

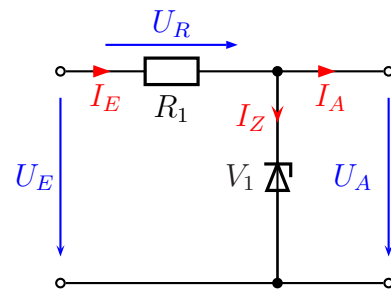
Stabilisierungsschaltung mit Z-Diode

Nebenstehend ist eine einfache Schaltung zur Spannungsstabilisierung mit einer Z-Diode dargestellt. Links wird die (unstabile) Spannung U_E angeschlossen, rechts wird an U_A eine beliebige Last angeschlossen. Zur Verwendung kommt die Diode mit der Typenbezeichnung **ZD12**. Folgende Daten der Diode sind bekannt:

$$U_Z = 12 \text{ V}$$

$$P_{tot} = 1,3 \text{ W}$$

Weiterhin ist bekannt, dass die Eingangsspannung U_E der Schaltung schwanken kann im Bereich von $U_E = 16 \dots 18 \text{ V}$.



a) Bestimmen Sie einen geeigneten Vorwiderstand R_1 aus der E12-Reihe, so dass ein möglichst großer Laststrom I_A entnommen werden kann. Beachten Sie, dass die Schaltung vertragen muss, dass der Laststrom I_A auch mal Null werden kann. Die Toleranz dieser Widerstände beträgt 10 %.

b) Welche Belastbarkeit muss R_1 haben? Verfügbar sind Bauformen mit folgenden Werten:

0,125 W 0,25 W 0,5 W 1 W 2 W 5 W

c) Welcher Strom I_A kann die Schaltung unter ungünstigsten Bedingungen maximal liefern, ohne dass die Spannung merklich einbricht?

Hinweis:

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

Lösung

Die vorgestellte Lösung ist nur als ein Lösungsbeispiel anzusehen. Andere Lösungen sind selbstverständlich auch möglich.

zu a) Zunächst ist $U_A = U_Z = 12\text{ V}$.

Wählt man R_1 zu klein, dann kann ein unzulässig großer Strom fließen, der die Z-Diode zerstören kann. Bei der Berechnung von R_1 muss daher immer von den **ungünstigsten Bedingungen** ausgegangen werden, unter denen I_Z besonders **groß** wird. Berechnen wir aber zunächst den **maximal zulässigen** Strom I_{Zmax} .

$$\begin{aligned} P_{tot} &= U_Z \cdot I_{Zmax} \\ I_{Zmax} &= \frac{P_{tot}}{U_Z} \\ &= \frac{1,3\text{ W}}{12\text{ V}} \\ I_{Zmax} &= 108\text{ mA} \end{aligned}$$

Unter welchen Bedingungen (U_E und I_A) ist nun I_Z besonders **groß**? Durch Überlegung erhält man:

- $U_E = U_{Emax} = 18\text{ V}$
- $I_A = 0$

Warum ist das so?

- An R_1 steht nach der Kirchhoffschen Maschenregel die Spannungsdifferenz zwischen Eingangsspannung und Ausgangsspannung $U_1 = U_E - U_A$ an. Da die Ausgangsspannung U_A (nahezu) konstant bleibt, erhöht sich mit steigender Eingangsspannung U_E auch die Spannung U_R am Widerstand und aufgrund des Ohmschen Gesetzes somit auch der Strom I_E .
- Bei einer gegebenen Eingangsspannung U_E ergibt sich wegen der eben dargestellten Verhältnisse ein Strom I_E , der vom Laststrom I_A (nahezu) unabhängig ist. Da bedeutet, dass jedes Milliampere, das **nicht** von einer eventuell angeschlossenen Last aufgenommen wird, statt dessen durch die Z-Diode fließt. Je kleiner I_A ist, desto größer wird I_Z .

Von diesen Bedingungen müssen wir also ausgehen. Die weiteren Berechnungen basieren auf den zugehörigen Werten für U_E und I_A . Wenn $I_A = 0$ ist, ist $I_Z = I_1$. Der maximal zulässige Z-Diodenstrom I_{Zmax} ist somit gleichzeitig auch der maximal zulässige Strom I_{Rmax} , der durch R_1 fließen darf.

$$I_{Rmax} = I_{Zmax} = 108\text{ mA}$$

$$U_1 = U_E - U_A = 18 \text{ V} - 12 \text{ V} = 6 \text{ V}$$

$$R_1 = \frac{U_1}{I_1} = \frac{6 \text{ V}}{108 \text{ mA}} = 55,6 \Omega$$

Der berechnete Wert ist kein Normwert. Es stellt sich die Frage, ob der nächstgelegene, der nächst-größere oder der nächst-kleinere Normwert verwendet werden soll. Die beiden Nachbarwerte aus der E12-Reihe sind 47Ω und 56Ω . Es liegt also nahe, einfach den 56Ω -Widerstand zu nehmen, weil der so dicht beim berechneten Wert liegt. Aber ist das richtig?

Überlegen wir: Der Wert $I_R = 108 \text{ mA}$ darf **auf keinen Fall überschritten** werden. Nach dem Ohmschen Gesetz **vergrößert** sich der Strom, wenn man den Widerstand **verkleinert**. Um den Strom nicht zu vergrößern, darf der berechnete Widerstandswert also nur **nach oben** abgeändert werden. Mit dem 56Ω -Widerstand würden wir ja tatsächlich einen größeren Wert, als den berechneten nehmen, wenn auch nur um $0,4 \Omega$ größer. Damit wäre doch alles ok?

