

# Einstellbare Z-Diode

**Ist keine passende Z-Diode zur Hand, wird ein „krummer“-Wert benötigt oder ist besondere Präzision gefordert, bieten die beiden hier vorgestellten Schaltungen interessante Möglichkeiten.**

## Allgemeines

Je nach Anwendungsfall werden Z-Dioden mit verschiedensten Werten benötigt. Nicht selten ist jedoch gerade der benötigte Wert nicht verfügbar oder weicht von den am Markt angebotenen Typen ab. Erhältlich sind im allgemeinen bei Standard-Z-Dioden Werte nach der Reihe E 12, während das von ELV angebotene Spektrum von 2,7 V bis 200 V nach der Reihe E 24 vergleichsweise umfangreich ist.

Von Sonderfällen einmal abgesehen, liegen die häufigsten Anwendungen im Spannungsbereich zwischen 12 V und 15 V. Standard-Z-Dioden mit einer Z-Spannung von genau 5,6 V weisen den Vorteil einer besonders geringen Temperaturdrift auf, während der differentielle Innenwiderstand im Verhältnis zur Stabilisierungsspannung bei Dioden mit einer Z-Spannung von 8,2 V am günstigsten ist.

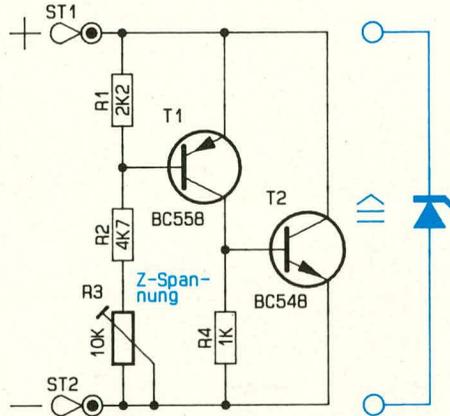
Neben den Standard-Z-Dioden für einfachere Anwendungen sind auch spezielle Referenz-Spannungsstabilisatoren verfügbar, die sich durch eine außerordentlich hohe Präzision der stabilisierten Spannung und einen extrem geringen Temperaturquotienten auszeichnen. Diese Bauelemente gibt es jedoch nur in sehr wenigen Spannungswerten, so daß hier in aller Regelschaltungstechnische Maßnahmen für den gezielten Einsatz erforderlich sind.

Im vorliegenden Artikel stellen wir Ihnen daher 2 Schaltungen vor, die als Ersatz für eine Z-Diode dienen können und deren Stabilisierungsspannung im Bereich von 1,25 V bis 20 V einstellbar ist.

## Low-Cost-Z-Diode

Die erste Schaltung ist in Abbildung 1 dargestellt und besteht aus lediglich 6 elektronischen Bauelementen, die wohl in jeder Elektronikwerkstatt verfügbar sind. Einsetzbar ist die Schaltung bereits ab einer Spannung von 1,25 V bis hin zu rund 20 V.

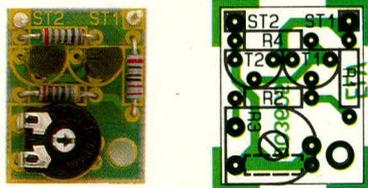
Die maximale Strombelastbarkeit hängt von der anstehenden Spannung ab und begründet sich in der maximal zulässigen Verlustleistung des Transistors T 2 von 500 mW. Bei 20 V dürfen daher maximal 25 mA fließen, bei 10 V bereits 50 mA, bei 5 V 100 mA sowie unterhalb 2,5 V sogar 200 mA. Dieser letztgenannte Strom stellt gleichzeitig den maximal zulässigen Strom



**Bild 1: Schaltbild der Low-Cost-Z-Diode**

dieser Schaltung dar. Der Mindeststrom, den die Schaltung für einen einwandfreien Betrieb benötigt, liegt bei ca. 2 mA.

