

**Aufgabe 2** Nichtlineares Zweitor (16 Punkte)Gegeben sei die Hybridbeschreibung eines nichtlinearen Zweitors  $\mathcal{H}$ :

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ i_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_T \ln \left( \frac{i_1}{I_s} + 1 \right) \\ \beta_0 i_1 \ln \left( \frac{i_1}{I_s} + 1 \right) \end{bmatrix}.$$

a)\* Ist das Zweitor quellenfrei? Begründen Sie Ihre Antwort.



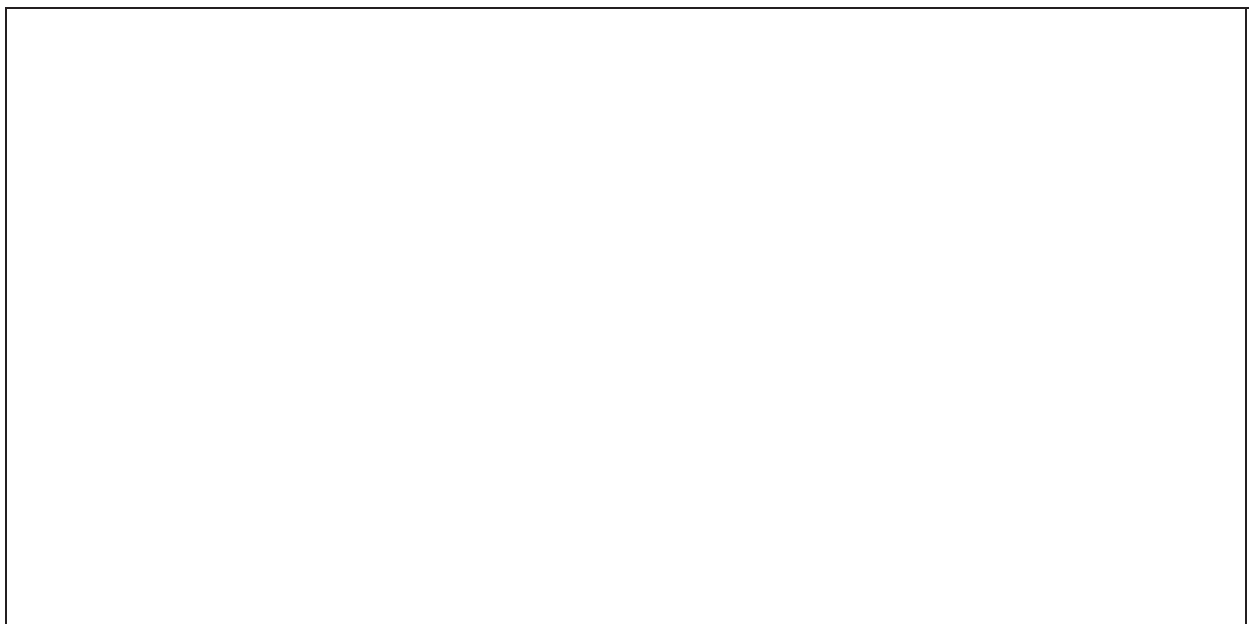
b)\* Geben Sie die Leitwertsbeschreibung des Zweitors an.



- c)\* Geben Sie die um den Arbeitspunkt  $(U_{AP}, I_{AP})$  linearisierte Hybridbeschreibung des Zweitors an.



- d) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild des Zweitors  $\mathcal{H}$  im gegebenen Arbeitspunkt. Achten Sie auf eine korrekte Beschriftung!



**Aufgabe 4** Schaltung zur Spannungsstabilisierung (31 Punkte)



Gegeben sei die Schaltung in Bild 4 zur Spannungsstabilisierung. Die Aufgabe der Schaltung besteht darin, die Schwankungen  $\Delta u_e$  der Eingangsspannung  $u_e = U_e + \Delta u_e$  in der Ausgangsspannung  $u_a = U_a + \Delta u_a$  zu unterdrücken, d. h. deren Spannungsschwankungen  $\Delta u_a$  so klein wie möglich zu halten.