Laut Aufgabenstellung haben die Widerstände aus der E12-Reihe eine Toleranz von $\pm 10 \%$. Ein als 56Ω -Widerstand bezeichneter Widerstand kann also bis zu 10 Prozent mehr oder auch weniger als tatsächlichen Widerstandswert haben. Im ungünstigsten Fall hat er also nur $56 \Omega - 10 \% = 50,4 \Omega$. Damit würde der Strom I_R unzulässig groß werden. Sicherheitshalber muss also der nächstgrößere Wert über 56Ω verwendet werden. Damit kommen wir auf den Wert:

$$R_1 = 68 \Omega$$

Eine Kontrollrechnung zeigt, dass mit diesem Nennwert auch im ungünstigsten Fall R_1 nicht zu klein wird:

$$68 \Omega - 10 \% = 61,2 \Omega$$

zu b) Bei der Berechnung der Belastbarkeit kommt es darauf an, dass für R_1 eine Bauform gewählt wird, die die möglicherweise auftretende Belastung in jedem Fall aushält. Man kann nun für die Berechnung den ausgesuchten Widerstand $R_1 = 68 \Omega$ verwenden oder besser noch den zugehörigen unteren Toleranzwert von $61,2 \Omega$. Alternativ könnte man auch mit dem zuvor berechneten maximal zulässigen Strom von $I_{Rmax} = 108 \text{ mA}$ rechnen, auch wenn dieser aufgrund des ausgewählten etwas höheren Widerstandswertes nicht ganz erreicht wird.

Ich halte es für sinnvoll, mit dem unteren Toleranzwert von $61,2 \Omega$ für R_1 zu rechnen. (Dies heißt aber nicht, dass eine andere Methode nicht richtig ist!)

Die Leistung in einem Widerstand bei bekannter Spannung wird mit dieser Formel berechnet:

$$P_R = \frac{U_R^2}{R_1} = \frac{(6 \text{ V})^2}{61,2 \Omega} = 588 \text{ mW}$$

Ausgewählt wird die nächsthöhere verfügbare Bauform:

$$P_R = 1 \text{ W}$$

Am Ergebnis sieht man auch, dass man durchaus auch mit dem Nennwert des Widerstandes $R_1 = 68 \Omega$ hätte rechnen können, weil hier eine großzügige Rundung nach oben erfolgte.

Eine andere Alternative wäre es, dass man möchte, dass die Schaltung auch **kurzschlussfest** gemacht werden soll. Dann ist die Belastung für den Widerstand sicherlich deutlich größer. Schließt man nämlich U_A kurz, dann liegt die volle Eingangsspannung U_E auch als U_R an R_1 an, im ungünstigsten Fall also 18 V. Aus Bequemlichkeit möchte ich diesmal mit dem Nennwert des Widerstandes rechnen ($R_1 = 68 \Omega$), auch wenn man vielleicht besser mit den 10 % weniger rechnen sollte, wie im 1. Lösungsansatz. In diesem Fall sieht die Berechnung dann so aus:

$$P_R = \frac{U_E^2}{R_1} = \frac{(18 \text{ V})^2}{68 \Omega} = 4,76 \text{ W}$$

Ausgewählt wird die nächsthöhere verfügbare Bauform:

$$P_R = 5 \text{ W}$$

zu c) Die Spannung kann einbrechen, wenn der Z-Dioden-Strom zu **klein** wird. Nach einer gängigen Faustformel sollte er nicht kleiner als 10 % des Maximalstromes sein.

$$I_{Zmin} = 0,1 \cdot I_{Zmax} = 0,1 \cdot 108 \text{ mA} = 10,8 \text{ mA}$$

Nun muss man überlegen, unter welchen Bedingungen I_Z besonders **klein** wird. Dis ist sicher der Fall für:

- $U_E = U_{Emin} = 16 \text{ V}$
- $I_A = I_{Amax}$

Bestimmen wir nun den Strom I_{Emin} , also den Strom I_E , der bei kleinster Eingangsspannung U_E fließt.

$$I_{Emin} = \frac{U_{Rmin}}{R_1} = \frac{U_{Emin} - U_A}{R_1} = \frac{16 \text{ V} - 12 \text{ V}}{68 \Omega} = 58,8 \text{ mA}$$

Anmerkung: Natürlich kann man hier auch wieder die Toleranz des Widerstandes mit berücksichtigen. Da bei einem **größeren** Widerstand der **kleinere** Strom fließt, würde man vom oberen Rand des Toleranzfeldes ausgehen, also von $68 \Omega + 10 \% = 74,8 \Omega$. Genauer wäre das. Da aber die Stabilisierung beim Unterschreiten des Mindest-Z-Diodenstromes I_{Zmin} nicht schlagartig schlechter wird, kann man m. E. aber auch darauf verzichten.

Nun subtrahiert man von diesem Stromwert noch den Mindest-Z-Diodenstrom I_{Zmin} , dann erhält man den gesuchten maximal entnehmbaren Ausgangsstrom.

$$I_{Amax} = I_{Emin} - I_{Zmin} = 58,8 \text{ mA} - 10,8 \text{ mA} = 48 \text{ mA}$$

Zusammengefasst: Der maximal entnehmbare Strom ohne Spannungseinbruch beträgt:

$$I_{Amax} = 48 \text{ mA}$$