

E20 Strom- und Spannungsversorgung

Grundlagen

Zum Betreiben von elektronischen Schaltungen und elektrischen Verbrauchern benötigt man oftmals Gleichstrom- oder Gleichspannungsquellen. Das Ersatzschaltbild besteht grundsätzlich aus der idealen Urspannungsquelle, welche die Urspannung U_0 liefert, und einem Innenwiderstand R_I .

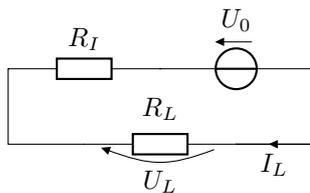


Abbildung 1: Ersatzschaltbild einer realen Spannungsquelle

Ohne Last liefert die Spannungsquelle die Leerlaufspannung U_0 . Schließt man an die Spannungsquelle die Last R_L an, erhält man die Ausgangsspannung U_L bzw. den zugehörigen Laststrom I_L

$$I_L = \frac{U_L}{R_L} = \frac{U_0}{R_I + R_L} \quad (1)$$

Je nachdem ob der Innenwiderstand klein oder groß im Vergleich zum Lastwiderstand R_L ist, ist die Änderung der Spannung bzw. des Stromes bei Änderungen des Lastwiderstandes klein, es handelt sich also um eine (Konstant) Spannungs- bzw. eine (Konstant) Stromquelle.

Um aus einer vorgegebenen Spannung U_1 eine kleinere Spannung U_2 zu erzeugen, kann man dem Verbraucher einfach einen geeigneten Widerstand in Reihe schalten. Das hat jedoch den großen Nachteil, dass sich bei einer Änderung des Lastwiderstandes die Spannung U_2 ebenfalls ändert. Besser ist die Verwendung eines Spannungsteilers.

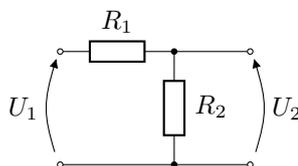


Abbildung 2: Spannungsteiler

Wird der Spannungsteiler so ausgelegt, dass der Querstrom durch ihn sehr viel größer ist als der dem Teiler vom Verbraucher entnommene Strom, ist die Ausgangsspannung konstant und proportional zur Eingangsspannung $U_2 = U_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2)$.

Für die Erzeugung einer konstanten Gleichspannung kann eine einfache passive Schaltung unter Verwendung einer Zenerdiode benutzt werden. Eine Zenerdiode verhält sich

in Durchlassrichtung wie eine gewöhnliche Diode, in Sperrrichtung erfolgt jedoch bei einer charakteristischen Spannung, der Zenerspannung, ein kontrollierter Durchbruch. Der Sperrstrom steigt sehr steil an.

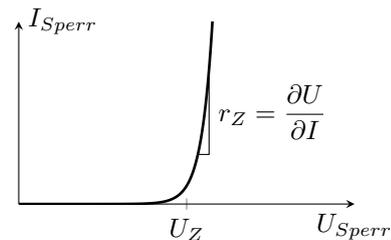


Abbildung 3: Kennlinie einer Z-Diode in Sperrrichtung

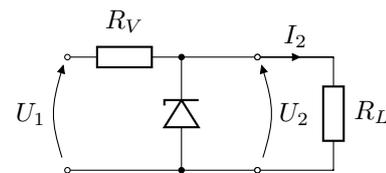


Abbildung 4: Spannungsstabilisierung-mit-Z-Diode

Die Ausgangsspannung der Stabilisierungsschaltung ist, wenn der differentielle Widerstand r_Z im Durchbruchbereich vernachlässigbar ist, nahezu identisch mit der Zenerspannung. Der Stabilisierungsfaktor d.h. das Verhältnis der Änderung von Eingangs- zu Ausgangsspannung ist indirekt proportional zu r_Z

$$\frac{\partial U_1}{\partial U_2} \approx \frac{R_V}{r_Z} \quad (2)$$

Der Innenwiderstand der Schaltung ist näherungsweise gleich r_Z . Im Leerlauf, d.h. bei $I_2 = 0$, fließt der Strom

$$I_Z = \frac{U_1 - U_2}{R_V} \quad (3)$$

durch die Z-Diode, so dass die maximale Verlustleistung

$$P_V = I_Z U_Z \quad (4)$$

in der Diode entsteht.