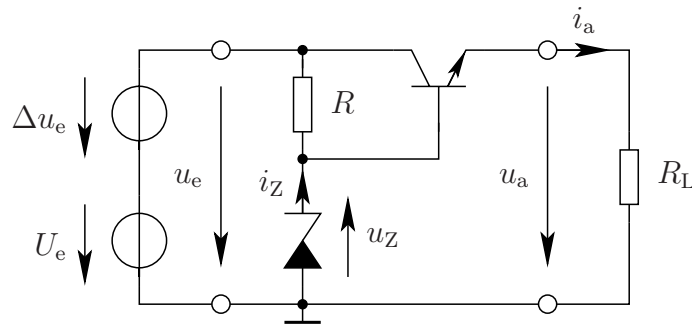


Bild 4: Schaltung zur Spannungsstabilisierung

Zunächst soll eine Großsignal-Analyse der Schaltung vorgenommen werden. Bild 5 zeigt das Großsignal-Ersatzschaltbild (ESB) des Transistors.

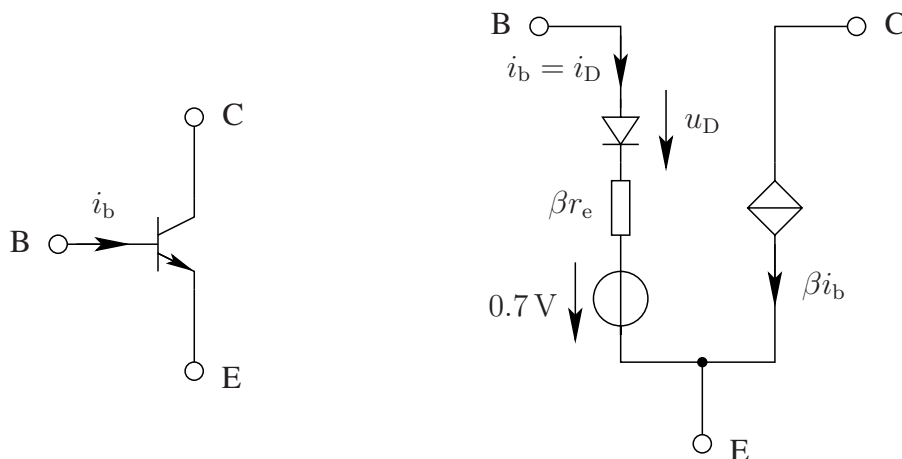


Bild 5: Großsignal-ESB des Transistors

a)\* Zeichnen Sie das Großsignal-ESB der Schaltung aus Bild 4 unter Verwendung des Großsignal-Transistor-ESBes in Bild 5. Ersetzen Sie die Zenerdiode durch eine ideale Spannungsquelle mit dem Wert  $U_Z$ .



**Hinweis:** Die Spannungsschwankungen werden bei einer Großsignal-Analyse zu Null gesetzt, d. h.  $\Delta u_e = \Delta u_a = 0$ ,  $u_a = U_a$ ,  $i_a = I_a$  und  $u_Z = U_Z$ .

b)\* Welche Beziehung erzwingt der Widerstand  $R_L$  zwischen  $U_a$  und  $I_a$ ?

c) Berechnen Sie  $I_a$  in Abhängigkeit von  $\beta$  und  $I_b$ .

d) Ermitteln Sie aus den Ergebnissen von Teilaufgabe b) und c) einen Ausdruck für  $I_b$  in Abhängigkeit von  $U_a$ ,  $\beta$  und  $R_L$ .

e) Berechnen Sie mittels einer geeigneten Maschengleichung und dem Ergebnis aus Teilaufgabe d) die Ausgangsspannung  $U_a$  in Abhängigkeit von  $U_Z$ ,  $\beta$ ,  $R_L$  und  $r_e$ .

**Hinweis:** Die Diode wird im Durchlaßbereich betrieben, d. h.  $U_D = 0$ .

f) Welcher Ausdruck ergibt sich für  $U_a$  falls  $r_e \rightarrow 0$ ?

Die Kennlinie der Zenerdiode ist im Bild 6 gegeben.

