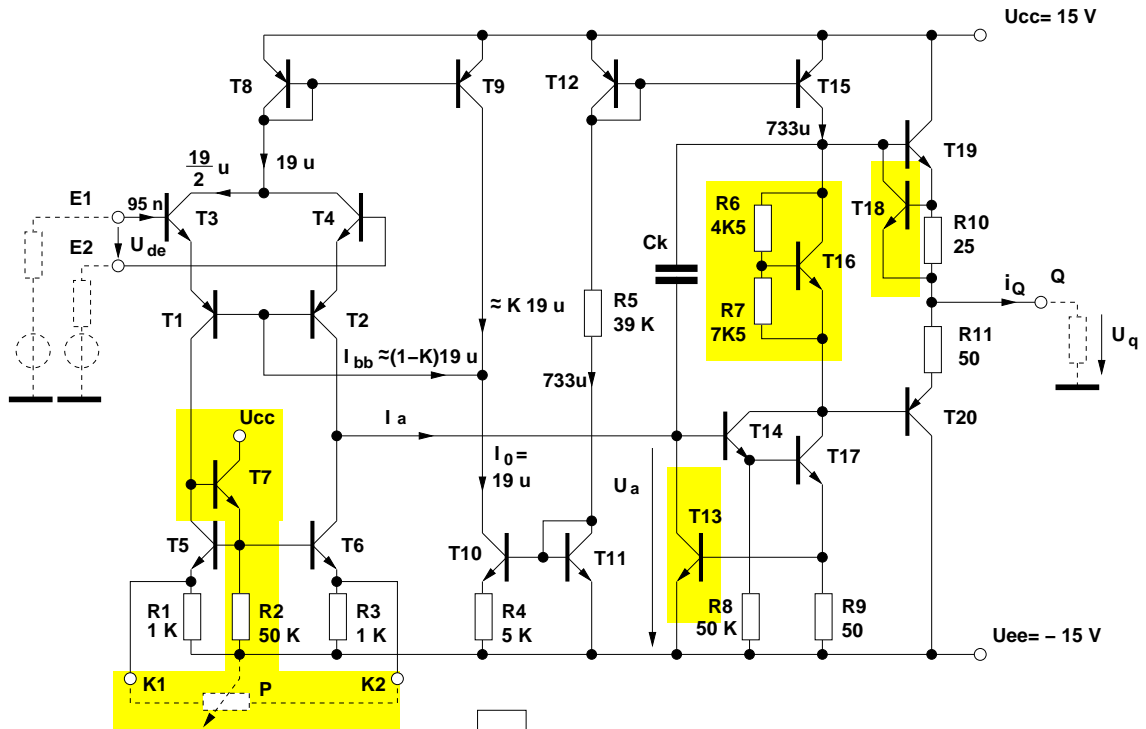
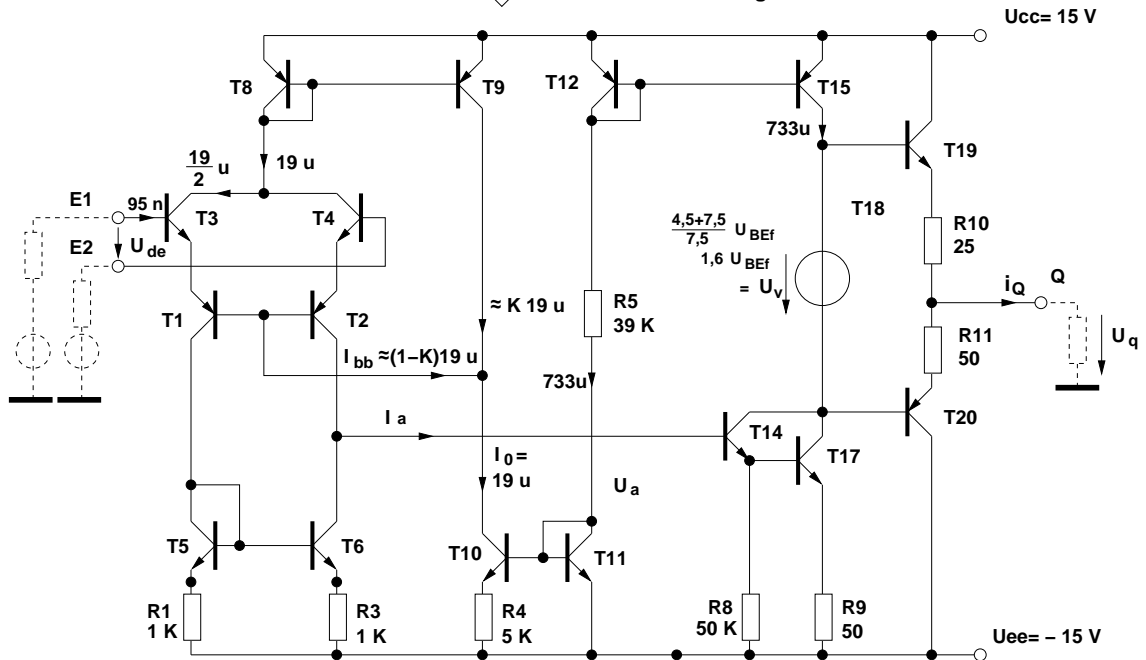


