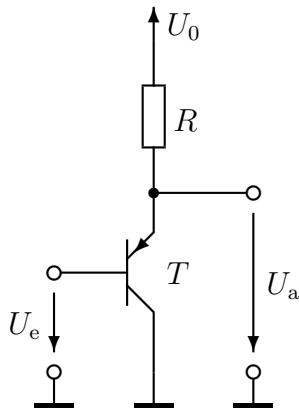


## BEISPIEL 4.1: Eine Grundsaltung mit pnp-Transistor

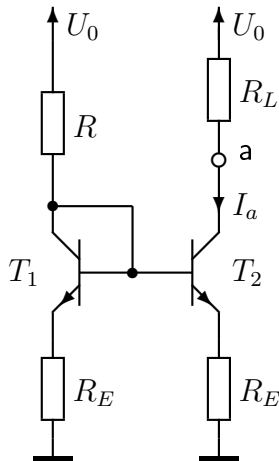


Versorgungsspannung:	$U_0 = 5 \text{ V}$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 0 \Omega$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Ausgangs-Ruhe-spannung:	$U_{a0} = 2,5 \text{ V}$
Widerstandswert:	$R = 1 \text{ k}\Omega$

Handelt es sich um eine Emitterschaltung oder einen Emitterfolger?

- Berechnen Sie die Eingangs-Ruhe-spannung  $U_{e0}$ .
- Bestimmen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ .

## BEISPIEL 4.2: Stromspiegel

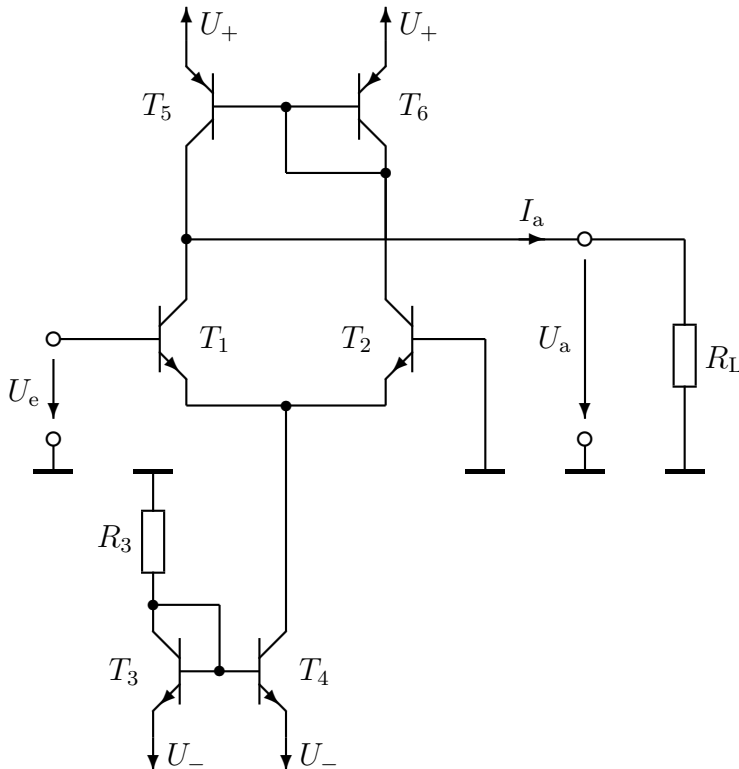


Versorgungsspannung:	$U_0 = 5 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
	$\frac{dU_f}{dT} = -1,8 \text{ mV/K}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Early-Spannung:	$U_Y = 100 \text{ V}$
Widerstandswerte:	$R = 1 \text{ k}\Omega$
	$R_L = 500 \text{ }\Omega$
	$R_E = 120 \text{ }\Omega$

Der Stromspiegel stellt eine Alternative zu der bisher verwendeten Stromquelle aus einem Transistor dar.

- Berechnen Sie unter Vernachlässigung des Early-Leitwerts den Stromquellenstrom  $I_a$ .
- Berechnen Sie den Temperaturkoeffizienten  $TK_{I_a} = \frac{1}{I_a} \frac{dI_a}{dT}$  des Stromquellenstroms.
- Wie groß ist der Ausgangswiderstand  $r_a$  der Stromquelle?
- Zeichnen Sie die analoge Schaltung des Stromspiegels mit pnp-Transistoren.

