

Eigenschaften einer Zener-Diode

Mit der folgenden Schaltung wollen wir die Eigenschaften einer speziellen Diode, der sog. **Zener-Diode** erforschen. Der Name der Diode hat nichts mit Zahlen zu tun, sondern bezieht sich auf den amerikanischen Physiker **Clarence Melvin Zener** [1], der den nach ihm benannten Effekt entdeckt hat.

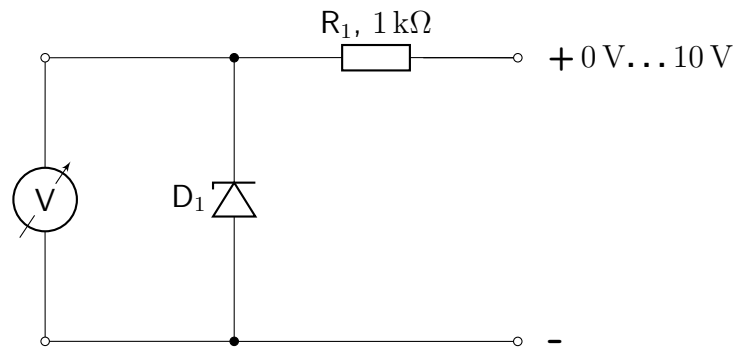


Bild 1: Messung der Eigenschaften einer Diode

Beschreibung der Funktion

Das **Schaltensymbol** einer Zener-Diode ist im Prinzip das einer normalen Diode, nur mit einem kleinen Haken an einer Seite des Striches, welcher die Kathode darstellt. Manchmal wird der Kathodenstrich auch leicht schräg gezeichnet.

Wenn Ihr Euch die Schaltung in Bild 1 im Vergleich zur Schaltung 007 anschaut, werdet Ihr feststellen, dass die Diode hier in **Sperrichtung** eingebaut ist. Außerdem messen wir dieses Mal **nicht** den **Strom durch die Diode**, sondern die **Spannung über der Diode**. Verwenden werden wir eine Diode vom Typ ZPD4.7. Die Beschriftung ist leider sehr klein aufgedruckt. Am besten prüft Ihr die Bezeichnung mit einer hellen Taschenlampe und/oder einer Lupe.

Wenn Ihr die Diode entspr. der Aufbauskizze in Bild 2 eingebaut habt, wird die Versorgungsspannung wieder von 0 V an langsam erhöht und dabei die Spannung über der Diode beobachtet. Die Spannung über der Diode steigt zunächst mit der Versorgungsspannung an. Plötzlich bleibt die Spannung über der Diode aber konstant, auch wenn wir die Versorgungsspannung weiter erhöhen. Die Spannung, die wir an der Diode messen, beträgt 4.7 V. Erkennt da jemand einen Zusammenhang mit der Bezeichnung der Diode?

Dies ist der besondere Effekt bei Zener-Dioden. Bei einer normalen Diode dürfen wir die Spannung nicht über die maximal zulässige Sperrspannung hinaus erhöhen, weil die Diode sonst durchschlägt und kaputt ist. Bei der Zener-Diode wird dieser **Durchbrucheffect** aber gezielt ausgenutzt und der fließende Strom durch den Schutzwiderstand R₁ begrenzt. Die Zener-Diode hält dann die Spannung zwischen ihren Anschlüssen stabil auf dem angegebenen Wert. Diese Spannung wird auch als **Zener-Spannung** bezeichnet.

Der Aufbau der Schaltung

Die Skizze in Bild 2 soll Euch zeigen, wie die Schaltung auf einem Steckbrett aufgebaut werden kann. Achtet darauf, dass Ihr die Stromversorgung oder Batterie richtig herum anschließt. Der Pluspol ist **rot** gekennzeichnet und der Minuspol **blau** oder schwarz. Achtet ebenfalls darauf, dass die Diode, wie eingezeichnet, in Sperrichtung eingebaut wird.