(1) Schaltungsanalyse des Operationsverstärkers uA 741

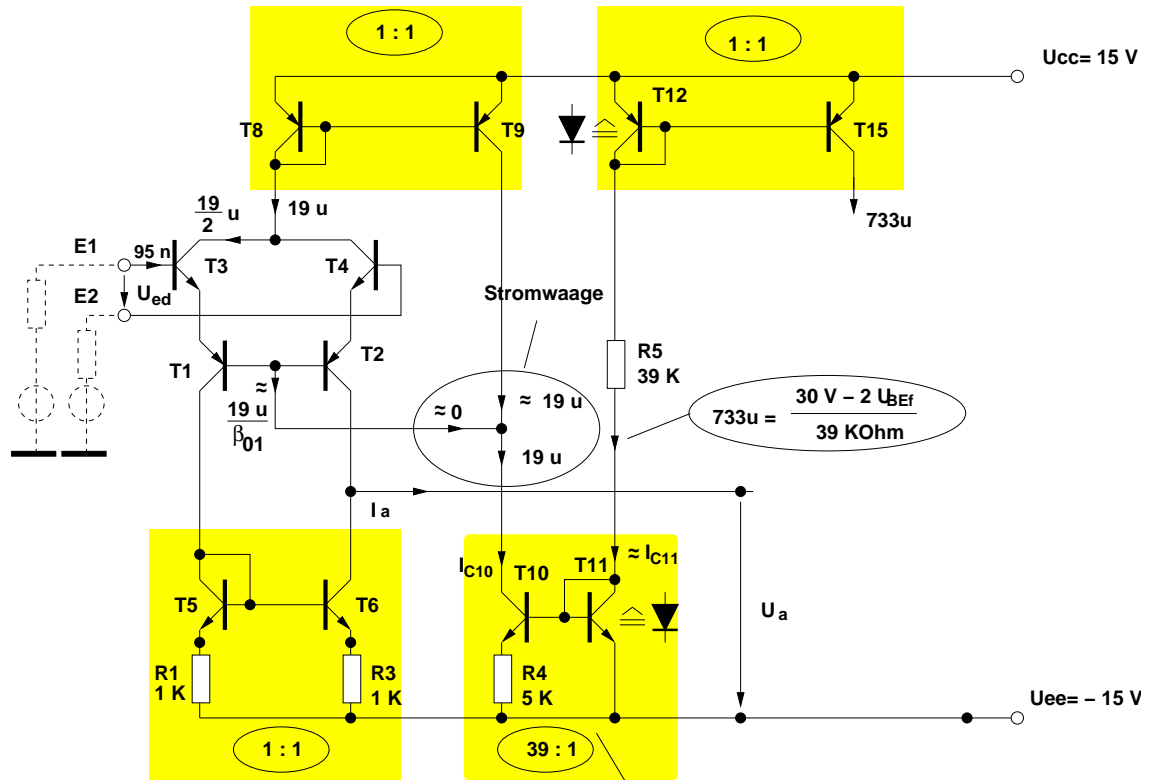


Vereinfachungen

Kompensations- und Schutzschaltungen entfernen



(2) OP 741 Schaltungsanalyse: Arbeitspunktströme



**Widlar-Stromspiegel**

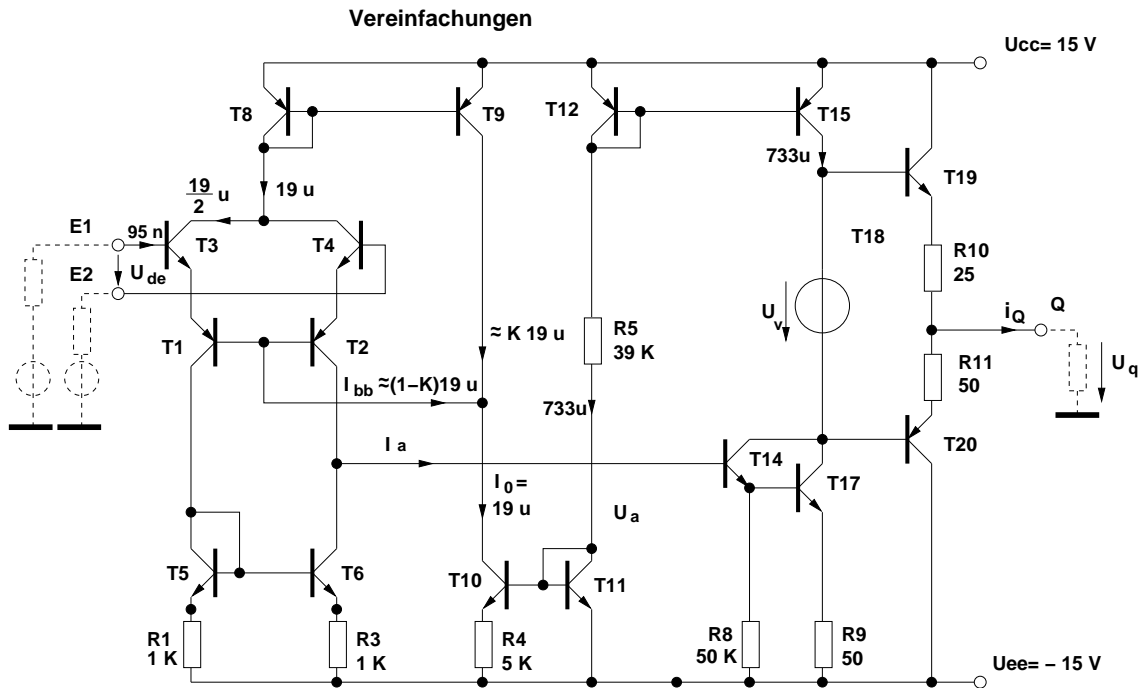
Skript: 
