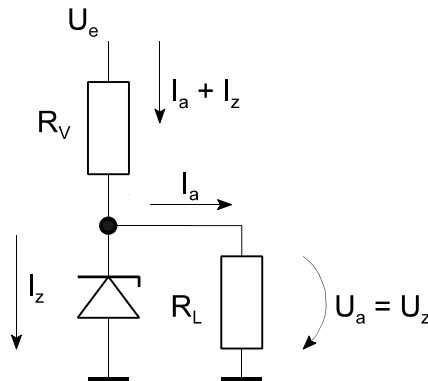


## Spannungsstabilisierung mit Zenerdioden

Abb. 1.1 zeigt die einfachste Stabilisierungsschaltung. Wir verwenden diese einfache Schaltung als erstes Lehrbeispiel der Schaltungsberechnung.



**Abb. 1.1** Spannungsstabilisierung mit Zenerdiode - die Grundschaltung

Die Schaltung nutzt die Tatsache aus, daß über einer in Sperrichtung betriebenen Zenerdiode eine näherungsweise konstante Spannung (Zener- oder Durchbruchspannung) abfällt. Hierzu muß wenigstens ein Mindeststrom  $I_{z\min}$  durch die Zenerdiode fließen, und zwar auch dann, wenn ein maximaler Laststrom entnommen wird:

$$I_{z\min} = \frac{U_{R_V\min}}{R_{V\max}} - I_{a\max} = \frac{U_{e\min} - U_z}{R_{V\max}} - I_{a\max}$$

*Der Mindeststrom durch die Zenerdiode muß fließen bei geringster Eingangsspannung, größtem Vorwiderstand und maximaler Stromentnahme durch die Last.*

Daraus ergibt sich der Maximalwert des Vorwiderstandes:

$$R_{V\max} = \frac{U_{e\min} - U_z}{I_{z\min} + I_{a\max}} = \frac{U_{e\min} - U_z}{I_{z\min} + \frac{U_z}{R_{L\min}}}$$

Bei minimaler Last (ggf. bei Betrieb ohne Last ( $R_L = \infty$ )) darf der Strom durch die Zenerdiode nicht übermäßig groß werden (der maximale Zenerstrom  $I_{z\max}$  ergibt sich aus dem Datenblatt):

$$I_{z\max} = \frac{U_{R_V\max}}{R_{V\min}} - I_{a\min} = \frac{U_{e\max} - U_z}{R_{V\min}} - I_{a\min}$$

*Der höchste Strom fließt durch die Zenerdiode bei höchster Eingangsspannung, geringstem Vorwiderstand und geringster Stromentnahme durch die Last.*

Daraus ergibt sich der Minimalwert des Vorwiderstandes:

$$R_{V \min} = \frac{U_{e \max} - U_z}{I_{z \max} + I_{a \min}} = \frac{U_{e \max} - U_z}{I_{z \max} + \frac{U_z}{R_{L \max}}}$$

(Bei Betrieb ohne Last ist  $I_{a \min} = 0$ .)

Die maximale Ausgangsspannungsschwankung:

$$\Delta U_a = \Delta I_z r_z$$

Der differentielle Widerstand  $r_z$  ist ein Datenblattwert. Er gibt die Steigung der Kennlinie an.

$$\Delta U_a = (I_{z \max} - I_{z \min}) r_z$$

Die maximale Ausgangsspannungsschwankung wird berechnet bei gegebenem (festem) Widerstandswert  $R_V$  und maximalem Ausgangsstrom  $I_{a \max}$ :

$$\Delta U_a = \Delta I_z r_z = \left( \frac{U_{e \max} - U_z}{R_V} - I_{a \max} - \left( \frac{U_{e \min} - U_z}{R_V} - I_{a \max} \right) \right) r_z$$

$$\Delta U_a = \left( \frac{U_{e \max} - U_z}{R_V} - \frac{U_{e \min} - U_z}{R_V} \right) r_z = \frac{U_{e \max} - U_{e \min}}{R_V} r_z$$

Stabilisierungsfaktor:

$$S = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = \frac{\frac{U_{e \max} - U_{e \min}}{R_V} r_z}{U_{e \max} - U_{e \min}} = \frac{r_z}{R_V}$$

Der maximale Zenerstrom bei gegebener maximaler Verlustleistung der Zenerdiode (Datenblattwert):

$$I_{z \max} = \frac{P_{\max}}{U_{z \max}}$$

Verlustleistung am Vorwiderstand  $R_V$ :

$$P_V = I_{e \max}^2 R_V = \left( I_{a \max} + \frac{U_{e \max} - U_z}{R_V} \right)^2 R_V \approx I_{a \max}^2 R_V + \frac{(U_{e \max} - U_z)^2}{R_V}$$

(Näherungsweise: Laststromanteil + Zenerstromanteil.)

