

352 - Halbleiterdiode

1. Aufgaben

- 1.1 Nehmen Sie die Kennlinie einer Si- und einer Ge-Halbleiterdiode auf.
- 1.2 Untersuchen Sie die Gleichrichtungswirkung einer Si-Halbleiterdiode.
- 1.3 Glätten Sie die Spannung einer Gleichrichterschaltung mit Hilfe eines Kondensators und untersuchen Sie die Restwelligkeit für verschiedene Lastströme.

2. Grundlagen

Stichworte:

Wechselspannung, Kondensator, Effektivwert, Gleichrichtung, Glättung

2.1 Halbleiterdiode

Halbleiterdioden sind elektrische Bauelemente mit nichtlinearer I-U-Kennlinie. Das elektrische Verhalten der Halbleiterdioden wird durch einen p-n-Übergang verursacht. Die Grundmaterialien sind überwiegend Silizium Si oder Germanium Ge. Es ergibt sich für $U > U_S$ (Schleusenspannung) ein Durchlassbereich und für $U < U_S$ ein Sperrbereich für den Diodenstrom (siehe Kennlinie in Abb. 1). Die Festlegung der Schleusenspannung erfolgt durch Anlegen einer Tangente an den Durchlassbereich. Der Schnittpunkt mit der Spannungsachse bei $I=0$ entspricht der Schleusenspannung.

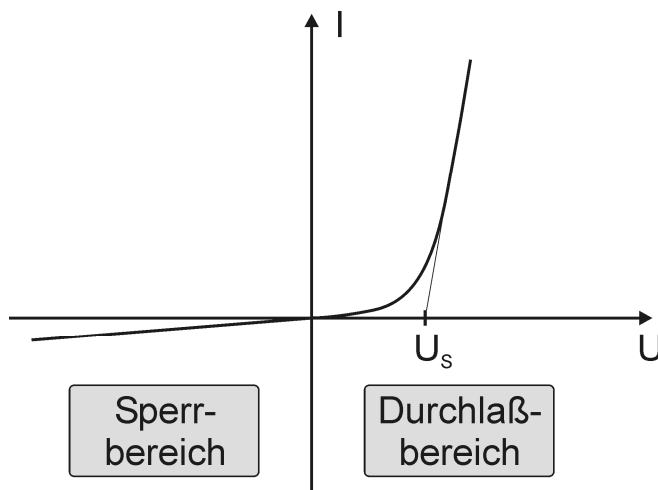


Abb. 1: Kennlinie einer Halbleiterdiode mit Schleusenspannung U_S .

Die Schleusenspannung einer Diode hängt von ihrem Halbleitermaterial ab. Typische Werte sind in Tab. 1 zusammengefasst.

Material	U_S (V)	I_S (μ A) bei 10 V
Germanium	0,1 ... 0,2	10 ... 100
Silizium	0,4 ... 0,6	0,01 ... 0,1

Tab. 1: Typische Parameter für die Schleusenspannung U_S sowie den Sperrstrom I_S einer Halbleiterdiode.

Neben diesen Daten sind die in den Datenblättern angegebenen Grenzwerte für den praktischen Einsatz wichtig. Bei Überschreiten des maximalen Durchlassstromes $I_{F,max}$ wird die Diode thermisch zerstört (*ein Vorwiderstand ist daher zwingend notwendig!*). Eine Sperrspannung, die betragsmäßig die maximale Sperrspannung $U_{R,max}$ überschreitet, führt zu einem Ladungsträgerdurchbruch und damit ebenfalls zu irreversiblen Schaden.

Der differentielle innere Widerstand (also der inverse Anstieg der I-U-Kennlinie)

$$r_i = dU/dI \approx \Delta U/\Delta I \quad (1)$$

für die ideale Diode ist 0 im Durchlassbereich und ∞ im Sperrbereich. Dagegen ist für die reale Diode der differentielle innere Widerstand r_i eine stark nichtlineare Funktion der Spannung, wie die Kennlinie zeigt. Dadurch ändert sich der Strom bei Überschreiten von U_S nicht sprunghaft, sondern steigt stetig an.