$$\frac{I_{C10}}{I_{C11}} = \frac{I_{S10}}{I_{S11}} \underbrace{V_{A10}}_{\approx 1} \exp\left(\frac{-R_4 I_{C10}}{U_T}\right)$$

Iterative Lösung:

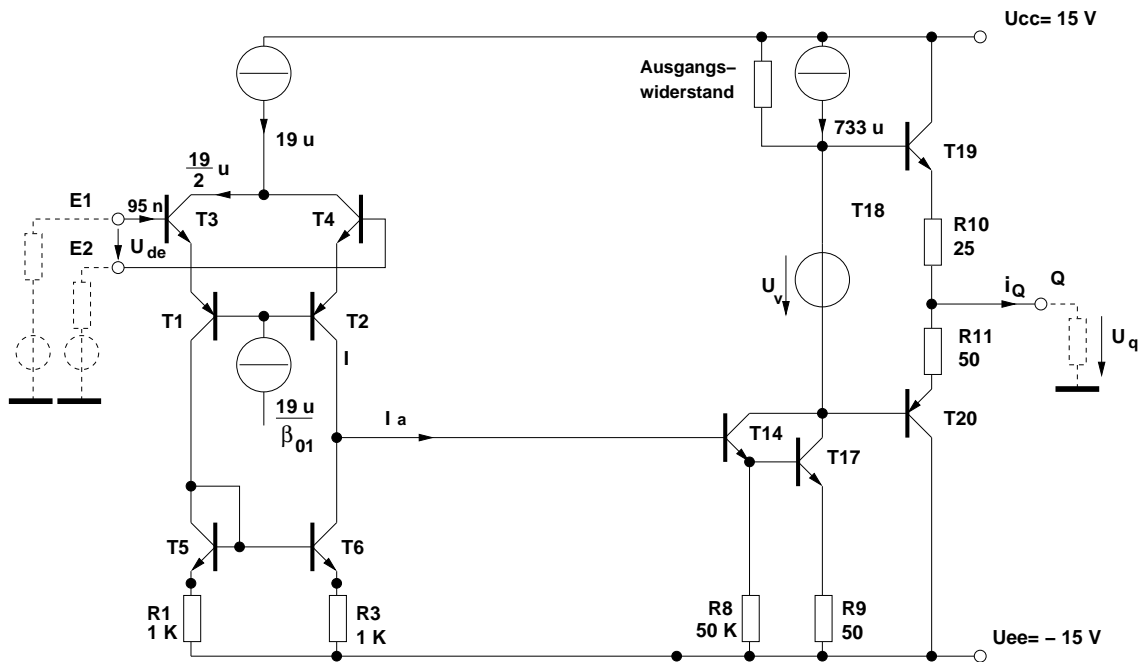
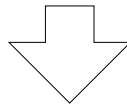
$$I_{C10} = 733 \mu A \exp\left(\frac{-5 K \Omega I_{C10}}{26 mV}\right)$$