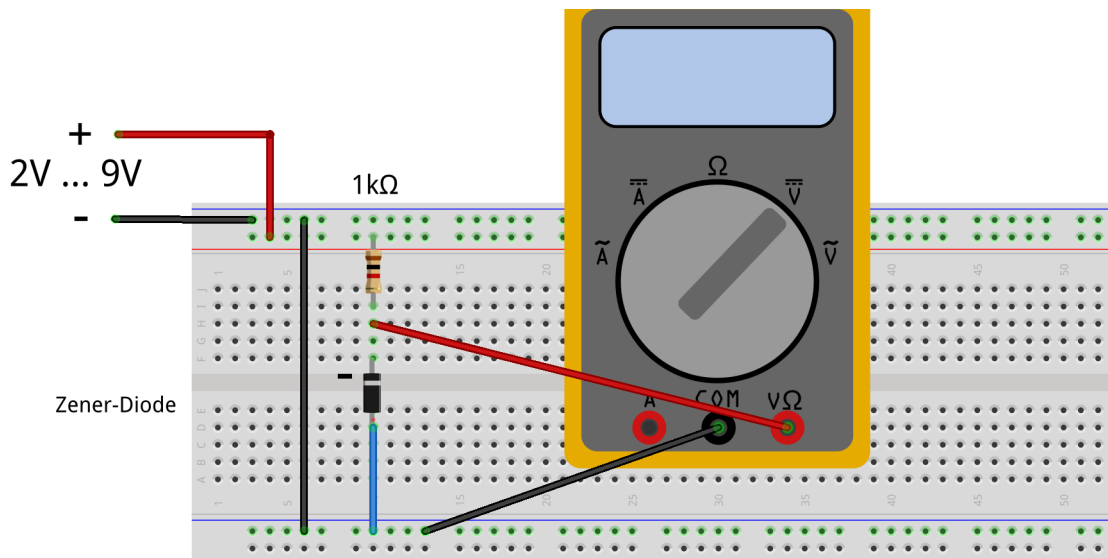


Bild 2: Aufbauskitze zur Messung der Diodeneigenschaften

Hinweis: Mit einer Batterie als Stromquelle lässt sich der Versuch nicht so schön durchführen, wie mit einem regelbaren Netzteil. Die Zener-Spannung und der Stabilisierungseffekt können aber auch mit einer Batterie als Spannungsquelle gemessen werden.

Für Experten und solche, die es werden wollen.

Zener-Dioden als Spannungstabilisator

Zener-Dioden sind ein sehr wichtiges Bauelement in der Elektronik. Sie werden in der Praxis zur **Stabilisierung von Spannungen** eingesetzt. Konstante Spannungen sind wichtig für die Funktion vieler Schaltungen.

Das von uns gemessene Verhalten einer Diode wird in der Praxis (z. B. in Datenblättern der Hersteller) durch eine sog. **Kennlinie** angegeben. Eine solche Kennlinie ist in Bild 3 vereinfacht dargestellt.

Die Kennlinie einer Zener-Diode ist ähnlich wie die einer normalen Diode. Allerdings interessiert uns hier nicht der Durchlass- sondern der Sperrbereich mit dem Durchbrucheffekt. Durch unterschiedliche Dotierungen kann man erreichen, dass dieser Effekt bei Spannungen zwischen ca. 2 V und 50 V auftritt.

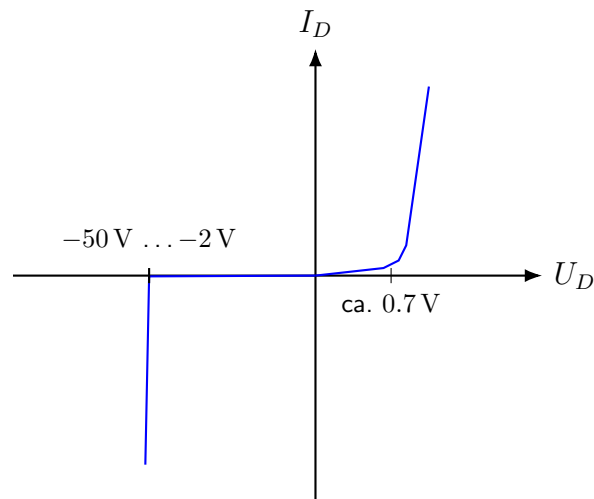


Bild 3: Kennlinie einer Zener-Diode (vereinfacht, nicht maßstabsgerecht)

Die Berechnung einer Spannungstabilisierung

Die Schaltung nach Bild 1 könnte bereits zur Versorgung einer Schaltung mit einer stabilisierten Spannung eingesetzt werden, wenn wir statt unseres Voltmeters einen Verbraucher anschließen. Allerdings können wir dieser einfachen Schaltung keinen großen Strom entnehmen. Wieso?

