

Aufgabe 4 Schaltung zur Spannungsstabilisierung (31 Punkte)

31

Gegeben sei die Schaltung in Bild 4 zur Spannungsstabilisierung. Die Aufgabe der Schaltung besteht darin, die Schwankungen Δu_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 Δu_a so klein wie möglich zu halten.

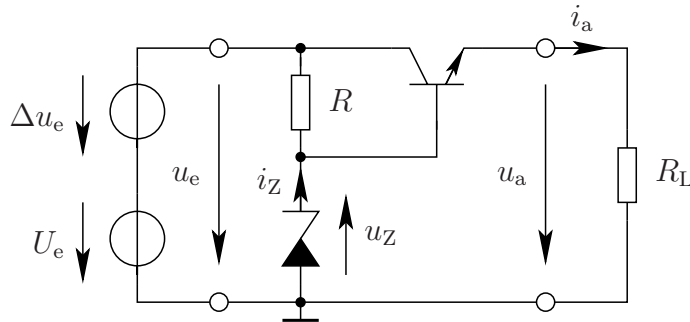


Bild 4: Schaltung zur Spannungsstabilisierung

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

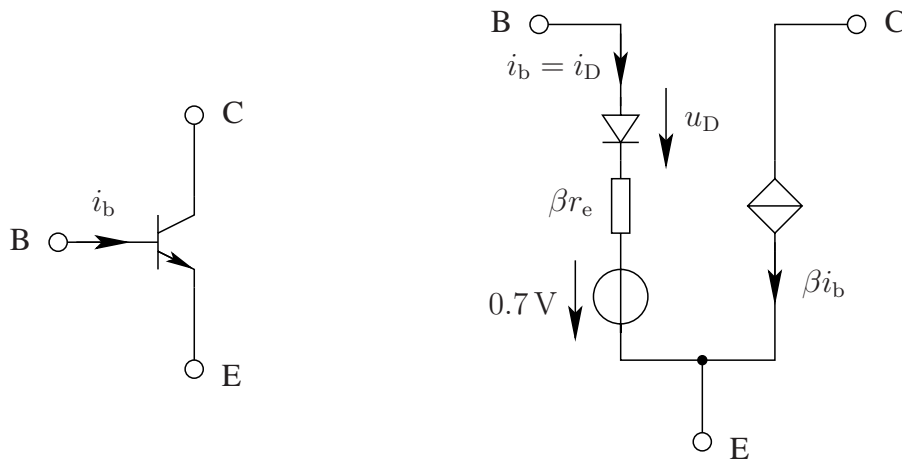
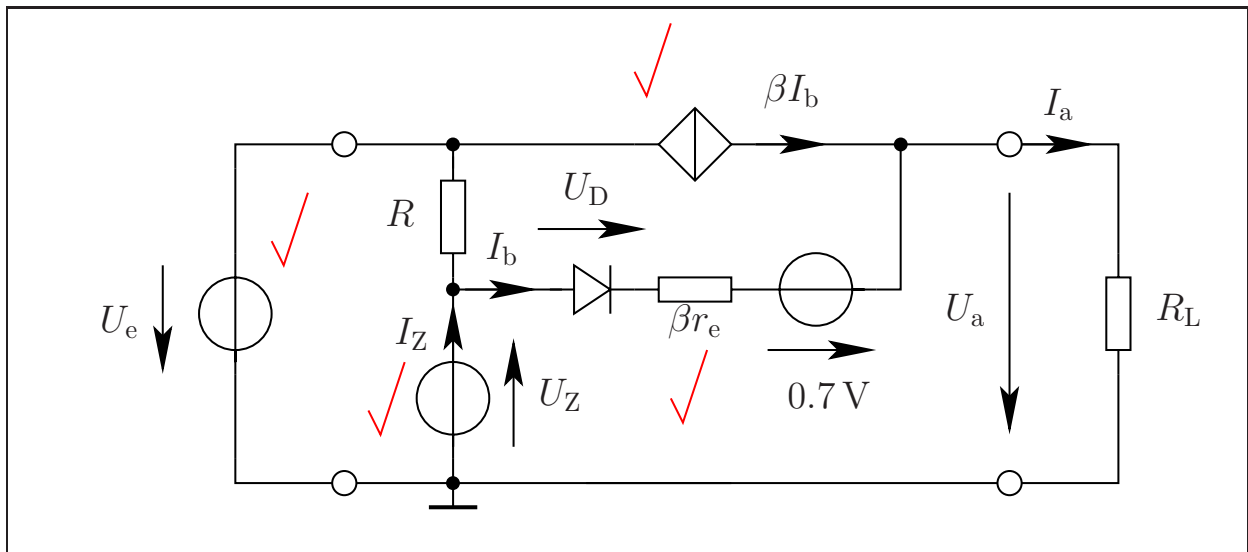