$\rightarrow I_{C10} = 19 \mu A$

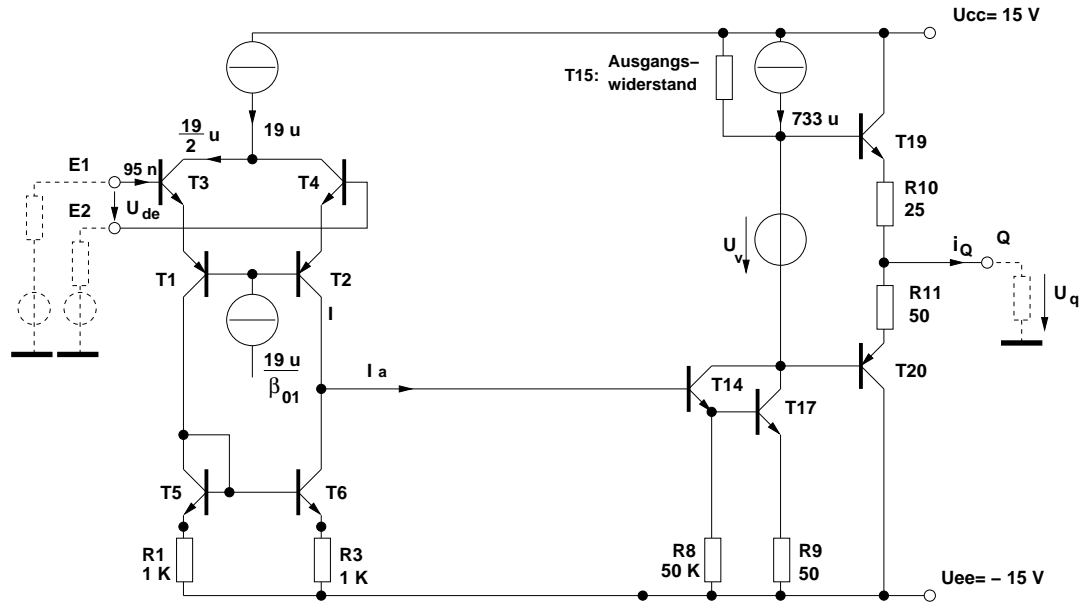
### (3) Vereinfachte Schaltung des Operationsverstärkers uA 741