2.2 Gleichrichtung

Es gibt im Wesentlichen zwei Hauptanwendungen für Gleichrichter:

- **Netzgleichrichtung:** Erzeugung einer Gleichspannung zur Versorgung eines Gerätes aus der Netzwechselspannung. Entscheidend sind hier die verbleibende Restwelligkeit der Gleichspannung und der Wirkungsgrad.
- **Signalgleichrichtung:** Rückgewinnung einer niederfrequenten Nachricht aus einem modulierten Trägersignal (Demodulation). Wichtig sind hierbei möglichst kleine Verzerrungen. Der Wirkungsgrad ist von untergeordneter Bedeutung.

Abb. 2 zeigt den Aufbau einer Einweggleichrichtung sowie das Ausgangssignal der Schaltung. Über dem Widerstand R fällt eine pulsierende Gleichspannung $U(t)$ ab, da nur dann, wenn an der Anode der Diode die positive Halbwelle der Eingangswechselspannung anliegt, die Diode in Durchlassrichtung gepolt ist. Es fließt dann folglich ein Strom, der einen Spannungsabfall am Widerstand zur Folge hat. Während der negativen Halbwelle sperrt die Diode, es fließt kein Strom und demzufolge fällt auch keine Spannung am Widerstand ab. Da die Schwellenspannung U_S während der Durchlassphase an der Diode abfällt, sind Sperr- und Durchlasszeit nicht gleich.

Der Einsatz einer Zweiweggleichrichtung ermöglicht die Nutzung der negativen Halbwelle. Informieren Sie sich in der Literatur über deren Funktionsweise.

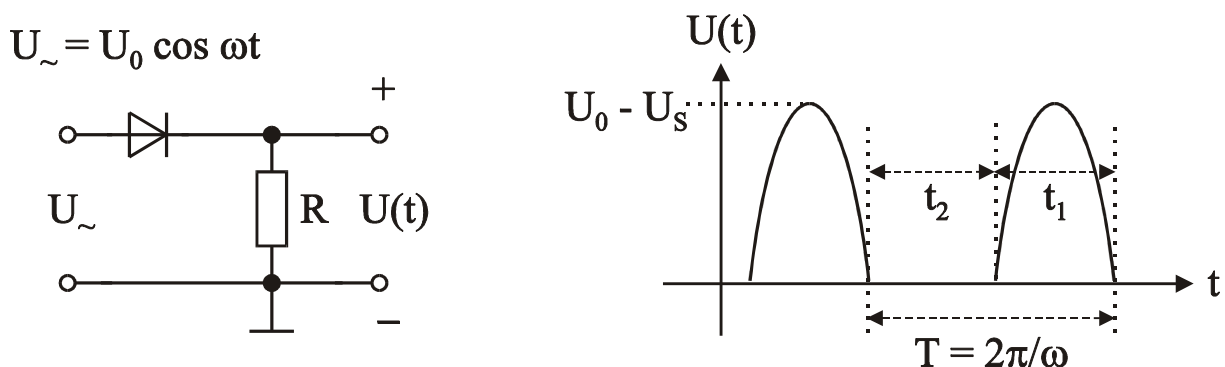


Abb. 2: Einweggleichrichtung mit Hilfe einer Halbleiterdiode.

2.3 Glättung

Abb. 3 zeigt eine Schaltung zur Glättung einer pulsierenden Gleichspannung.

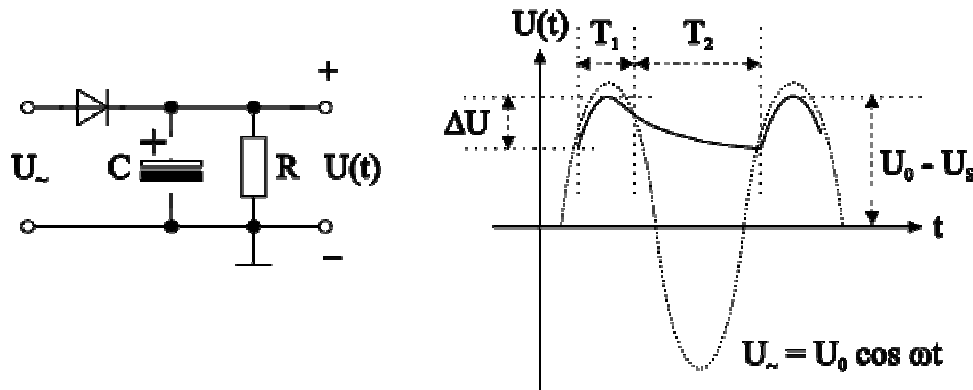


Abb. 3: An eine Einweggleichrichtung nachgeschaltete Glättungsschaltung zur Herstellung einer konstanten Gleichspannung aus einer pulsierenden Gleichspannung. ΔU stellt die Restwelligkeit der Ausgangsspannung dar.

