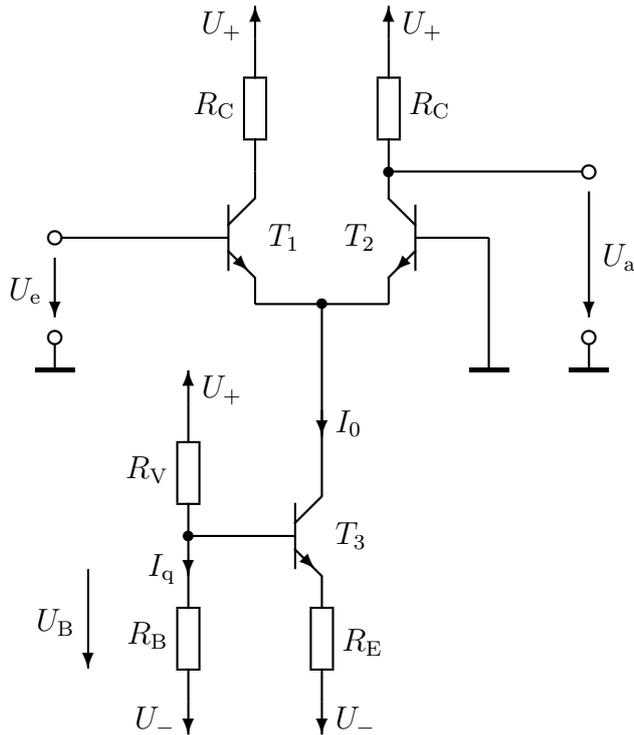


### BEISPIEL 3.1: Differenzverstärker - Grundfunktion

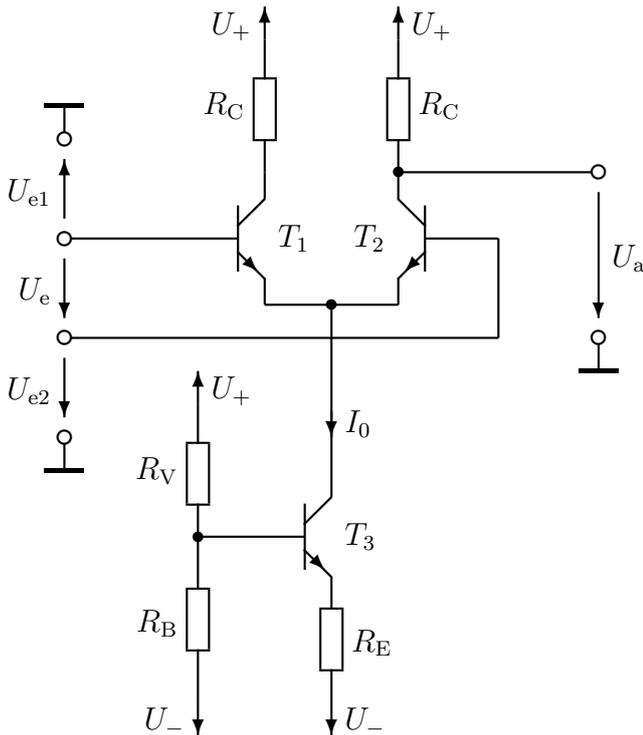


Versorgungsspannung:	$U_+ = 5 \text{ V}$ $U_- = -5 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Eingangs-Ruhe-spannung:	$U_{e0} = 0 \text{ V}$
Ausgangs-Ruhe-spannung:	$U_{a0} = 3 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I_0 = 6 \text{ mA}$
Spannung an $R_B$ :	$U_{B0} = 2 \text{ V}$
Querstrom:	$I_{q0} = I_0$

Der Differenzverstärker ist die wichtigste Schaltung der Analogtechnik. Er hat ähnliche Eigenschaften wie die Emitterschaltung ohne Gegenkopplung, hat aber einen stabilen Arbeitspunkt.

- Dimensionieren Sie die Widerstände der Schaltung so, dass sich die angegebenen Ruhe-spannungen und -ströme einstellen.
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ .