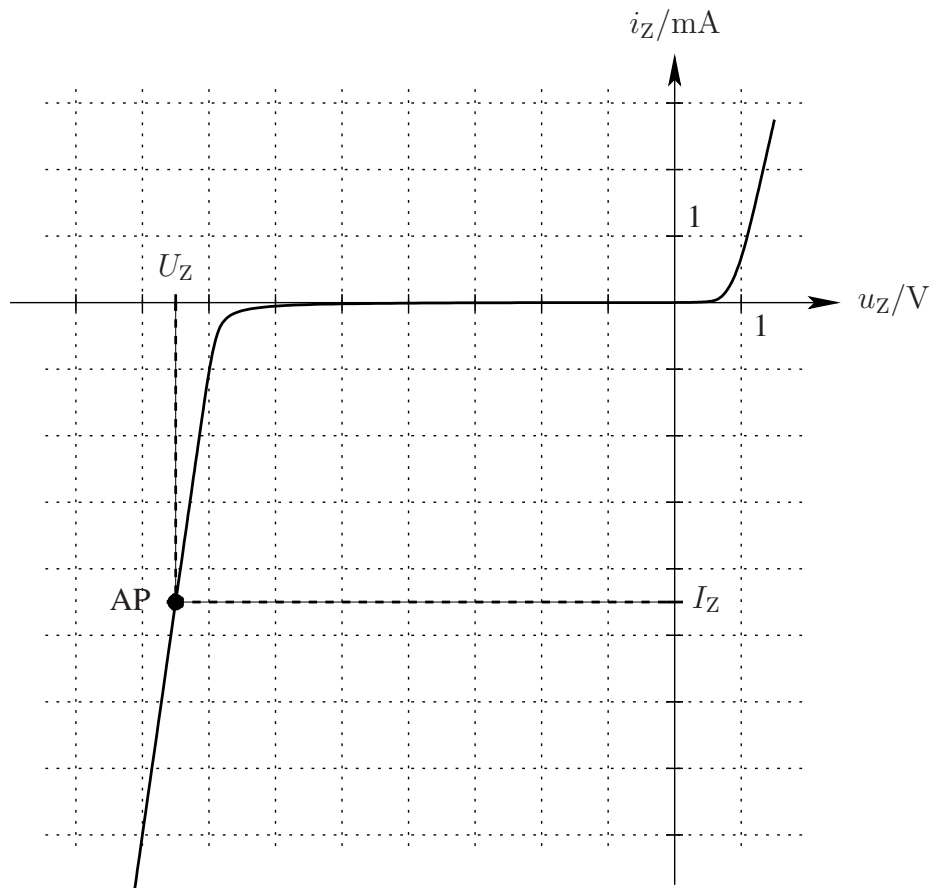


Bild 6: Kennlinie der Zenerdiode

g)\* Nennen Sie drei Eigenschaften der Zenerdiode als resistives Eintonor!

Nun soll die Großsignal-Ersatzschaltung der Zenerdiode verbessert werden, indem sie durch eine Spannungsquelle mit Innenwiderstand ersetzt wird, die die Kennlinie der Zenerdiode im Arbeitspunkt  $AP(U_Z, I_Z)$  (siehe Bild 6) bestmöglich approximiert.

h)\* Zeichnen Sie die Kennlinie der Großsignal-Ersatzschaltung für die Zenerdiode in Bild 6 ein und bestimmen Sie graphisch die Werte der Elemente des ESBes, d. h. den Innenwiderstand  $r_Z$  und die Leerlaufspannung  $U_{Z,0}$ .



Nun folgt eine Kleinsignal-Analyse. Bild 7 zeigt das Kleinsignal-ESB des Transistors.