Die Funktionsweise dieser kleinen Schaltung soll nachfolgend kurz erläutert werden. Wird an die Platinenanschlußpunkte ST 1 (positiver Anschluß) und ST 2 (negativer Anschluß) eine Spannung angelegt, fließt über den Spannungsteiler R 1-R 3 ein Strom. Solange der hierdurch an R 1 hervorgerufene Spannungsabfall unterhalb von ca. 0,6 V bleibt, sind T 1 und infolgedessen auch T 2 gesperrt. Erhöht sich die Spannung an den Eingangsklemmen soweit, daß an R 1 ca. 0,625 V abfallen, läßt



**Ansicht der fertig bestückten Platine und des Bestückungsplanes**

### Stückliste: Low-Cost-Z-Diode

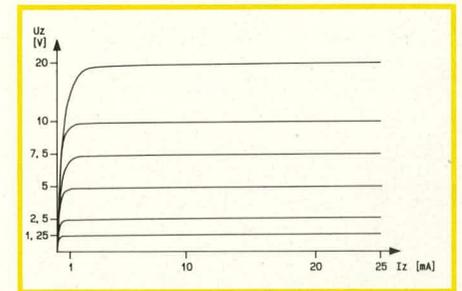
**Widerstände:**  
 1kΩ ..... R 4  
 2,2kΩ ..... R 1  
 4,7kΩ ..... R 2  
 Trimmer, 10kΩ ..... R 3

**Halbleiter:**  
 BC548 ..... T 2  
 BC558 ..... T 1

**Sonstiges:**  
 2 Lötstifte

T 1 einen Strom durch R 4 fließen, der beim Erreichen eines Spannungsabfalls an R 4 von ca. 0,625 V T 2 ansteuert. Der daraufhin durch T 2 fließende Strom wirkt einem weiteren Spannungsanstieg zwischen den Klemmen ST 1, 2 entgegen, worauf die stabilisierende Wirkung dieser Schaltung zurückzuführen ist.

Durch die hohe Schleifenverstärkung der beiden hintereinander geschalteten Transistoren T 1, 2 besitzt diese kleine Schaltung eine erstaunlich hohe Stabilität. Der differentielle Innenwiderstand im Stabilisierungsbereich liegt mit wenigen Ohm sogar deutlich besser als bei vergleichbaren Standard-Z-



**Bild 2: Kennlinienfeld der Low-Cost-Z-Diode**

Dioden. In Abbildung 2 ist das Kennlinienfeld bei verschiedenen einstellbaren Stabilisierungsspannungen in Abhängigkeit vom fließenden Strom aufgezeichnet.

Der Vollständigkeit halber soll an dieser Stelle noch auf einen grundsätzlichen Unterschied dieser Z-Dioden-Ersatzschaltung zu einer realen Z-Diode eingegangen werden. In Sperrichtung tritt bei Z-Dioden bei der definierten Z-Spannung der Stabilisierungseffekt auf, wie auch bei unserer kleinen Ersatzschaltung. In Durchlaßrichtung hingegen verhalten sich Z-Dioden wie ganz normale Gleichrichterioden, während unsere Ersatzschaltung in dieser umgekehrten Weise nicht betrieben werden darf. Diese Einschränkung ist jedoch nur für wenige Spezialfälle relevant, keineswegs jedoch für den Einsatz in den allgemein üblichen Stabilisierungsschaltungen.

Für den Aufbau steht eine kleine Platine mit den Abmessungen 19 mm x 23 mm zur Verfügung, deren Layout auch auf der Platinenfolie in der Ausgabe 3/90 abgedruckt ist. Die Schaltung kann daher sowohl als separater Baustein mit eigener Leiterplatte eingesetzt werden als auch in der Form, daß das Leiterbahnbild in ein bestehendes Layout integriert wird.

Die Bestückung der sechs elektronischen

**Tabelle 1:**

$U_{min} - U_{max}$	R 1	$I_{max}$
1,25 V - 2,5 V	4,7 k	200 mA
2,00 V - 5,0 V	2,2 k	100 mA
3,50 V - 10,0 V	1,0 k	50 mA
7,00 V - 20,0 V	470 Ω	25 mA

Bauelemente sowie auf Wunsch der beiden Lötstifte erfolgt in gewohnter Weise anhand des Bestückungsplanes mit anschließendem Verlöten auf der Leiterbahnseite. Je nach gewünschter Stabilisierungsspannung wird der Widerstand R 1 entsprechend der Tabelle 1 eingesetzt.