### BEISPIEL 3.2: Differenzverstärker - Nichtideale Eigenschaften



Versorgungsspannung:	$U_+ = 5 \text{ V}$ $U_- = -5 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$ ( $T = 290 \text{ K}$ )
Stromverstärkung:	$B = 100$
Early-Spannung:	$U_Y = 100 \text{ V}$
Temperaturkoeffizient	$\frac{dU_f}{dT} = -1,8 \text{ mV/K}$
Eingangs-Ruhespannung:	$U_{e0} = 0 \text{ V}$ $U_{e2,0} = 0 \text{ V}$
Ausgangs-Ruhespannung:	$U_{a0} = 3 \text{ V}$
Stromquellenstrom:	$I_0 = 6 \text{ mA}$
Spannung an $R_B$ :	$U_{B0} = 2 \text{ V}$
Querstrom:	$I_{q0} = I_0$

Arbeitspunkt und daher Widerstände wie in Beispiel 3.1.

Widerstände und Versorgungsspannung können temperaturunabhängig angenommen werden.

Ein weiterer Vorteil des Differenzverstärkers ist, dass die Eingangsspannung nicht auf Masse bezogen sein muss, oder anders gesagt, dass die Eingangsspannung die Differenz zweier auf Masse bezogenen Spannungen  $U_{e1}$  und  $U_{e2}$  sein. Im Idealfall wird nur die Spannungsdifferenz  $U_e = U_{e1} - U_{e2}$  verstärkt, nicht jedoch die Gleichtakt-Eingangsspannung  $U_{gl} = \frac{1}{2}(U_{e1} + U_{e2})$  bei konstanter Differenzspannung  $U_e = U_{e1} - U_{e2}$ .

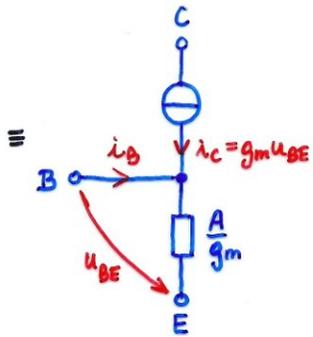
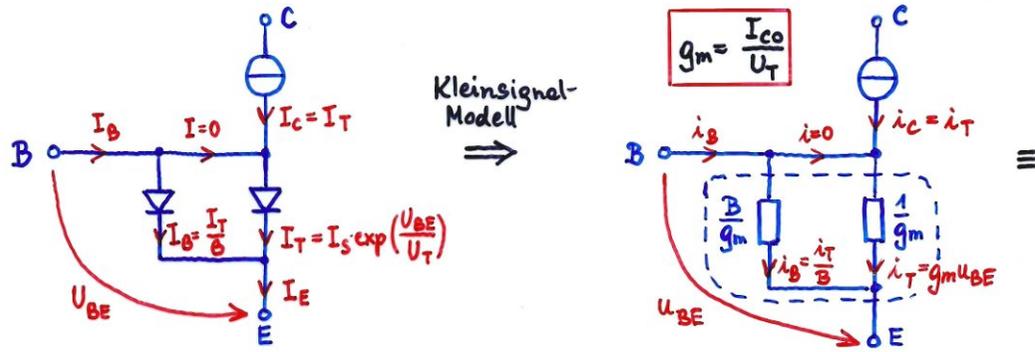
- (a) Berechnen Sie die Gleichtaktverstärkung  $v_{gl} = u_a/u_{gl}$  sowie mit Hilfe des Ergebnisses aus Beispiel 3.1 die Gleichtaktunterdrückung  $CMRR = |v_u/v_{gl}|$  (common mode rejection ratio).

*Hinweis:* Für die Berechnung der Gleichtaktverstärkung genügt es, den Fall  $u_e = 0$  zu betrachten. Man kann dann  $u_{gl} = u_{e1} = u_{e2}$  setzen.

- (b) Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung  $dU_{a0}/dT$ .

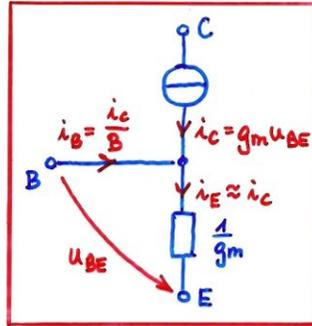
- (c) Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit der Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $dv_u/dT$ .