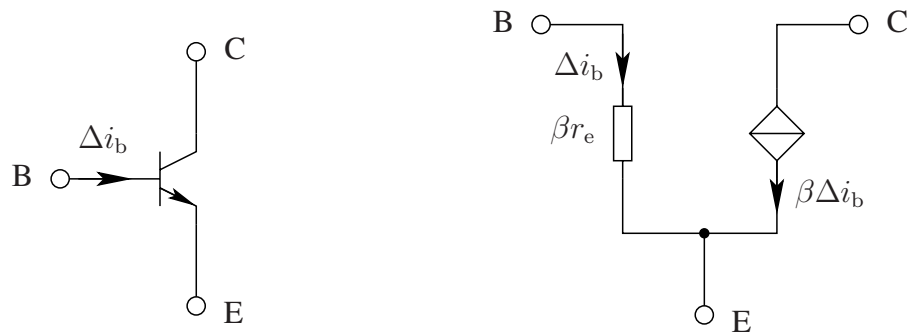
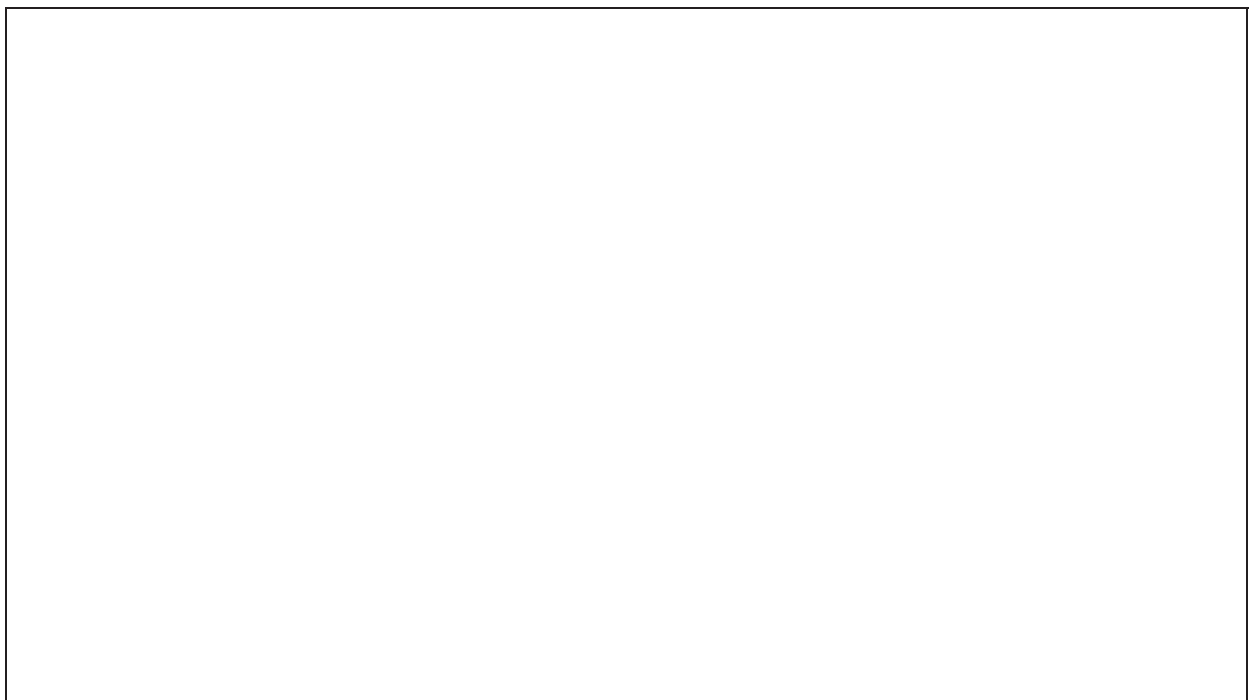


Bild 7: Kleinsignal-ESB des Transistors

- i)\* Wie sieht das lineare Kleinsignal-ESB der Zenerdiode aus?



- j) Zeichnen Sie schließlich das Kleinsignal-ESB der Gesamtschaltung aus Bild 4 unter Verwendung von Bild 7 und Teilaufgabe i).



Im folgenden soll die Abhängigkeit der Kleinsignal-Ausgangsspannung  $\Delta u_a$  von der Kleinsignal-Eingangsspannung  $\Delta u_e$  untersucht werden.

k) Bestimmen Sie zunächst  $\Delta u_a$  in Abhängigkeit von  $\Delta u_z$ ,  $\beta$ ,  $R_L$  und  $r_e$ .

**Hinweis:** Der Lösungsweg muß erkennbar sein!

l) Berechnen Sie nun  $\Delta u_z$  in Abhängigkeit von  $\Delta u_e$ ,  $R$  und  $r_z$  für die Näherung  $\Delta i_b \approx 0$  und geben Sie schließlich  $\Delta u_a$  in Abhängigkeit von  $\Delta u_e$ ,  $R$ ,  $r_z$ ,  $\beta$ ,  $R_L$  und  $r_e$  an. Verwenden Sie dazu das Ergebnis aus Teilaufgabe k).

m) Welche Beziehung ergibt sich zwischen  $\Delta u_a$  und  $\Delta u_e$  für  $r_z \rightarrow 0$ ? Was bedeutet dies für die Funktionsweise der Schaltung?