### BEISPIEL 4.3: Differenzverstärker mit Stromspiegel als Last

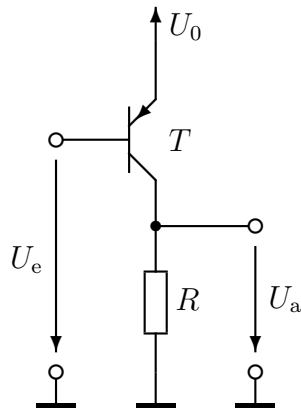


Versorgungsspannung:	$U_+ = 15 \text{ V}$ $U_- = -15 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Early-Spannung:	$U_Y = 100 \text{ V}$
Restspannung:	$U_{CEsat} =$ $U_{ECsat} = 0,1 \text{ V}$
Widerstandswerte:	$R_3 = 1 \text{ k}\Omega$ $R_L = 1 \text{ k}\Omega$

Mit Hilfe eines Stromspiegels als Last lässt sich ein Transkonduktanzverstärker realisieren, d.h. eine spannungsgesteuerte Stromquelle  $I_a(U_e)$ . In dieser Schaltung wird der Ausgangsstrom über den Lastwiderstand wieder in eine Spannung umgewandelt.

- Berechnen Sie die Übertragungsteilheit  $g_{md} = i_a/u_e$  des Differenzverstärkers unter Vernachlässigung der Early-Leitwerte der Transistoren.
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Wie groß darf die Amplitude  $\hat{u}_a$  eines sinusförmigen Ausgangssignals  $u_a(t) = \hat{u}_a \cdot \sin \omega t$  maximal sein, dass alle Transistoren im aktiven Bereich arbeiten?

## BEISPIEL 4.4: Eine Grundschtung mit pnp-Transistor

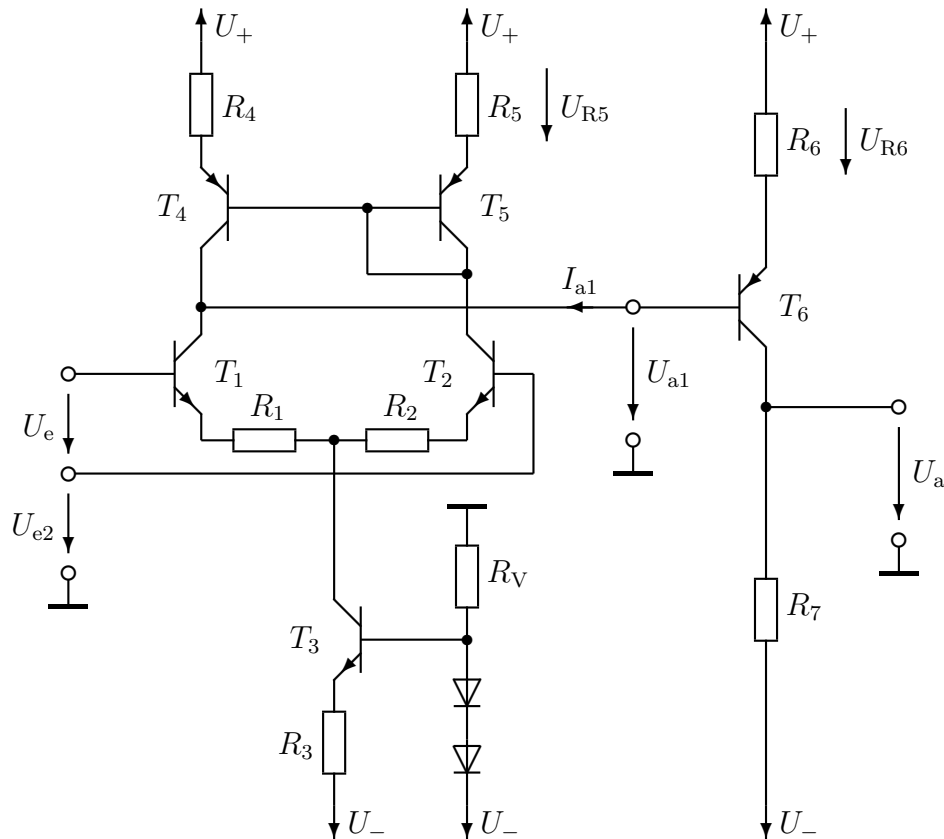


Versorgungsspannung:	$U_0 = 5 \text{ V}$
Generator-Innenwiderstand:	$R_G = 0 \text{ } \Omega$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Restspannung:	$U_{ECsat} = 0,1 \text{ V}$
Ausgangs-Ruhe-spannung:	$U_{a0} = 2,5 \text{ V}$
Widerstandswert:	$R = 1 \text{ k}\Omega$

Handelt es sich um eine Emitterschaltung oder einen Emitterfolger?