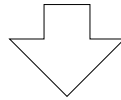
**Vereinfachte  
Stromspiegel**



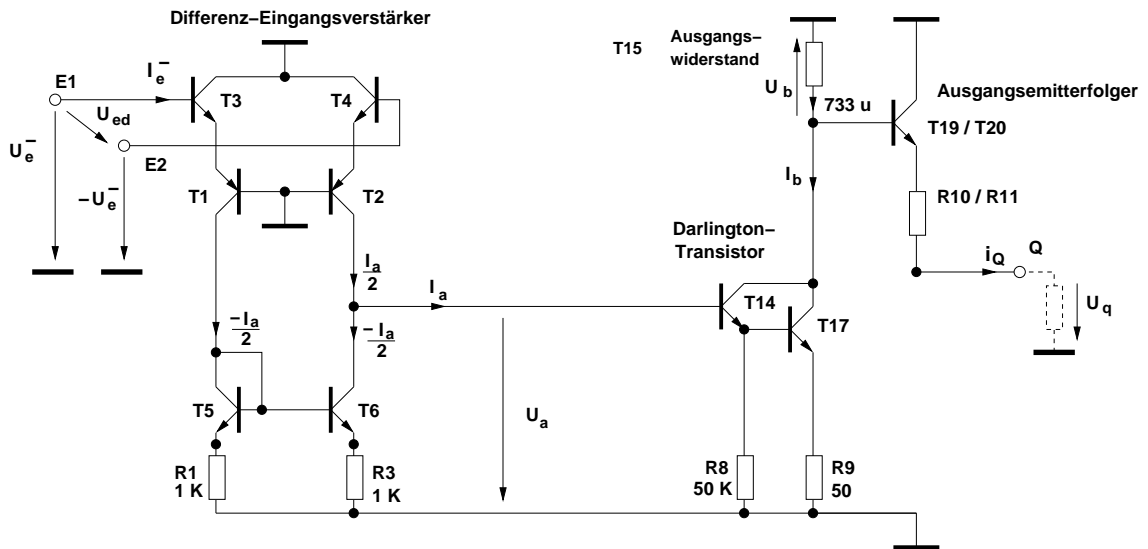
(4) OP 741 Schaltungsanalyse: Wechselstromersatzschaltung



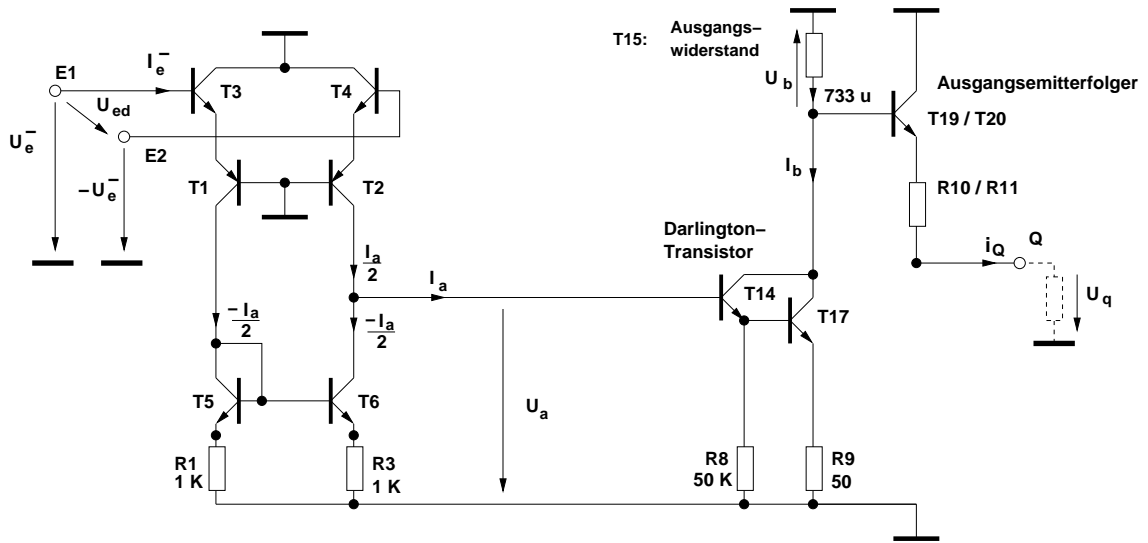
Gegentakt-Betrachtung



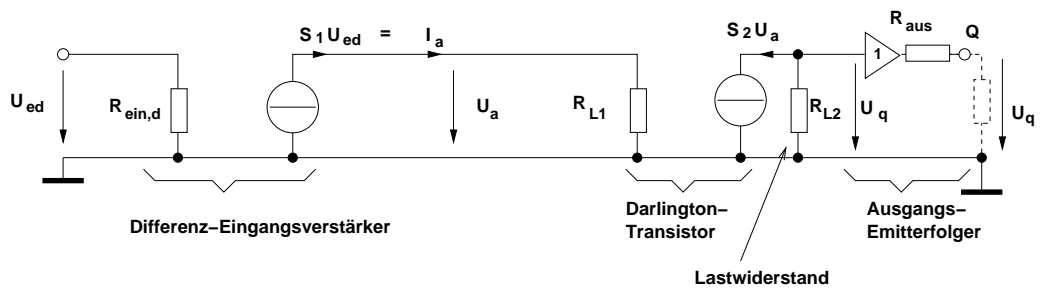
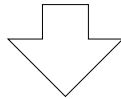
Wechselstrom Ersatzschaltung