**Aufgabe 1** Resistives Zweitor (29 Punkte)

Gegeben sei das folgende resistive Netzwerk in Bild 1, das aus der Verschaltung der Widerstände  $R_1, R_2, R_3$  zu einem Zweitor bestehe. Es gelte:  $R_1, R_2, R_3 > 0$ .

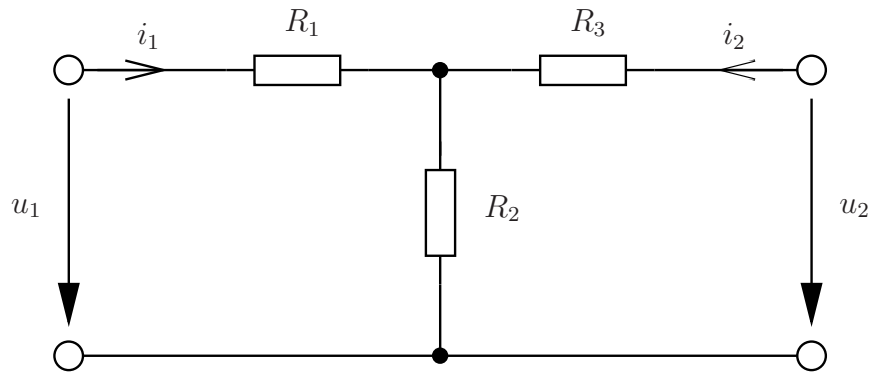


Bild 1: T-Glied

 a)\* Geben Sie die Widerstandsmatrix  $\mathbf{R}_T$  des Netzwerkes in Bild 1 an!

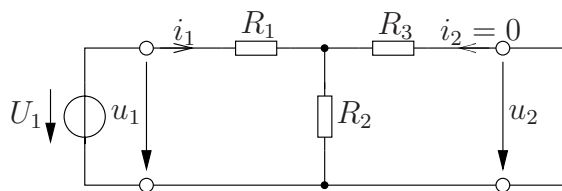
 b)\* Ist das Zweitor reziprok? Begründen Sie Ihre Antwort.



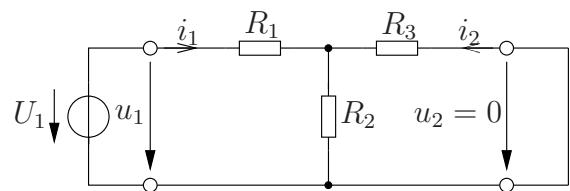
c)\* Ist das Zweitor umkehrbar? Begründen Sie Ihre Antwort.

d)\* Geben Sie mit Hilfe der Widerstandsmatrix  $R_T$  die implizite Beschreibung des Zweitores  $\begin{bmatrix} MN & u \\ & i \end{bmatrix} = \mathbf{0}$  an.

e)\* Geben Sie jetzt auch die Betriebsmatrix  $\begin{bmatrix} U \\ I \end{bmatrix}$  der parametrisierten Beschreibung des Zweitores an, die Sie durch die beiden folgenden Beschaltungen in Bild 2 erhalten.