Belastbarkeit des Vorwiderstandes: wenigstens  $2 P_V$  (Aufrunden).

Worst-Case-Betrachtung: Kurzschluß am Ausgang bei geringstem Vorwiderstand und höchster Eingangsspannung.

$$P_{V \text{ wc}} = \frac{U_{e \text{ max}}^2}{R_{V \text{ min}}}$$

Eingangsspannung:

$$U_e \approx 2 \dots 4 U_a \text{ (Richtwert)}$$

Der Mindeststrom durch die Z-Diode (Richtwert):

$$I_{z \text{ min}}: 0,1 I_{z \text{ max}}$$

Faustformel für  $I_{z \text{ max}}$  (Leerlaufstrom durch die Diode):  $1,2 \dots 2 * \text{max. Laststrom}$  (mehr, wenn  $U_e < 2 U_z$ )

### Rechenbeispiel:

Gefordert:

$$U_a = 6 \text{ V (Nennwert)}$$

$$I_{a \text{ max}} = 30 \text{ mA}$$

$$I_{a \text{ min}} = 0 \text{ mA}$$

Gegeben:

$$U_e = 12 \text{ V} \pm 20\%. U_{e \text{ min}} = 12 \text{ V} - 2,4 \text{ V} = 9,6 \text{ V}; U_{e \text{ max}} = 12 \text{ V} + 2,4 \text{ V} = 14,4 \text{ V}$$

Gesucht:  $R_V$

$$I_{z \text{ max}} \geq \frac{0,05 \text{ A}}{\frac{9,6 \text{ V} - 6 \text{ V}}{14,4 \text{ V} - 6 \text{ V}} - 0,1} = \frac{0,05 \text{ A}}{\frac{3,6 \text{ V}}{8,4 \text{ V}} - 0,1} = \frac{0,05 \text{ A}}{0,43 - 0,1} \approx 0,152 \text{ A} = 152 \text{ mA}$$

Wir wählen  $I_{z \text{ max}} = 200 \text{ mA}$ . Dann ist  $I_{z \text{ min}} = 20 \text{ mA}$ .

$$R_{V \text{ max}} = \frac{9,6 \text{ V} - 6 \text{ V}}{0,05 \text{ A} + 0,02 \text{ A}} = \frac{3,6 \text{ V}}{0,07 \text{ A}} \approx 55 \Omega$$

$$R_{V \min} = \frac{14,4 \text{ V} - 6 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = \frac{8,4 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = 42 \text{ } \Omega$$

Wir wählen  $R_V = \underline{47 \text{ } \Omega}$  (paßt bei  $\pm 10\%$  Genauigkeit noch zwischen beide Extremwerte).

Der Stabilisierungsfaktor (Annahme (gemäß Datenblattstudium)  $r_z = 2 \text{ } \Omega$ ):

$$S = \frac{r_z}{R_V} = \frac{2 \text{ } \Omega}{47 \text{ } \Omega} \approx 0,043 = 4,3\%$$

Verlustleistung:

$$P_V \left( I_{a \max} + \frac{U_{e \max} - U_z}{R_V} \right)^2 R_V = \left( 0,05 \text{ A} + \frac{14,4 \text{ V} - 6 \text{ V}}{47 \text{ } \Omega} \right)^2 47 \text{ } \Omega \approx 3,8 \text{ W}$$

Worst-Case-Verlustleistung (Kurzschlußfall):

$$P_{V \text{ wc}} = \frac{U_{e \max}^2}{R_{V \min}}$$

$$P_{V \text{ wc}} = \frac{(14,4 \text{ V})^2}{42 \text{ } \Omega} \approx 4,9 \text{ W}$$

Wir wählen endgültig:  $R_V = \underline{47R/10 \text{ W}}$

## Die Spannungskontrolle – ein typisches Anwendungsbeispiel für Zenerdioden

Einfache Spannungskontrollschaltungen  
(z. B. Ladezustandskontrolle)