(5) OP 741 Schaltungsanalyse: Ermittlung der Kleinsignalparameter

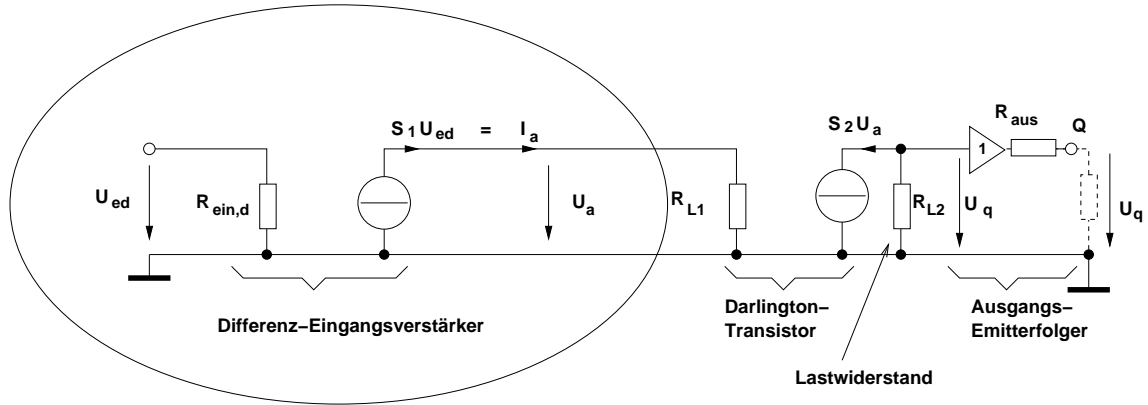


Kleinsignal-Ersatzschaltung



(6) OP 741 Schaltungsanalyse:

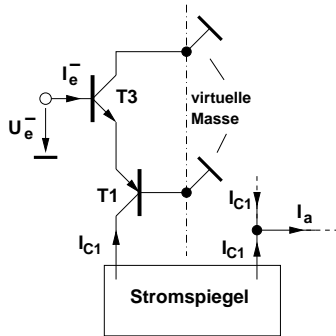
Kleinsignalparameter des Differenz-Eingangsverstärkers



Einphasiges  
Kleinsignal-ESB für  
Gegentaktbetrieb

Aus Arbeitspunkt-Analyse: Kollektorstrome = 19/2 uA

Kleinsignal:  $\frac{1}{g_{m3}} = \frac{1}{g_{m1}} = r_{e1} = \frac{26 \text{ mV}}{19/2 \text{ u}} = 2.7 \text{ K}$



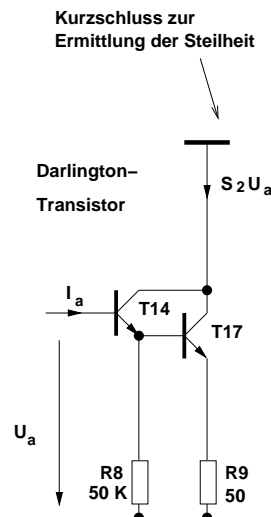
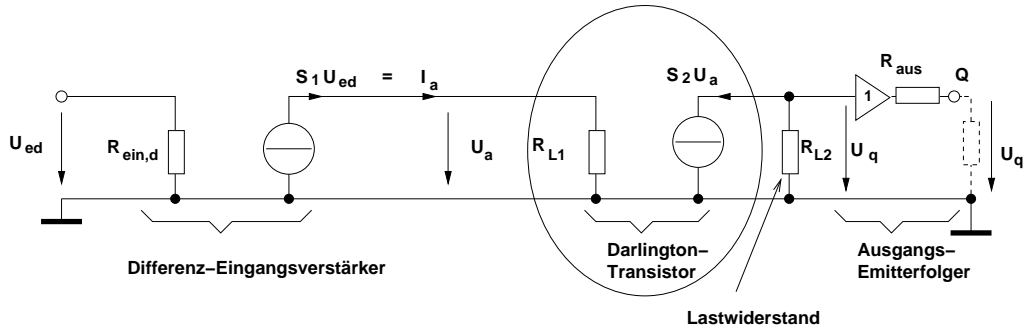
Eingangswiderstand  $R_{\text{ein}}^- = \frac{U_e^-}{I_e^-} = \beta_{03} (2.7 \text{ K} + 2.7 \text{ K}) = 100 (5.4 \text{ K}) = 540 \text{ KOhm}$