### Präzisions-Z-Diode

Für Anwendungen, in denen besonders stabile Referenzspannungen benötigt werden, wurde von ELV die in Abbildung 3 dargestellte Spannungs-Referenz-Schaltung entwickelt, die in gleicher Weise wie die zuerst beschriebene Schaltung eine Standard-Z-Diode ersetzt. Neben der Einstellbarkeit bietet diese Schaltung mehrere weitere entscheidende Vorteile, wie extrem geringen Innenwiderstand, minimale Temperaturdrift sowie einen großen Ausgangs-

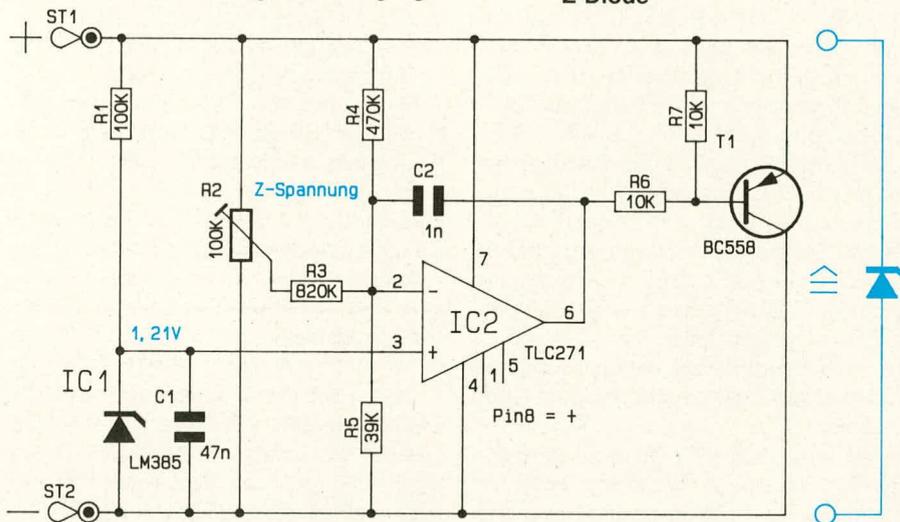
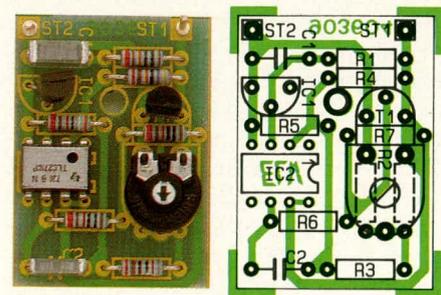


Bild 3: Schaltbild der Präzisions-Z-Diode



### Ansicht der fertig aufgebauten Platine und des Bestückungsplanes

strombereich.

An die Platinenanschlußpunkte ST 1 und ST 2 wird die zu stabilisierende Spannung angelegt. Aufgrund des Arbeitsbereiches des verwendeten Operationsverstärkers IC 2 des Typs TLC271 arbeitet die Schaltung im Bereich zwischen 4 V und 16 V. Damit werden die gebräuchlichsten Referenzspannungen gut abgedeckt.

Über den Vorwiderstand R 1 gelangt die zu stabilisierende Spannung, die gleichzei-

tig die Betriebsspannung der Schaltung darstellt, auf das Referenzelement IC 1 des Typs LM385. Der parallelgeschaltete Kondensator C 1 dient der Rauschunterdrückung. Diese Referenzspannung wird auf den nicht invertierenden (+)-Eingang (Pin 3) des IC 2 gegeben. Dem invertierenden (-)-Eingang (Pin 2) wird über den Span-

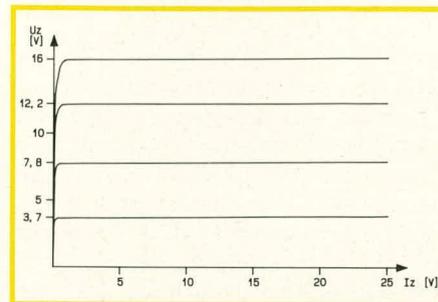


Bild 4: Kennlinienfeld der Präzisions-Z-Diode

nungsteiler R 4, R 5 ein Teil der zu stabilisierenden Spannung zugeführt, den der Operationsverstärker nun mit der an Pin 3 anstehenden Referenzspannung vergleicht.