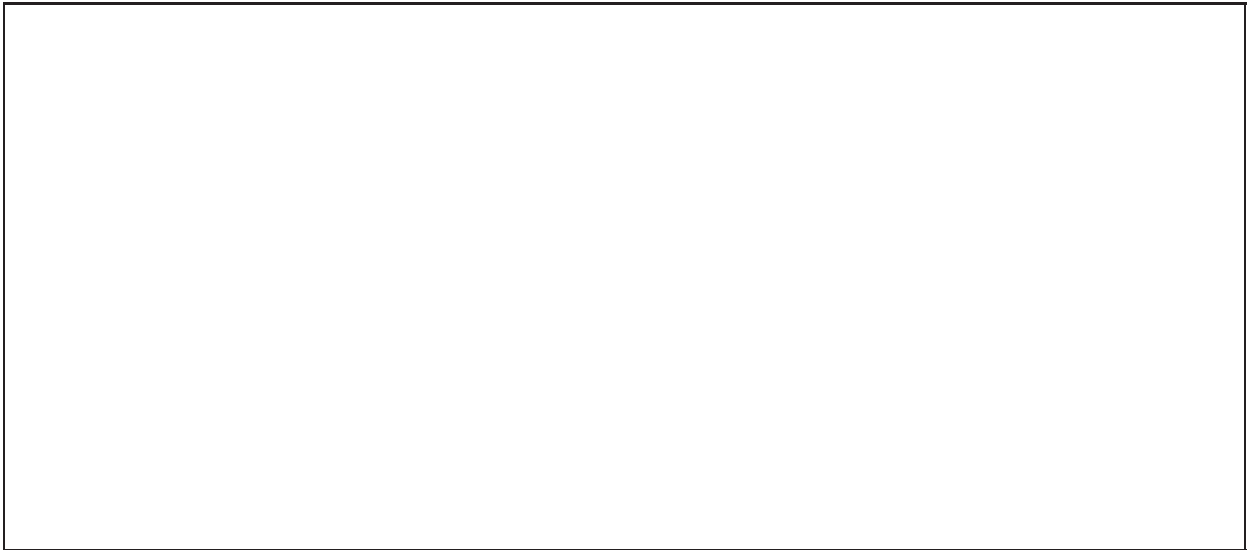


(a) Beschaltung (1)



(b) Beschaltung (2)

Bild 2: Beschaltungen des T-Gliedes



- f) Können Sie mit geeigneten Dimensionierungen von  $R_1, R_2, R_3$  in Bild 1 eine beliebige Widerstandsmatrix  $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix}$  mit  $\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq \delta$  und  $\alpha, \beta, \gamma, \delta > 0$  erzielen? Begründen Sie Ihre Antwort!



Die im Folgenden zu realisierende Matrix  $\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \alpha & \beta \\ \gamma & \delta \end{bmatrix}$  soll in eine Summe von zwei Teilmatrizen  $\mathbf{R}_1$  und  $\mathbf{R}_2$  aufgespalten werden. Dabei gelte:  $\mathbf{R}_1 = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma \\ \gamma & \delta \end{bmatrix}$ .

- g)\* Was ergibt sich daraus für die Matrix  $\mathbf{R}_2$ , und welches Zweitor besitzt eine solche Widerstandsmatrix?



h) Ergänzen Sie das Zweitor mit der Widerstandsbeschreibung  $\begin{bmatrix} u_1'' \\ u_2'' \end{bmatrix} = \mathbf{R}_2 \begin{bmatrix} i_1'' \\ i_2'' \end{bmatrix}$  im gestrichelten Kasten  $\mathcal{F}_2$  des Bildes 3 mit Hilfe Ihres Ergebnisses aus der vorherigen Teilaufgabe, und beschriften Sie die eingezeichneten Netzwerksymbole.