Steilheit  $S_1$   $I_{C1} \approx \frac{-U_e^-}{\frac{1}{g_{m1}} + \frac{1}{g_{m3}}} = \frac{-U_e^-}{2 r_{e1}}$   
 $\rightarrow S_1 = \frac{I_{C1}}{U_e^-} = \frac{-1}{2 r_{e1}} = \frac{-1}{2 \cdot 2.7 \text{ K}} = -183 \text{ uS}$

Stromspiegel:  $I_a = 2 I_{C1}$

Wegen  $U_{ed} = 2 U_e^- \rightarrow \frac{I_a}{U_{ed}} = \frac{2 I_{C1}}{2 U_e^-} = S_1 = -183 \text{ uS}$

**(7) OP 741 Schaltungsanalyse:**  
**Kleinsignalparameter der Darlington-Stufe**



Aus Arbeitspunkt-Analyse: Kollektorstrom T14 & T17 = 733  $\mu$ A

Darlington Transistor:  $I_{C14} + I_{C17} \approx I_{C17}$  weil  $\frac{I_{C17}}{I_{C14}} \approx \beta_{017}$

Kleinsignal:  $\frac{1}{g_{m17}} = r_{e17} = \frac{26 \text{ mV}}{733 \text{ } \mu} = 37 \text{ Ohm}$

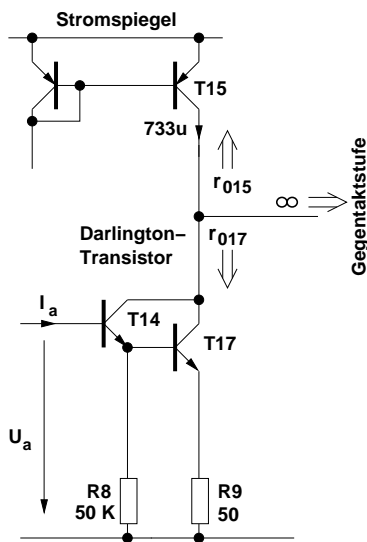
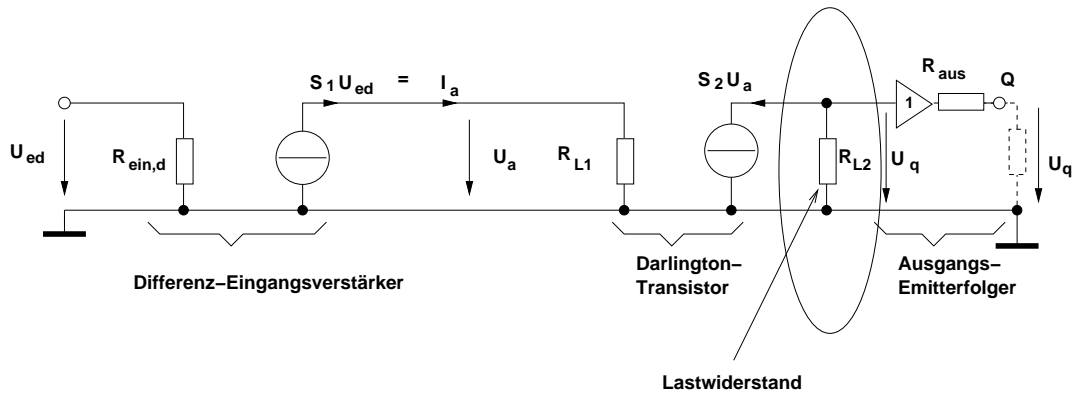
T17 Eingangswiderstand  $R_{ein17} = \beta_{017} (r_{e17} + R_9) = 200 (37 + 50) \text{ Ohm} = 17.4 \text{ KOhm}$

T14 Eingangswiderstand  $R_{L1} = R_{ein14} = \frac{U_a}{I_a} = \beta_{014} (R_{ein17} \parallel R_8) = 100 \cdot 13 \text{ KOhm} = 1.3 \text{ MOhm}$

Darlington Steilheit  $S_2$   $I_{C17} \approx \frac{U_a}{r_{e17} + R_9} \rightarrow S_2 = \frac{I_{C17}}{U_a} = \frac{1}{r_{e17} + R_9} = \frac{1}{87 \text{ Ohm}} \approx 12 \text{ mS}$