Bild 5: Großsignal-ESB des Transistors

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 .

4

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 $u_Z = U_Z$.



- 1 b)* Welche Beziehung erzwingt der Widerstand R_L zwischen U_a und I_a ?

$$U_a = R_L I_a \checkmark$$

- 1 c) Berechnen Sie I_a in Abhängigkeit von β und I_b .

$$I_a = \beta I_b + I_b = (\beta + 1) I_b \checkmark$$

- 1 d) Ermitteln Sie aus den Ergebnissen von Teilaufgabe b) und c) einen Ausdruck für I_b in Abhängigkeit von U_a , β und R_L .

$$U_a = R_L (\beta + 1) I_b$$

$$I_b = \frac{U_a}{R_L (\beta + 1)} \checkmark$$

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

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

$$U_a = -U_Z - r_e \beta I_b - 0.7 \text{ V} = -U_Z - \frac{r_e \beta U_a}{R_L (\beta + 1)} - 0.7 \text{ V} \checkmark \checkmark$$

$$U_a = \frac{R_L (\beta + 1)}{R_L (\beta + 1) + r_e \beta} (-U_Z - 0.7 \text{ V}) \checkmark$$

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

1

$$U_a = -U_Z - 0.7 \text{ V} \checkmark$$

Die Kennlinie der Zenerdiode ist im Bild 6 gegeben.