- Berechnen Sie die Eingangs-Ruhe-spannung  $U_{e0}$ .
- Bestimmen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ .
- Zeichnen Sie die Ausgangsspannung  $U_a(t)$  für ein sinusförmiges Eingangssignal  $u_e(t) = \hat{u}_e \cdot \sin \omega t$  mit  $\hat{u}_e = 30 \text{ mV}$

## BEISPIEL 4.5: Differenzverstärker mit 2. Verstärkerstufe

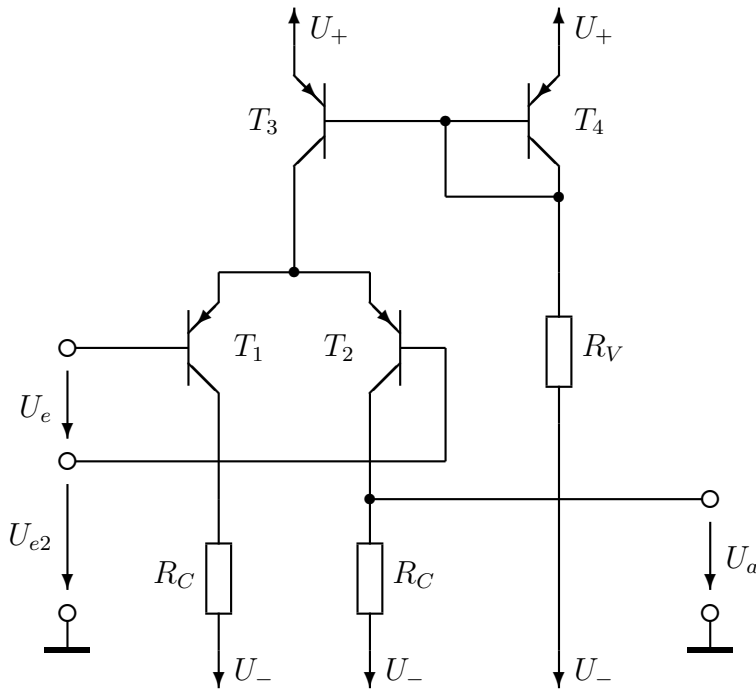


Versorgungsspannung:	$U_+ = 12 \text{ V}$	Ruhe-spannung an $R_5$ :	$U_{R5,0} = 0,5 \text{ V}$
	$U_- = -12 \text{ V}$	Ruhe-spannung an $R_6$ :	$U_{R6,0} = 1 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$	Ausgangs-Ruhe-spannung:	$U_{a0} = 0 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$	Kollektor-Ruhe-strom:	$I_{C6,0} = 10 \text{ mA}$
Stromverstärkung:	$B = 100$	Widerstandswerte:	$R_V = 10 \text{ k}\Omega$
Restspannung:	$U_{CEsat} =$		$R_3 = 300 \Omega$
	$U_{ECsat} = 0,1 \text{ V}$		$R_1 = R_2 = 100 \Omega$

Die Verstärkung des Differenzverstärkers lässt sich durch eine zweite, als Emitterschaltung wirkende Stufe erhöhen.

- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_4 = R_5$ ,  $R_6$  und  $R_7$  so, dass sich die angegebenen Ruhestrome und -spannungen einstellen.
- Berechnen Sie die Übertragungsteilheit  $g_{md} = i_{a1}/u_e$  des Differenzverstärkers ohne 2. Stufe.  
*Hinweis:* Obwohl die Eingangs-Ruhe-spannung nicht exakt null ist (siehe (c)), kann hier mit  $I_{C1} \approx I_{C2}$  gerechnet werden.
- Berechnen Sie die Offsetspannung  $U_{offset}$ , d.i. jene Eingangsspannung, die man anlegen muss, damit die Ausgangsspannung bei der Dimensionierung nach (a)  $U_{a0} = 0$  ist.  
*Hinweis:* Schreiben Sie mit Hilfe des Ergebnisses aus (b) einen linearen Zusammenhang zwischen  $I_{a1}$  und  $U_e$  an und setzen Sie  $I_{a1}$  gleich dem von Transistor  $T_6$  benötigten Basisstrom.
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Bestimmen Sie für  $U_e = U_{offset}$ ,  $U_a = 0$  die minimale und die maximale Gleichtakt-Eingangsspannung,  $(U_{e2})_{min}$  und  $(U_{e2})_{max}$ , sodass alle Transistoren im aktiven Bereich arbeiten.