**(8) OP 741 Schaltungsanalyse:**

**Bestimmung des Lastwiderstandes der Darlington-Stufe**



Eingangswiderstand der Gegentaktstufe sehr groß bei kleinen Aussteuerungen

Aus Arbeitspunkt-Analyse:  $U_{CE15} = U_{CE17} \approx \frac{U_B - U_V}{2} = \frac{30 \text{ V} - 1.12 \text{ V}}{2} \approx 14.4 \text{ V}$

T15 Ausgangswiderstand  $r_{017}^{-1} = \frac{d I_{C0}}{d U_{CE0}} = -\frac{d}{d U_{CE0}} I_s \left( 1 + \frac{U_{CE0}}{U_A} \right) \exp\left(\frac{U_{BE}}{U_T}\right)$   
 $= \frac{I_{C0}}{U_A + U_{CE0}}$

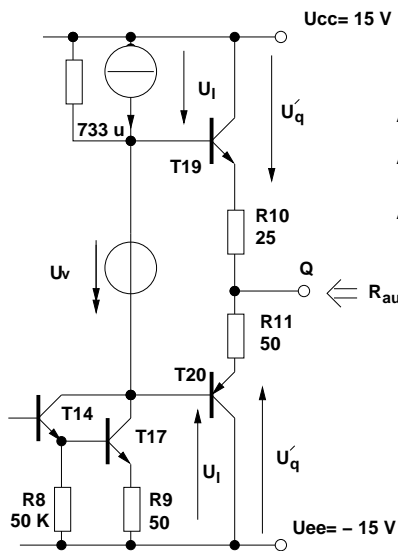
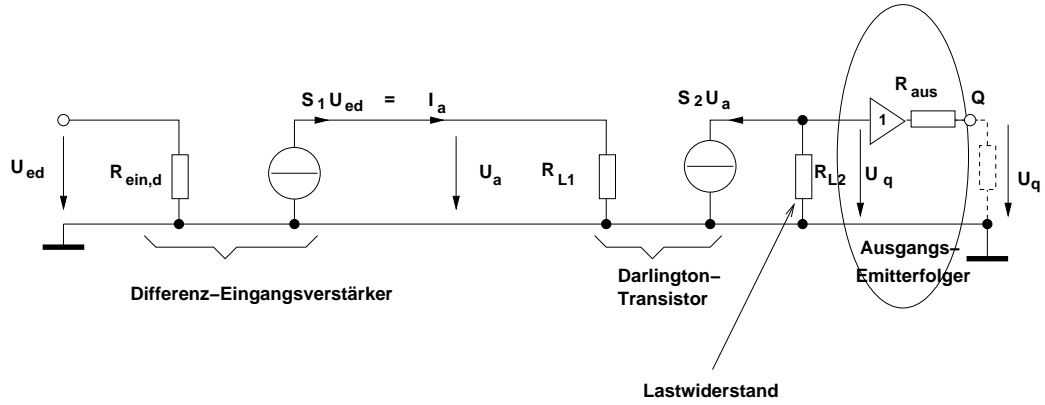
mit  $U_A = 70 \text{ V} \rightarrow r_{017} = r_{015} = \frac{70 \text{ V} + 14.4 \text{ V}}{733 \text{ uA}} = 115 \text{ KOhm}$

$R_{L2} = r_{017} \parallel r_{015} \approx 58 \text{ KOhm}$



(9) OP 741 Schaltungsanalyse:

Kleinsignalersatzschaltbild der Ausgangsstufe



Aus Arbeitspunkt-Analyse:  $U_V = 1.6 U_{BEf} \rightarrow U_{BE19} = U_{BE20} = 0.8 U_{BEf}$   
 Aus Kennlinienfeld oder Herstellerangabe:  $I_{C019} = I_{C020} \approx 60 \mu\text{A}$  bei  $0.8 U_{BEf}$

Annahme: Basiströme T19/20 im Gegentakt  $\rightarrow$  Basen liegen auf virtueller Masse

$$\rightarrow R_{aus} \approx (r_{e19} + R10) \parallel (r_{e20} + R11) = (433 + 25) \parallel (433 + 50) = 235 \text{ Ohm}$$

Spannungsverstärkung

$$\frac{U_q}{U_i} \approx 1 \quad (\text{da Emitterfolger})$$