Ziel der Gleichrichtung ist keine pulsierende Spannung, sondern eine Gleichspannung mit möglichst geringer Restwelligkeit. Durch Nachschalten eines Speicherelementes (Kondensator) in die Gleichrichterschaltung kann man deutliche Verkleinerungen der Welligkeit erreichen. Während der Zeit T_1 ist die Anode der Diode positiv gegenüber der Kathode. Dadurch fließt ein Strom durch die Diode, der den Kondensator C nahezu bis auf $U_0 - U_s$ auflädt. Während der Zeit T_2 sperrt die Diode und C entlädt sich über den Widerstand R . Um eine Abschätzung für ΔU zu erhalten, kann man vom Entladestrom des Kondensators als $I = C \cdot (dU/dt)$ ausgehen. Daraus ergibt sich $\Delta U \approx \Delta t \cdot (I/C)$. Unter der Voraussetzung, dass die Entladezeitkonstante $\tau = RC \gg T$ ist, kann man näherungsweise mit einem konstanten Entladestrom $I = (U_0 - U_s)/R$ rechnen. Im praktischen Fall ist die Stromflusszeit $T_1 \ll T$. Damit gilt näherungsweise für die Entladezeit $\Delta t \approx T (= 1/f)$. Insgesamt ergibt sich damit für die Welligkeit:

$$\Delta U \approx \frac{I}{C \cdot f} = \frac{(U_0 - U_s)}{R \cdot C \cdot f} = \frac{(U_0 - U_s)}{\tau \cdot f} \quad (2)$$

3. Versuchsdurchführung

- 3.1 Bauen Sie eine Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie einer Halbleiterdiode nach Abb. 4 auf. Bestimmen Sie die I-U-Kennlinie einer Si- und einer Ge-Diode. Variieren Sie dabei die Eingangsspannung U_E in einem Bereich von -10 bis +10 V. Messen Sie den Strom, der durch die Diode fließt sowie die an ihr abfallende Spannung. Stellen Sie die Kennlinien graphisch dar und zeichnen Sie charakteristische Größen ein.

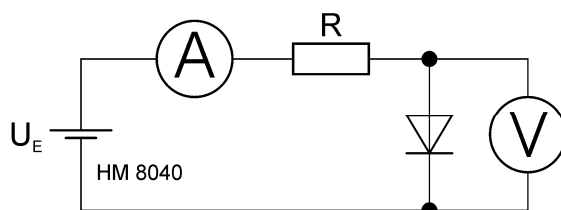


Abb. 4: Schaltung zur Aufnahme der I-U-Kennlinie einer Halbleiterdiode ($R = 1 \text{ k}\Omega$).

Wiederholen Sie die Kennlinienaufnahme mit der in Abb. 5 dargestellten Messschaltung. Die angelegte Eingangsspannung wird hier durch eine Wechselspannung ersetzt. Die Spannung an der Diode sowie der durch sie fließende Strom (als Spannungsabfall an $R \sim 1 \dots 10 \text{ k}\Omega$) werden durch ein Oszilloskop im x-y-Betrieb angezeigt. Die Kennlinie wird dadurch sehr schnell aufgezeichnet. Nehmen Sie die Kennlinien der Si- und Ge-Dioden erneut auf und speichern Sie die Daten mit Hilfe des Oszilloskops ab. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den zuvor manuell aufgenommenen Kennlinien.