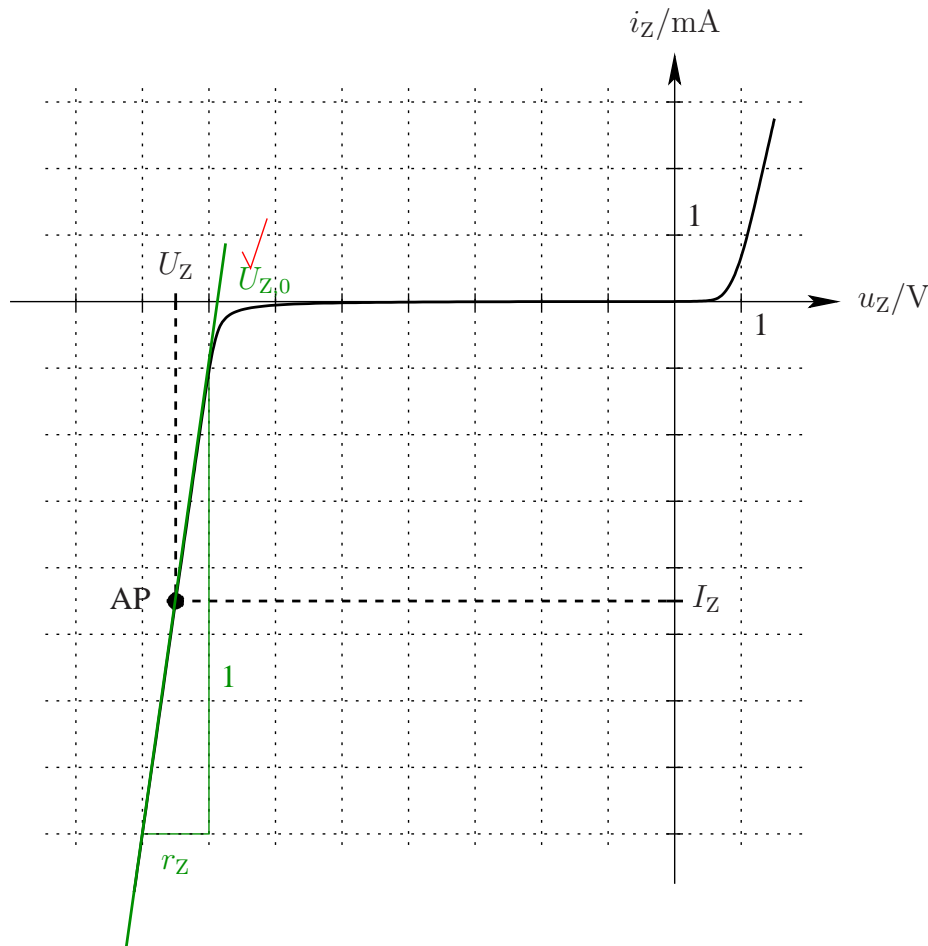


Bild 6: Kennlinie der Zenerdiode

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

3

gepolt, passiv, quellenfrei $\checkmark\checkmark\checkmark$

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 $U_{Z,0}$.

3

$$r_Z = \frac{1 \text{ V}}{7 \text{ mA}} = \frac{1}{7} \text{ k}\Omega \checkmark \quad U_{Z,0} = -6\frac{6}{7} \text{ V} \checkmark$$

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

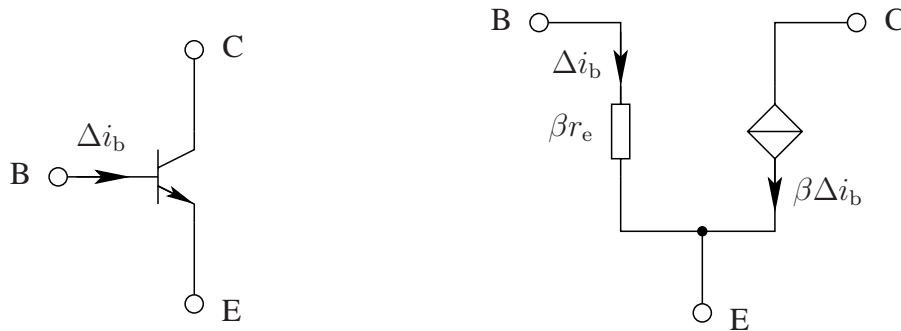
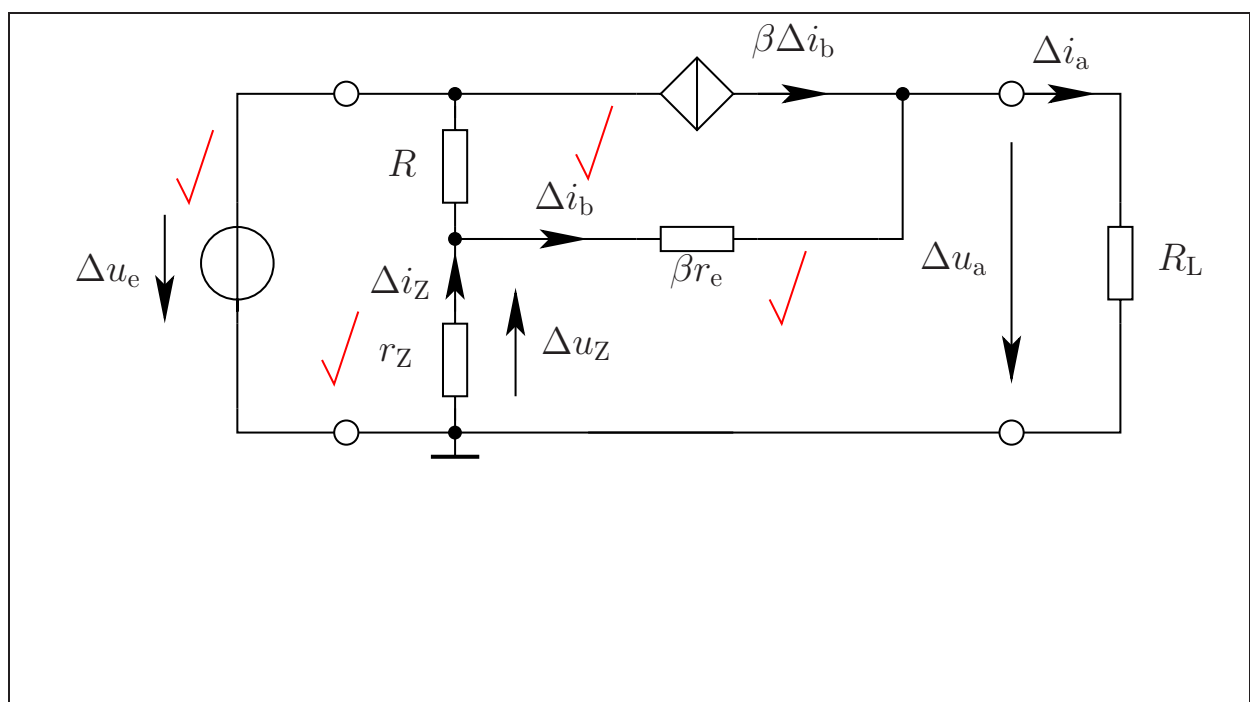


