ll R_E \cdot (B+1)$$

Also wenn R_1 oder R_2 klein ist, oder beide. Ein sehr niederohmiger R_1 würde aber den Stromverbrauch der Schaltung sehr stark ansteigen lassen. Ein sehr niederohmiger R_2 würde -auch nicht besser- den Transistor abschalten.

Praxis-Daumenregel: R_2 wird so gewählt, dass er 5..10 mal mehr Strom zieht als die Basis.

Verstärkungen

Mit Hilfe der Kleinsignalanalyse ergibt sich eine Spannungsverstärkung von

$$V_U = \frac{u_{AUS}}{u_{EIN}} = -\frac{\beta R_C}{r_{BE} + (1 + \beta) R_E}$$

Wenn, wie fast immer, $r_{BE} \ll (1 + \beta) R_E$, dann wird die Spannungsverstärkung von allen Transistorparametern unabhängig:

$$V_U \approx -\frac{R_C}{R_E}$$

Für die Berechnung der Stromverstärkung stellt man sich einen Lastwiderstand R_L parallel zum Kollektorwiderstand vor und berechnet den Strom, der über diesen Widerstand in die Schaltung hinein fließt. Man erhält

$$V_i = \frac{i_{AUS}}{i_{EIN}} = \frac{R_C}{R_C + R_L} \cdot \frac{\beta (R_1 \parallel R_2)}{r_{BE} + (1 + \beta) R_E + R_1 \parallel R_2}$$

Dieser Ausdruck wird von β unabhängig, wenn

$$(R_1 \parallel R_2) \ll R_E \cdot (\beta + 1), \text{ bzw. } \frac{1}{R_E \cdot (\beta + 1)} \ll \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

...eine Bedingung, die fast mit der für einen Verstärkungsunabhängigen Arbeitspunkt identisch ist.

Zusammenfassung:

Der Widerstand R_E sorgt durch Strom-Gegenkopplung für einen von der Temperatur unabhängigen Arbeitspunkt und für eine von β unabhängige Spannungsverstärkung. Den Preis für diese Vorteile machen deutlich reduzierte Strom- und Spannungsverstärkungen aus.

Der Widerstand R_2 ist nur zusammen mit R_E sinnvoll. Er sorgt dann für einen von β unabhängigen Arbeitspunkt und für eine von β unabhängige Stromverstärkung. Der Preis ist hier nicht nur eine reduzierte Stromverstärkung, sondern auch eine reduzierte Eingangsimpedanz.