Hierfür müssen wir zwei Fälle betrachten, nämlich den Fall des **Leerlaufs**, wenn also kein Verbraucher angeschlossen ist und den Fall der **Belastung**, wie dies in Bild 4 dargestellt ist.

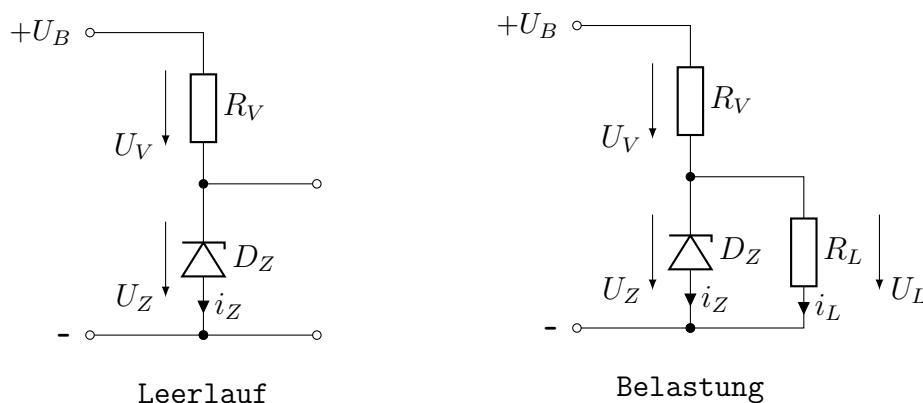


Bild 4: Berechnung einer Zener-Dioden-Schaltung

Im Leerlauf, also wenn kein Verbraucher angeschlossen ist, muss die Diode den **gesamten Strom übernehmen**, der sonst durch den Verbraucher fließen würde. Dieser Strom ist aber durch die Belastbarkeit der Zener-Diode begrenzt.

Nehmen wir an, wir haben eine Zener-Diode mit einer Zener-Spannung von $4,7\text{ V}$ und die Betriebsspannung beträgt 9 V . Die Belastbarkeit kleiner Zener-Dioden liegt typischerweise bei $0,4\text{ W}$. Durch Umstellen der Formel für die Leistung $P = U \cdot I$ ergibt sich aus der Schaltung in Bild 4 dann ein maximaler Strom durch die Zener-Diode von

$$I_Z = \frac{P}{U} = \frac{0,4\text{ W}}{4,7\text{ V}} = 85\text{ mA} \quad (1)$$

Für den Vorwiderstand, an dem die **Spannungsdifferenz** zwischen der **Zener-Spannung** und der **Betriebsspannung** abfallen muss, ergibt sich damit ein Wert von

$$R_V = \frac{U}{I} = \frac{9\text{ V} - 4.7\text{ V}}{0.085\text{ A}} = \frac{4.3\text{ V}}{0.085\text{ A}} = 50.6\ \Omega. \quad (2)$$

Wie groß oder klein darf der Belastungswiderstand R_L jetzt sein? Hierzu betrachten wir den rechten Teil von Bild 4. Der Vorwiderstand R_V und der Lastwiderstand R_L bilden einen **Spannungsteiler**. Hierfür gilt ja

$$\frac{U_V}{U_L} = \frac{R_V}{R_L} \quad (3)$$

Daraus folgt für den Grenzfall, dass die Spannung am Lastwiderstand gleich der Zener-Spannung von 4.7 V ist:

$$R_L = R_V \cdot \frac{U_L}{U_V} \quad (4)$$

$$= 50.6\ \Omega \cdot \frac{4.7\text{ V}}{4.3\text{ V}} \quad (5)$$

$$= 55.3\ \Omega \quad (6)$$

Das bedeutet: sinkt unser Belastungswiderstand jetzt unter den Wert von 55.3 Ω , sinkt auch die an ihm stehende Spannung unter die Zenerspannung. Die Diode würde sperren, wäre damit in der Schaltung praktisch nicht mehr vorhanden und könnte die Spannung auch nicht mehr stabilisieren. Unsere Stromversorgung wäre überlastet.