Eine wesentlich bessere Spannungs Konstanz kann durch elektronische Regelschaltungen erzielt werden. Aber auch bei diesen muss eine konstante Spannung, z.B. mit einer Zenerdiode stabilisiert, erzeugt werden, die als Vergleich mit der Ausgangsspannung der Regelschaltung dient. Oftmals wird die gesamte Regelschaltung in einem Festspannungsregler integriert, der nur noch eine minimale äußere Beschaltung benötigt.

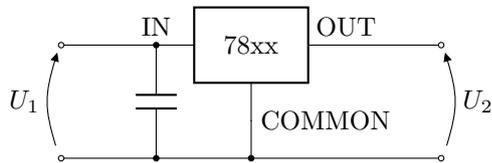


Abbildung 5: Festspannungsregler vom Typ 78xx¹

Die Spannung zwischen den Anschlüssen OUT und COMMON (Abbildung 5) wird auf einen festen Wert geregelt. Durch Verschieben des Potentials am Punkt COMMON, z.B. durch eine Zenerdiode oder einen Spannungsteiler am Ausgang der Schaltung kann die Ausgangsspannung verändert werden. Schließt man den Verbraucher über einen Widerstand R an und legt das Potential am Anschluss COMMON an den Verbraucher (Abbildung 6, erhält man eine Konstantstromquelle. Der durch den Verbraucher fließende Strom wird so groß, dass der Spannungsabfall über dem Widerstand gerade der Regelspannung des Festspannungsreglers entspricht.

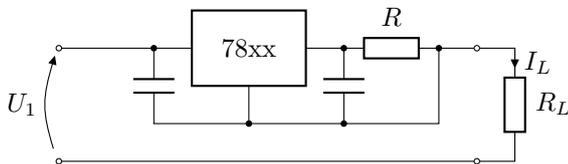


Abbildung 6: Konstantstromquelle mit Festspannungsregler

Im Festspannungsregler wird beim Ausgangsstrom I_L prinzipiell mindestens die Verlustleistung $P_V = I_L(U_1 - U_2)$ in Wärme umgesetzt. Um sie gering zu halten, muss die Spannungsdifferenz $U_1 - U_2$ gering gehalten werden, was jedoch im Allgemeinen zu einer Verschlechterung der Spannungs Konstanz führt und oftmals auch nicht praktikabel ist.

Wechselspannungen lassen sich mit Transformatoren prinzipiell ohne Verluste auf beliebige Spannungen transformieren (z. B. Netztransformator). Um eine Gleichspannung zu erhalten, muss die Wechselspannung gleichgerichtet werden. Im einfachsten Fall kann ein Einweggleichrichter, bestehend aus einer einzelnen Diode benutzt werden.

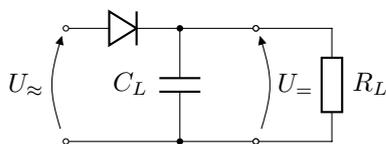


Abbildung 7: Einweggleichrichter

Diese lässt immer nur die in Durchlassrichtung der Diode liegende Halbwelle des Wechselstroms passieren. Die entstehende pulsierende Gleichspannung muss noch geglättet werden. Dazu kann ein Ladekondensator, der parallel zum Verbraucher geschaltet wird, benutzt werden. Dieser wird in jeder Periode maximal bis zur Amplitude der Wechselspannung geladen. Geht die Wechselspannung wieder zurück

kann sich der Kondensator wegen der dann in Sperrrichtung liegenden Diode nur über den Verbraucher entladen, der seinen Strom bis zum nächsten Nachladen des Kondensators aus diesem bezieht. Die Schwankungen $\Delta U_=-$ der Ausgangsspannung $U_=-$ hängen demzufolge von der Periodendauer T der Wechselspannung, dem Laststrom I_L und der Kapazität des Ladekondensators C_L ab.

$$\Delta U_=- \approx \frac{I_L T}{C_L} \quad (5)$$

Die Amplitude der der Gleichspannung überlagerten „Brummspannung“ ist gerade halb so groß, wie die Spannung $\Delta U_=-$.