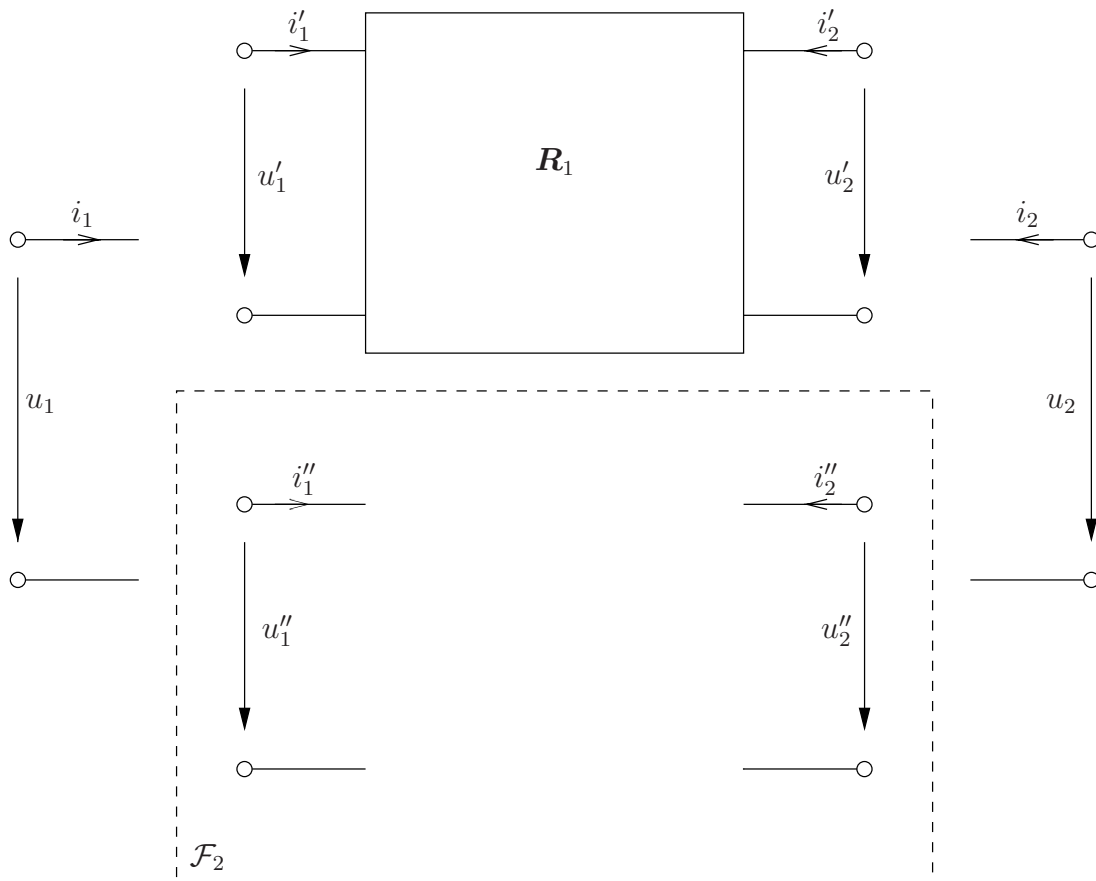


Bild 3: Zweitor-Zusammenschaltung

i)\* Verschalten Sie nun in Bild 3 die beiden Zweitore so, dass Sie als Resultat ein Zweitor mit der Widerstandsmatrix  $\mathbf{R}$  erhalten. Wie nennt man diese Art der Zusammenschaltung?



**Aufgabe 4** Bipolartransistoren (16 Punkte)

Gegeben ist folgendes Zweitor aus Bipolartransistoren.

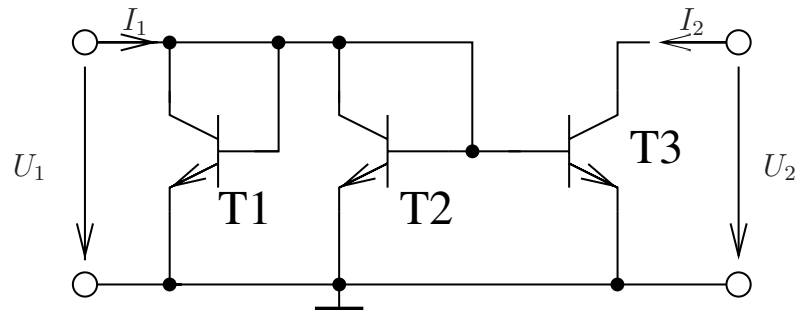


Bild 7. Zweitor mit Bipolartransistoren

Alle drei Bipolartransistoren T1, T2 und T3 haben *identische* Eigenschaften und werden durch folgendes Großsignal-Ersatzschaltbild im Vorwärtsbetrieb beschrieben.

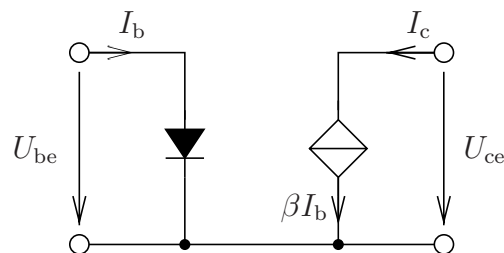


Bild 8. Großsignal-Ersatzschaltbild eines npn-Bipolartransistors

- a)\* Geben Sie die Ersatzschaltung des Zweitors (Bild 7) unter Verwendung des Großsignal-Ersatzschaltbilds aus Bild 8 an.

b) Bestimmen Sie den Strom  $I_2$  in Abhängigkeit von  $I_1$  und den Transistorparametern. Geben Sie auch die Zwischenüberlegungen in der Herleitung an!

c) Wie groß ist  $I_2$  für  $\beta \rightarrow \infty$ ?

d) Welche Funktion erfüllt das Zweitor (Bild 7) in diesem Fall?

e) Geben Sie die hybride Beschreibung des Zweitors für endliche  $\beta$  an.

f) Nennen Sie eine Beschreibungsform des Zweitors (Bild 7), die nicht existiert. **Begründen Sie Ihre Antwort!**