Bild 7: Kleinsignal-ESB des Transistors

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

Widerstand mit dem Wert $r_Z \checkmark$

- 4 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 Δu_a von der Kleinsignal-Eingangsspannung Δu_e untersucht werden.

k) Bestimmen Sie zunächst Δu_a in Abhängigkeit von Δu_Z , β , R_L und r_e .

5

Hinweis: Der Lösungsweg muß erkennbar sein!

$$\Delta u_a = R_L \Delta i_a = R_L (\beta + 1) \Delta i_b \quad \checkmark \checkmark$$

$$\Rightarrow \Delta i_b = \frac{\Delta u_a}{R_L (\beta + 1)}$$

$$\Delta u_a = -\Delta u_Z - r_e \beta \Delta i_b = -\Delta u_Z - \frac{r_e \beta \Delta u_a}{R_L (\beta + 1)} \quad \checkmark \checkmark$$

$$\Delta u_a = -\frac{R_L (\beta + 1)}{R_L (\beta + 1) + r_e \beta} \Delta u_Z \quad \checkmark$$

l) Berechnen Sie nun Δu_Z in Abhängigkeit von Δu_e , R und r_Z für die Näherung $\Delta i_b \approx 0$ und geben Sie schließlich Δu_a in Abhängigkeit von Δu_e , R , r_Z , β , R_L und r_e an. Verwenden Sie dazu das Ergebnis aus Teilaufgabe k).

2

$$\Delta u_Z = -\frac{r_Z}{r_Z + R} \Delta u_e \quad \checkmark$$

$$\Delta u_a = \frac{R_L (\beta + 1)}{R_L (\beta + 1) + r_e \beta} \frac{r_Z}{r_Z + R} \Delta u_e \quad \checkmark$$

m) Welche Beziehung ergibt sich zwischen Δu_a und Δu_e für $r_Z \rightarrow 0$? Was bedeutet dies für die Funktionsweise der Schaltung?

2

$$\Delta u_a \rightarrow 0 \quad \checkmark$$

Schwankungen Δu_e der Eingangsspannung werden am Ausgang ideal unterdrückt \checkmark