

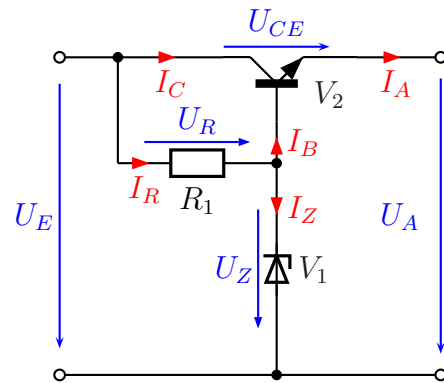
Stabilisierungsschaltung mit Längstransistor

Eine Stabilisierung für ein Netzteil entsprechend nebenstehender Schaltung soll aufgebaut und dimensioniert werden.

Bestimmen Sie:

1. die erforderliche Z-Dioden-Spannung U_Z
2. den Widerstand R_1 (aus der E12-Reihe)
3. die erforderliche Belastbarkeit von V_1
4. die erforderliche Belastbarkeit von R_1
5. die erforderliche Belastbarkeit von V_2

Treffen Sie zur Lösung geeignete Annahmen und verwenden Sie geeignete Näherungen, wo es sinnvoll ist und begründen Sie deren Verwendung.



Stabilisierung mit Längstransistor

Folgende Daten sind bekannt:

- Die Eingangsspannung U_E liegt zwischen 16 und 20 V.
- Die Ausgangsspannung U_A beträgt 12 V.
- Der Ausgangsstrom I_A bewegt sich zwischen 0 und 2 A.
- Der Transistor hat eine Stromverstärkung von $B = 120$.
- Der Transistor hat im Arbeitspunkt eine Eingangsspannung von $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$

Hinweis:

Die E12-Reihe finden Sie beispielsweise hier: <http://de.wikipedia.org/wiki/E-Reihe>

Lösungshinweise:

Gegen Sie der Reihe nach folgende Fragen durch und versuchen Sie, diese zu beantworten.

1. Zunächst müssen Sie bestimmen, wie groß die Nennspannung der Z-Diode sein muss. Wenn Sie das nicht überblicken, beantworten Sie folgende Fragen der Reihe nach:
 - a) Wie groß ist die Ausgangsspannung U_A ?
 - b) Wie groß ist die Spannung U_{BE} zwischen Basis und Emitter des Transistors?
 - c) Wie groß muss damit die Spannung U_Z an der Z-Diode sein?
2. Die beiden Bauelemente R_1 und V_1 erzeugen nach bekanntem Muster eine stabile Spannung. Mit welchem Laststrom muss man für diese Spannungsstabilisierung rechnen? Wenn Sie das nicht überblicken, beantworten Sie folgende Fragen der Reihe nach:
 - a) Wie groß kann der Ausgangsstrom I_A maximal werden?
 - b) Wie groß kann damit der Basisstrom I_B maximal werden?
 - c) Für welchen **Laststrom** muss die Spannungsstabilisierung aus R_1 und V_1 ausgelegt werden? (Laststrom bezogen auf die Stabilisierung aus R_1 und V_1)
4. Welches sind die **ungünstigsten** Bedingungen für die Berechnung des Widerstandes R_1 bezogen auf die Eingangsspannung U_E und den Laststrom I_A ? Beachten Sie, dass zur Erhaltung der Stabilität ein von Ihnen festzulegender Mindeststrom I_Z in der Z-Diode nicht unterschritten werden soll.
5. Legen Sie unter diesen Bedingungen den Widerstand R_1 aus der E12-Reihe fest.
6. Welches sind die **ungünstigsten** Bedingungen für die Berechnung der Belastbarkeit des Widerstandes R_1 bezogen auf die Eingangsspannung U_E und den Laststrom I_A ?
7. Berechnen Sie die Leistung, für die der Widerstand mindestens ausgelegt sein muss.
8. Berechnen Sie nach gleichem Muster die notwendige Belastbarkeit der Z-Diode.
9. Überlegen Sie nun, unter welchen Bedingungen bezogen auf die Eingangsspannung U_E und den Laststrom I_A die größte Belastung **am Transistor** auftritt. Dazu ein Tip: In aller Regel ist die Belastung des Transistors gleichzusetzen mit der Belastung seiner Kollektor-Emitter-Strecke. Die Leistung, die in der Basis-Emitter-Strecke umgesetzt wird, kann meist vernachlässigt werden. (Warum?) Berechnen Sie anschließend die notwendige Belastbarkeit.