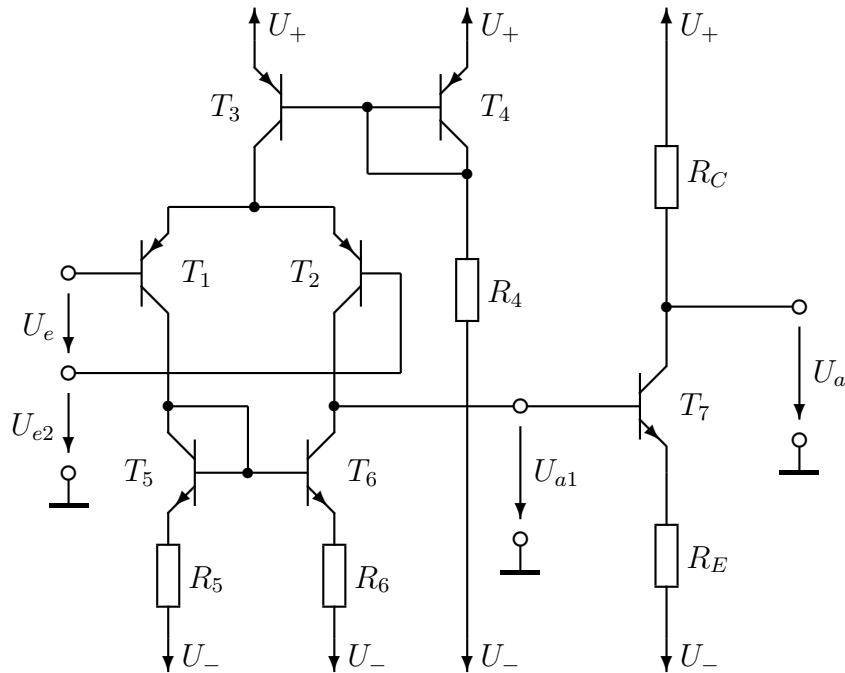
## BEISPIEL 4.6: Differenzverstärker mit pnp-Transistoren



Versorgungsspannung:	$U_+ = 5 \text{ V}$ $U_- = -5 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$ $\frac{dU_f}{dT} = -1,8 \text{ mV/K}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Restspannung:	$U_{ECsat} = 0,1 \text{ V}$
Widerstandswerte:	$R_V = 2 \text{ k}\Omega$ $R_C = 500 \text{ }\Omega$

- Berechnen Sie die Ausgangs-Ruhe­spannung  $U_{a0}$ .
- Bestimmen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ .
- Bestimmen Sie für  $U_e = 0$  die minimale und die maximale Gleichtakt-Eingangsspannung,  $U_{e2min}$  und  $U_{e2max}$ , sodass alle Transistoren im aktiven Bereich arbeiten.
- Bestimmen Sie die Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung  $dU_{a0}/dT$ .

## BEISPIEL 4.7: Zweistufiger pnp-Differenzverstärker



Versorgungsspannung:  $U_+ = 12 \text{ V}$   
 $U_- = -12 \text{ V}$

Flussspannung:  $U_f = 0,6 \text{ V}$   
 Temperaturspannung:  $U_T = 25 \text{ mV}$

Stromverstärkung:  $B_1 = B_2 = 100$   
 $B_3 = B_4 = 100$   
 $B_5 = B_6 = B_7 = 500$

Ausgangs-Ruhe-spannung:  $U_{a1,0} = -8,69 \text{ V}$   
 $U_{a0} = 0 \text{ V}$

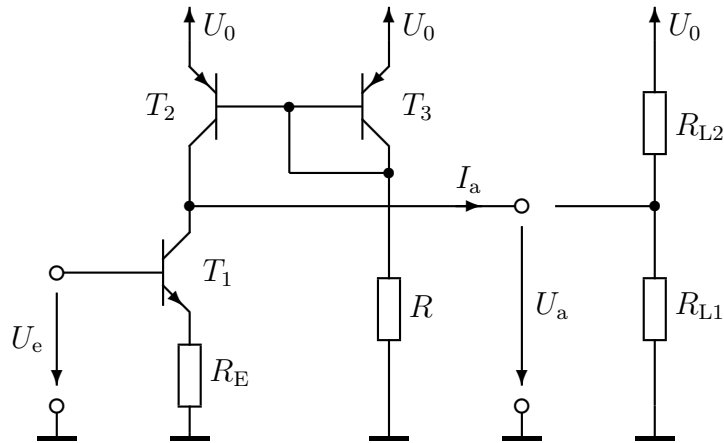
Kollektor-Ruheströme:  $I_{C1,0} \approx I_{C2,0} = 100 \mu\text{A}$   
 $I_{C7,0} = 1 \text{ mA}$

Widerstandswerte:  $R_5 = R_6 = 470 \Omega$

Die Schaltung erfordert eine kleine Eingangs-Ruhe-spannung  $U_{e0}$ , die jedoch bei den folgenden Aufgaben vernachlässigt werden kann.