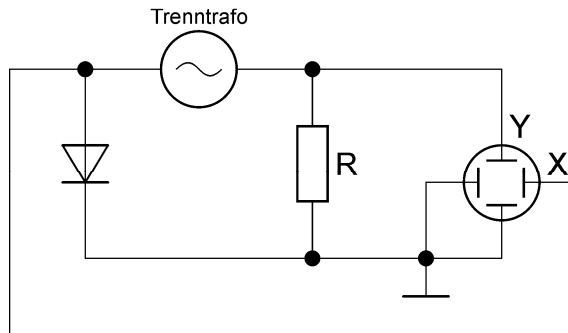


Abb. 5: Schaltung zur automatischen Aufnahme der I-U-Kennlinie einer Halbleiterdiode.

Diskutieren Sie in der Auswertung die Notwendigkeit des Trenntrafos. Warum kann man ihn nicht durch den Hameg Frequenzgenerator ersetzen?

- 3.2 Bauen Sie eine Einweggleichrichtung nach Abb. 6 auf. Stellen Sie an einem Oszilloskop im Zweikanalbetrieb die Eingangs- sowie die Ausgangsspannung gleichzeitig dar. Verwenden Sie eine sinusförmige Eingangsspannung aus dem Trenntransformator mit einer Amplitude von ca. 5 V. Speichern Sie die Messdaten am Oszilloskop ab und plotten Sie die beiden Kurven in einem Diagramm. Zeichnen Sie charakteristische Größen (Durchlass-/Sperrzeit, Schleusenspannung) ein und vergleichen Sie diese mit typischen Bauteilparametern. Versuchen Sie, den Sperrstrom der Si-Diode zu messen. Vergleichen Sie die Angaben mit dem Datenblatt.

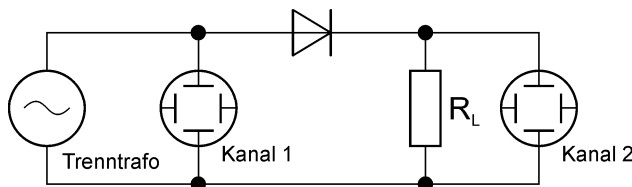


Abb. 6: Messschaltung zur Einweggleichrichtung. Benutzen Sie einen $10 \text{ k}\Omega$ Widerstand als Lastwiderstand.

Zusatz: Bauen Sie eine Zweiweggleichrichtung (Graetzgleichrichter) auf und zeichnen Sie die Eingangs- sowie Ausgangsspannung auf.

- 3.3 Schließen Sie nun an die Gleichrichterschaltung einen Kondensator C zur Glättung an (siehe Abb. 7). Verwenden Sie eine sinusförmige Wechselspannung aus dem Trenntransformator mit einer Amplitude von ca. 5 V als Eingangsspannung. Bestimmen Sie die Restwelligkeit der Spannung am Ausgang für jeweils $C=4.7 \mu\text{F}$ und einen Lastwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ und $10 \text{ k}\Omega$. Wiederholen Sie die Messung für einen Kondensator mit $47 \mu\text{F}$. Diskutieren Sie die erhaltenen Ergebnisse. Speichern Sie die entsprechenden Kurvenverläufe am Oszilloskop für ihr Protokoll ab.

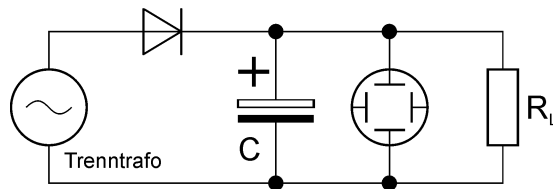


Abb. 7: Schaltung zur Untersuchung der Glättungswirkung.

Literatur:

- H. Hinsch, *Elektronik: Ein Werkzeug für Naturwissenschaftler*, Springer Berlin 1996.
C. Gerthsen, D. Meschede, *Gerthsen Physik*, Springer Berlin 2010.
W. Demtröder, *Experimentalphysik 2 – Elektrizität und Optik*, Springer Berlin 2004.
E. Philippow, *Grundlagen der Elektrotechnik*, Verlag Technik Berlin 2000.
S. Hunklinger, *Festkörperphysik*, Oldenbourg Verlag München 2007.
U. Tietze, C. Schenk, E. Gamm, *Halbleiter-Schaltungstechnik*, Springer Berlin 2009.