Liegt der Wert unseres Belastungswiderstands oberhalb von 55.3 Ω ist alles in Ordnung, und die Zener-Diode kann die Spannung stabilisieren. In der Praxis werden solch einfache Stabilisierungsschaltungen gelegentlich verwendet, wenn es nur geringe oder gar keine Schwankungen der Belastung gibt.

Verstärkung des Stroms

Die in Bild 4 gezeigte Schaltung mit der Zener-Diode stellt im Prinzip schon eine voll funktionsfähige Schaltung zur Spannungsstabilisierung dar, der wir jedoch nur wenig Strom entnehmen können. Wenn wir jedoch mehr Strom benötigen, müssen wir den Strom also verstärken. Aber wir kennen ja bereits ein Bauelement, welches Ströme verstärken kann: den Transistor! Bild 5 zeigt die entspr. Schaltung dazu.

Der Transistor stellt jetzt die „Belastung“ für die Zener-Diode dar. Nehmen wir an, wir haben hier einen Leistungstransistor mit einer Stromverstärkung von 50 und wir wollen einen maximalen Strom von 500 mA entnehmen. Dann bedeutet das, dass der Strom durch die Zener-Diode zwischen den Fällen Leerlauf und volle Belastung nur noch um $500\text{ mA}/50 = 10\text{ mA}$ schwankt.

Das liegt also deutlich unterhalb des maximalen Wertes von 85 mA, welchen wir im vorhergehenden Abschnitt berechnet haben. In der Praxis versucht man, den Strom durch die Zenerdiode möglichst gering und möglichst konstant zu halten. Für obiges Beispiel würde man den Strom durch die Zener-Diode im Leerlauf auf einen Wert von ca. 20 mA einstellen.

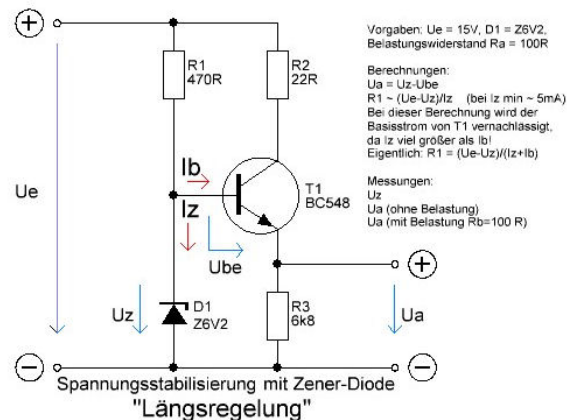


Bild 5: Beispiel für Spannungsregler mit erhöhter Stromentnahme

Die Schaltung in Bild 5 zeigt die Grundschaltung für alle konventionellen sog. **längsregelten Netzteile**. Sie haben den Vorteil des relativ einfachen Aufbaus, aber auch den Nachteil, dass immer eine gewisse Menge an Energie am Transistor „verbraten“ wird. Der Transistor wird also warm und muss daher auf einen mehr oder weniger großen Kühlkörper montiert werden. Mit den angegebenen Bauteilwerten und eine Betriebsspannung von $15V$ ergibt sich im Leerlauf ein Strom durch die Zener-Diode von $18mA$.

Heute findet man meist diese kleinen Steckernetzteile. Hierbei handelt es sich um sog. **Schalt-netzteile**. Diese haben Vorteile, weil sie wesentlich effektiver sind und einen sehr hohen Wirkungsgrad haben, also wenig Wärme erzeugen. Sie verursachen aber, wenn sie billig aufgebaut sind (und das ist bei den Netzteilen aus „Fernost“ leider sehr oft der Fall), teilweise sehr starke Funkstörungen ☹.

Literatur

[1] Die Zener-Diode.

<https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Z-Diode&oldid=264503798>

© Alle Rechte beim DARC OV I07 bzw. den Autoren. Für Ausbildungs- und Lehrzwecke frei verwendbar. Die gewerbliche oder kommerzielle Nutzung bedarf der schriftlichen Genehmigung. Nicht referenzierte Bilder von DJ1FC oder vom Autor. Dokument erstellt mit \LaTeX unter Verwendung der Pakete TikZ und CircuiTikZ sowie fritzing.

*** Elektrischer Strom ist kein Spielzeug. Beachtet unsere Sicherheitshinweise. ***
 *** Ihr findet sie, wie diese Schaltung, auf unserer Webseite. ***