- Dimensionieren Sie  $R_4$ ,  $R_E$  und  $R_C$  so, dass sich die angegebenen Kollektor-Ruheströme einstellen.
- Bestimmen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$ .
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ .

## BEISPIEL 4.8: Verstärker mit Stromspiegel als Last

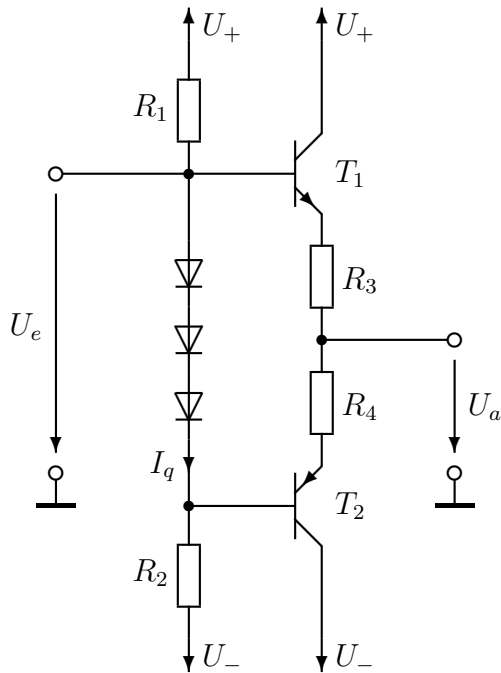


Versorgungsspannung:	$U_0 = 5 \text{ V}$	Eingangs-Ruhespannung:	$U_{e0} = 1 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$	Ausgangs-Ruhespannung:	$U_{a0} = 2,5 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$	Kollektor-Ruhestrom:	$I_{C1,0} = 2 \text{ mA}$
Stromverstärkung:	$B = 100$	Widerstandswerte:	$R_{L1} = R_{L2} = 10 \text{ k}\Omega$
Early-Spannung:	$U_Y = 100 \text{ V}$		

- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_E$  und  $R$  so, dass sich die angegebenen Ruhestrome und -spannungen einstellen.
- Berechnen Sie die Übertragungsteilheit  $g = i_a/u_e$  des Verstärkers unter Vernachlässigung der Early-Leitwerte der Transistoren.
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$  unter Berücksichtigung der Lastwiderstände  $R_{L1}$  und  $R_{L2}$ . Vernachlässigen Sie weiterhin die Early-Leitwerte.
- Berechnen Sie die Leerlauf-Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$  (d.h. ohne Lastwiderstände  $R_{L1}$  und  $R_{L2}$ ) unter Berücksichtigung des Early-Leitwerts von Transistor  $T_2$ .
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$  unter Berücksichtigung sowohl der Lastwiderstände  $R_{L1}$  und  $R_{L2}$  als auch des Early-Leitwerts von Transistor  $T_2$ .



## BEISPIEL 4.9: Komplementärer Emitterfolger



Versorgungsspannung:	$U_+ = 5 \text{ V}$
	$U_- = -5 \text{ V}$
Flussspannung:	$U_f = 0,6 \text{ V}$
Temperaturspannung:	$U_T = 25 \text{ mV}$
Stromverstärkung:	$B = 100$
Kollektor-Ruheströme:	$I_{C1,0} = I_{C2,0} = 10 \text{ mA}$
Querstrom:	$I_{q0} = 1 \text{ mA}$
Ausgangs-Ruhespannung:	$U_{a0} = 0 \text{ V}$

Die differentiellen Widerstände der Dioden können vernachlässigt werden.

Der komplementäre Emitterfolger erlaubt es, positive und negative Ausgangsspannungen mit gleichermaßen niedrigem Ausgangswiderstand zu erzeugen. Die Dioden bewirken eine Vorspannung der Transistoren, d.h. die Transistoren leiten immer und haben einen niedrigen Ausgangswiderstand am Emitter.

- Dimensionieren Sie die Widerstände  $R_1$ ,  $R_2$  und  $R_3 = R_4$  so, dass sich die angegebenen Ruheströme und -spannungen einstellen.
- Bestimmen Sie die Eingangs-Ruhespannung  $U_{e0}$ .
- Berechnen Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung  $v_u = u_a/u_e$ .
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand  $r_e$  bei unbelastetem Ausgang.
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand  $r_a$ , wenn der Eingang mit einer idealen Spannungsquelle angesteuert wird.