Um Gleichspannungen umzusetzen, müssen diese zuvor gepulst („zerhackt“) und nach der Transformation wieder gleichgerichtet werden (Schaltnetzteil). Vorteilhaft benutzt man eine möglichst hohe Pulsfrequenz, da sowohl der notwendige Transformator als auch der Ladekondensator in der Gleichrichterschaltung klein gehalten werden können.

Versuchsvorbereitung

- reale Spannungsquelle, Anpassung
- Kennlinien von Dioden
- Spannungsteiler
- Effektiv- und Spitzenwert von Wechselspannungen
- Wie kann mit (1) der Innenwiderstand berechnet werden, wenn bei zwei verschiedenen Lasten R_{L1} und R_{L2} entweder die zugehörigen Ströme I_{L1} und I_{L2} oder die zugehörigen Spannungen U_{L1} und U_{L2} gemessen werden.
- Zeigen Sie, dass, wenn sowohl Laststrom als auch Lastspannung gemessen werden, der Innenwiderstand $R_i = \Delta U_L / \Delta I_L$ beträgt.
- Zeigen Sie die Gültigkeit der Beziehung (2). Ersetzen Sie dazu in der Schaltung Abb. (4) die Z-Diode durch eine reale Spannungsquelle mit der Ursprungspannung U_Z und dem Innenwiderstand r_Z . Berechnen Sie zunächst mit Hilfe der Kirchhoffschen Gesetze die Ausgangsspannung U_2 .
- Wie groß ist die Gleichspannung, die bei einer Einweggleichrichterschaltung ohne Last entsteht ($U_{1,eff} = 10V$)?
- Ein Generator liefert eine Wechselspannung mit einer Amplitude von $10V$ an einer Last von 50Ω . Wie groß muss die Leistung des Lastwiderstandes mindestens sein?

Aufgaben

- Messen Sie die Ausgangsspannung eines Wechselspannungsgenerators bei verschiedenen Lastwiderständen. Berechnen Sie mit (1) den Innenwiderstand des Generators.

¹Festspannungsregler vom Typ 78xx werden von vielen Herstellern angeboten. xx steht für die Ausgangsspannung. Die Bezeichnung für einen 5V Regler lautet beispielsweise LM7805. Negative Spannungen können mit Reglern vom Typ 79xx stabilisiert werden.

- Bauen Sie eine Konstantspannungsquelle und eine Konstantstromquelle (Abb. 5 bzw. Abb. 6) auf. Bestimmen Sie jeweils den Innenwiderstand.²
- Bauen Sie eine (passive) Konstantstromquelle für den Betrieb einer LED an einer Konstantspannungsquelle. Überprüfen Sie die Stromkonstanz bei Kurzschluss und beim Anschluss anderer Lasten.
- Bauen Sie mit diskreten ohmschen Widerständen einen Spannungsteiler, der die Ausgangsspannung des Generators im Verhältnis von ca. 3:1 teilt. Realisieren Sie den Spannungsteiler mit einem Potentiometer und stellen Sie das exakte Teilungsverhältnis ein. Messen Sie die Teilwiderstände des Potentiometers.
- Bauen Sie eine Spannungsstabilisierungsschaltung mit einer Z-Diode. Bestimmen Sie den Innenwiderstand und den Stabilisierungsfaktor in Abhängigkeit der Eingangsspannung.
- Bauen Sie einen Einweggleichrichter mit Ladekondensator auf. Beobachten Sie den Spannungsverlauf am Verbraucher in Abhängigkeit der Frequenz der Wechselspannung, des Laststromes und der Kapazität des Ladekondensators.

²Messen Sie dazu im Fall der Konstantstromquelle den Laststrom bei verschiedenen Lasten.