# BIPOLARTRANSISTOR-KLEINSIGNALMODELL



$$\frac{A}{g_m} = \frac{B}{g_m} \parallel \frac{1}{g_m} \Rightarrow \frac{1}{A} = 1 + \frac{1}{B}$$

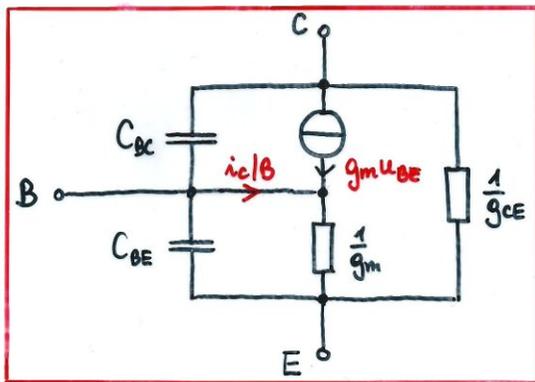
Da  $A \approx 1$ , ist es übersichtlicher, das Modell rechts zu verwenden, wobei man  $i_B = \frac{i_C}{B}$  gleich anschreibt und weiß, dass die



Knotenregel  $i_B + i_C = i_E$  nicht exakt erfüllt ist. Für praktisch alle Anwendungen ist dieser Fehler irrelevant ( $i_E \approx i_C$ ).

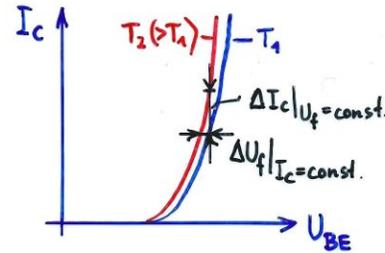
Funktion als spannungsgesteuerte Stromquelle:  $i_C = g_m u_{BE}$

Erweitertes Kleinsignalmodell des Transistors



# NICHTIDEALE TRANSISTOREIGENSCHAFTEN

1.) Temperaturabhängigkeit der Steuerkennlinie:



$$\left. \frac{dU_f}{dT} \right|_{I_C = \text{const}} \approx -2 \text{ mV/K}$$

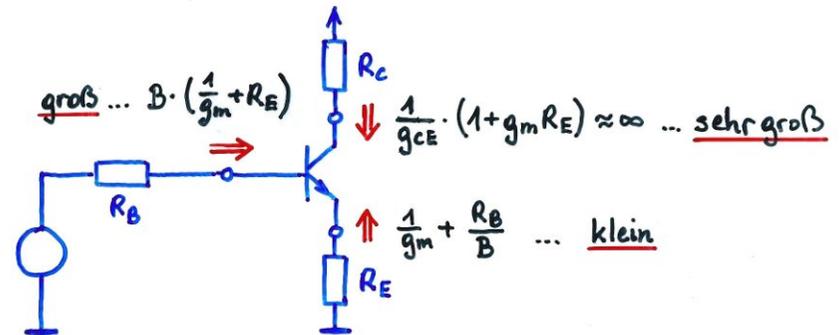
$$\left. \frac{1}{I_C} \frac{dI_C}{dT} \right|_{U_f = \text{const}} \approx +8\% / \text{K}$$

Wenn möglich, dimensioniere Schaltung so, dass  $U_f$  herausfällt.

2.) Einfluss des Basisstroms: Wenn linear, ersetze Schaltung "vor" der Basis durch Spannungsquelle mit Innenwiderstand und berechne den Spannungsabfall am Innenwiderstand.

3.) Early-Leitwert:  $g_{CE} = \left. \frac{dI_C}{dU_{CE}} \right|_{U_{BE} = \text{const}} = \frac{I_{C0}}{U_f}$   $U_f \dots$  Early-Spannung (z.B.: 100V)

Regel: Schaut man in den Kollektor eines Transistors hinein, so erscheinen alle Widerstände am Emittor (Bez.:  $R_E$ ) gemäß  $\frac{1}{g_{CE}} (1 + g_m R_E)$  transformiert.



4.) Transistorkapazitäten:  $C_{BE} \dots$  Diffusionskapazität } im aktiven Betrieb  
 $C_{BC} \dots$  Sperrschichtkapazität }