Lösung:

Z-Diodenspannung

Die Z-Diodenspannung ergibt sich aus der Ausgangsspannung U_A der Schaltung und der Basis-Emitter-Spannung U_{BE} des Transistors mit Hilfe der Kirchhoffsche Maschenregel.

$$U_Z = U_A + U_{BE} = 12\text{ V} + 0,7\text{ V} = 12,7\text{ V}$$

Widerstandswert

Zur **Bestimmung des Widerstandes R_1** überlegen wir, welches der **ungünstigste Fall** ist. Da der Z-Diodenstrom I_Z einen bestimmten Mindestwert nicht unterschreiten soll, gehört zum **ungünstigsten Fall** alles, wodurch der Z-Diodenstrom I_Z **besonders klein** wird. Das ist der Fall für:

- $U_E = U_{Emin} = 16\text{ V}$ Bei kleiner Eingangsspannung fällt auch weniger Spannung an R_1 ab.
- $I_A = I_{Amax} = 2\text{ A}$ Bei großem Ausgangsstrom fließt auch ein großer Basisstrom. Dieser Strom wird der Z-Diode „weggenommen“, es bleibt also weniger für den Z-Diodenstrom I_Z übrig.

Wir können die Näherung $I_A \approx I_C$ machen, da der Basisstrom bei einer Stromverstärkung von $B = 120$ vergleichsweise klein ist. Damit können wir den **Basisstrom I_B** berechnen.

$$I_B = \frac{I_C}{B} = \frac{2\text{ A}}{120} \approx 16,7\text{ mA}$$

Dieser Basisstrom stellt für die Stabilisierung aus R_1 und V_1 den maximalen „Laststrom“ dar. Nach einer Faustregel sollte der Z-Diodenstrom I_Z mindestens 10% davon sein.

$$I_{Zmin} = 0,1 \cdot I_{Bmax} = 0,1 \cdot 16,7\text{ mA} = 1,67\text{ mA}$$

In R_1 fließt die Summe dieser beiden Ströme:

$$I_R = I_B + I_Z = 16,7\text{ mA} + 1,67\text{ mA} \approx 18,4\text{ mA}$$

Zur Berechnung von R_1 benötigen wir noch die zugehörige Spannung U_1 . Die bekommen wir über die Kirchhoffsche Maschenregel:

$$U_R = U_E - U_Z = 16\text{ V} - 12,7\text{ V} = 3,3\text{ V}$$

Damit können wir R_1 berechnen:

$$R_1 = \frac{U_R}{I_R} = \frac{3,3\text{ V}}{18,4\text{ mA}} \approx 179\ \Omega$$

Der nächstgelegene Normwert aus der E12-Reihe wäre $180\ \Omega$. Wir haben hier aber einen **Höchstwert** für R_1 bestimmt, wir müssen also den **nächst kleineren** Normwert nehmen. Damit erhalten wir:

$$R_1 = 150\ \Omega$$

Belastbarkeit des Widerstandes

Um die notwendige Belastbarkeit zu bestimmen, müssen wir erst überlegen unter welchen **ungünstigsten Bedingungen** der Widerstand am stärksten belastet wird.

- $U_E = U_{E_{\max}} = 20 \text{ V}$ Bei einer großen Eingangsspannung fällt auch eine große Spannung am Widerstand ab.
- I_A hat keinen Einfluß auf die Leistung im Widerstand, da sich dadurch nicht die Spannung am Widerstand verändert.