Der Ausgang (Pin 6) steuert über R 6 den Endstufentransistor T 1 so an, daß die Eingangsspannungen des Operationsverstärkers gleich sind.

Zum besseren Verständnis wollen wir nachfolgend einen kompletten Regelzyklus besprechen. Wir nehmen hierzu an, daß sich das System zunächst in einem stabilen Gleichgewichtszustand befindet. Steigt nun aufgrund externer Störeinflüsse die zu stabilisierende Spannung an ST 1, 2 etwas an, verschiebt sich das Potential an Pin 2 des IC 2 nach oben, d. h. die Spannung an Pin 3 ist negativ gegenüber der Spannung an Pin 2. Daraufhin strebt der Ausgang (Pin 6) in Richtung niedrigerer Werte, der Strom durch R 6 wird größer, und T 1 steuert weiter durch. Dies wirkt dem Spannungsanstieg an ST 1, 2 unmittelbar entgegen, und die Schaltung befindet sich weiterhin in einem stabilen Gleichgewicht.

Aufgrund der hohen Schleifenverstärkung des Systems besitzt die Schaltung einen extrem geringen Innenwiderstand und ausgezeichnete Stabilisierungseigenschaften.

Der im Rückkopplungszweig liegende Kondensator C 2 dient der Schwingneigungsunterdrückung.

Je nach gewünschter Stabilisierungsspannung ist der Wert des Widerstandes R 5 gemäß der Tabelle 2 zu wählen. Mit dem Trimmer R 2 kann dann ein Feinabgleich der Stabilisierungsspannung vorgenommen werden. Der maximal zulässige Ausgangsstrom richtet sich im wesentlichen nach der Verlustleistung des Endstufentransistors

Tabelle 2:

$U_{min} - U_{max}$	R 5	$I_{max}$
3,7 V - 5,7 V	150 k	80 mA
5,7 V - 8,9 V	82 k	50 mA
7,8 V - 12,2 V	56 k	40 mA
10,6 V - 16,0 V	39 k	30 mA

T 1, die bei maximal 500 mW liegt. Die ungefähren Werte sind ebenfalls in Tabelle 2 zu finden.

Der Aufbau auch dieser Schaltung ist recht einfach durchführbar, zumal eine kleine Leiterplatte mit den Abmessungen 26 x 36 mm dafür bereitsteht. Die Bauelemente werden an Hand des Bestückungsplanes auf die Leiterplatte gesetzt und auf der Leiterbahnseite verlötet.

Zu beachten ist bei beiden Schaltungen, daß genau wie bei einer realen Z-Diode ein Vorwiderstand zur Strombegrenzung oder aber eine Stromquellenansteuerung erfolgen muß. Zur Rauschunterdrückung empfiehlt es sich, je nach Anwendungsfall einen Kondensator (z.B. 47 nF) oder einen Elko (z.B. 10  $\mu$ F) parallelzuschalten. **ELV**

### Stückliste: Präzisions-Z-Diode

#### Widerstände

10k $\Omega$ .....	R 6, R 7
39k $\Omega$ .....	R 5
100k $\Omega$ .....	R 1
470k $\Omega$ .....	R 4
820k $\Omega$ .....	R 3
Trimmer, liegend, PT 10,	
100k $\Omega$ .....	R 2

#### Kondensatoren

1nF .....	C 2
47nF .....	C 1

#### Halbleiter

TLC271 .....	IC 2
LM385 .....	IC 1
BC558 .....	T 1

#### Sonstiges

2 Lötstifte