Die Spannung U_1 am Widerstand R_1 bekommen wir über die Kirchhoffsche Maschenregel:

$$U_R = U_E - U_Z = 20 \text{ V} - 12,7 \text{ V} = 7,3 \text{ V}$$

Kennt man die Spannung an einem Widerstand, dann kann die Leistung sofort berechnet werden:

$$P_R = \frac{U_1^2}{R_1} = \frac{(7,3 \text{ V})^2}{150 \Omega} \approx 355 \text{ mW}$$

Belastbarkeit der Z-Diode

Auch hierfür müssen wir zunächst den **ungünstigsten Fall** für U_E und I_A kennen, bevor wir rechnen können.

- $U_E = U_{E_{\max}} = 20 \text{ V}$ Bei einer großen Eingangsspannung fällt auch eine große Spannung am Widerstand ab. Dadurch fließt auch ein besonders großer Strom hindurch. Dieser Strom fließt zumindest teilweise zur Z-Diode.
- $I_A = I_{A_{\min}} = 0 \text{ A}$ Bei Leerlauf fließt auch kein Basisstrom I_B . Da dieser Basisstrom über den Widerstand zur Basis fließt, muss unter dieser Bedingung der gesamte Strom I_R zur Z-Diode weiterfließen. Der Strom I_Z wird also besonders groß.

Zunächst bestimmen wir den Strom I_R . Die Spannung U_1 für $U_E = U_{E_{\max}} = 20 \text{ V}$ ist ja schon bekannt.

$$I_R = \frac{U_1}{R_1} = \frac{7,3 \text{ V}}{150} \approx 48,7 \text{ mA}$$

Bei Leerlauf ist $I_Z = I_R$. Wir können damit die maximale Leistung bestimmen, die in der Z-Diode auftreten kann.

$$P_Z = U_Z \cdot I_Z = 12,7 \text{ V} \cdot 48,7 \text{ mA} \approx 618 \text{ mW}$$

Belastbarkeit des Transistors

Zunächst muss wieder überlegt werden, unter welchen Bedingungen der Transistor besonders stark belastet wird. Der wesentliche Strom, der den Transistor belastet, ist der Kollektorstrom I_C . Wir müssen also die Kollektor-Emitter-Strecke (Spannung U_{CE}) betrachten. Was ist damit der **ungünstigste Fall**?

- $U_E = U_{E_{\max}} = 20 \text{ V}$ Je größer die Eingangsspannung U_E ist, desto größer wird auch die Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} , da die Ausgangsspannung U_A annähernd konstant ist.
- $I_A = I_{A_{\max}} = 2 \text{ A}$ Dieser Strom fließt durch den Transistor und erwärmt ihn entsprechend.

Durch den Transistor fließen zwei Ströme – der Kollektorstrom I_C und der Basisstrom I_B . Die Summe dieser Ströme fließt dabei am Emitter aus dem Transistor hinaus. Dabei ist wegen der Stromverstärkung der Basisstrom wesentlich kleiner. Die Näherung $I_C \approx I_A$ ist also möglich. Zudem ist I_C sogar etwas kleiner als I_A . Zwar erwärmt auch der Basisstrom den Transistor etwas, aber da nicht nur I_B im Vergleich zu I_C sehr klein ist, sondern auch U_{BE} nur 0,7 Volt beträgt, ist diese Erwärmung vernachlässigbar klein.

Zunächst berechnen wir U_{CE} mit Hilfe der Kirchhoffschen Maschenregel.

$$U_{CE} = U_E - U_A = 20 \text{ V} - 12 \text{ V} = 8 \text{ V}$$

Damit kann die Verlustleistung P_{V2} des Transistors über die Leistungsformel berechnet werden:

$$P_{V2} = I_C \cdot U_{CE} \approx I_A \cdot U_{CE} = 2 \text{ A} \cdot 8 \text{ V} = 16 \text{ W}$$