

## 352 – Halbleiterdiode

### 1 Aufgaben

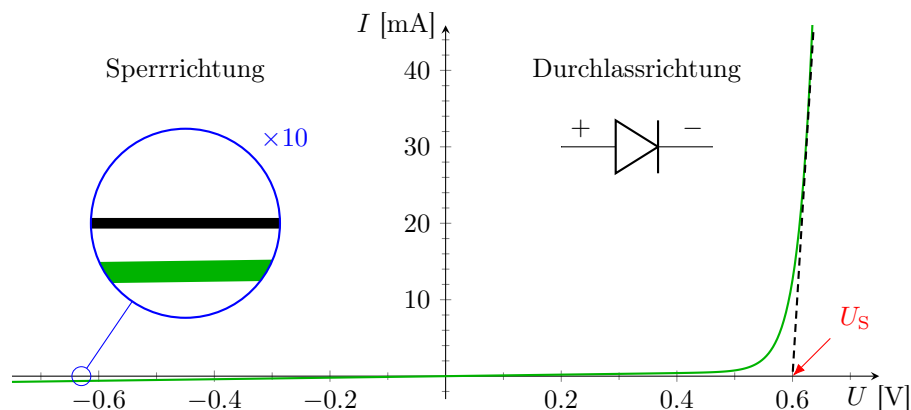
1. Nehmen Sie die Kennlinie einer Si- und einer Ge-Halbleiterdiode auf.
2. Untersuchen Sie die Gleichrichtungswirkung einer Si-Halbleiterdiode.
3. Glätten Sie die Spannung einer Gleichrichterschaltung mithilfe eines Kondensators und untersuchen Sie die Restwelligkeit für verschiedene Lastströme.

### 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 pn-Übergang verursacht. Die Grundmaterialien sind meistens Silizium oder Germanium. Für  $U > U_S$  fließt Strom (Durchlassbereich), für  $U < U_S$  fließt fast kein Strom (Sperrbereich), siehe Kennlinie in Abb. 1. Die Festlegung der Schleusenspannung  $U_S$  erfolgt durch Anlegen einer Tangente an den Durchlassbereich. Der Schnittpunkt mit der Spannungsachse bei  $I = 0$  entspricht der Schleusenspannung.



**Abbildung 1:** Typische Diodenkennlinie (schematisch). Durchlassrichtung: Der Schnittpunkt der linearen Extrapolation (gestrichelte Linie) der steil ansteigenden Kennlinie mit der Spannungsachse liefert die Schleusenspannung  $U_S$ . Sperrrichtung: Auch hier fließt ein Strom, wenn auch ein sehr kleiner (wie die Vergrößerung zeigt).

**Tabelle 1:** Typische Schleusenspannungen  $U_S$  sowie Sperrströme  $I_S$  von Halbleiterdioden.

Material	$U_S$ [V]	$I_S$ [ $\mu$ A] bei $-10$ V
Germanium	0.2 ... 0.3	10 ... 100
Silizium	0.5 ... 0.7	0.01 ... 0.1

Die Schleusenspannung einer Diode hängt von ihrem Halbleitermaterial ab. Ungefähre Richtwerte sind in Tab. 1 zusammengefasst. Neben diesen Parametern sind die in den Datenblättern angegebenen Grenzwerte für den praktischen Einsatz wichtig. Bei Überschreiten des maximalen Durchlassstromes wird die Diode thermisch zerstört, **ein Vorwiderstand ist daher zwingend notwendig!** Eine Sperrspannung, die betragsmäßig die maximale Sperrspannung überschreitet, führt zu einem Ladungsträgerdurchbruch und damit zu einem lawinenartig ansteigenden Strom, was ebenfalls irreversible Schäden verursacht.

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

$$r = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} \tag{1}$$

für die *ideale* Diode ist 0 im Durchlassbereich und  $\infty$  im Sperrbereich. Dagegen ist für die *reale* Diode der differentielle innere Widerstand  $r$  eine stark nichtlineare Funktion der Spannung, wie die  $I(U)$ -Kennlinie in Abb. 1 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 (Demodulation) einer niederfrequenten Information (Signal) aus einer hochfrequenten, modulierten Trägerschwingung. Wichtig sind hierbei möglichst kleine Verzerrungen. Der Wirkungsgrad ist von untergeordneter Bedeutung.

Abbildung 2 zeigt eine Einweggleichrichtung mittels Diodenschaltung. Über dem Widerstand  $R$  fällt eine pulsierende Gleichspannung  $U(t)$  ab, da die Diode nur dann in Durchlassrichtung gepolt ist, wenn an der Anode der Diode die positive Halbwelle der Eingangswchselspannung anliegt. 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 Schleusenspannung  $U_S$  während der Durchlassphase an der Diode abfällt, sind Sperr- und Durchlasszeit nicht gleich.

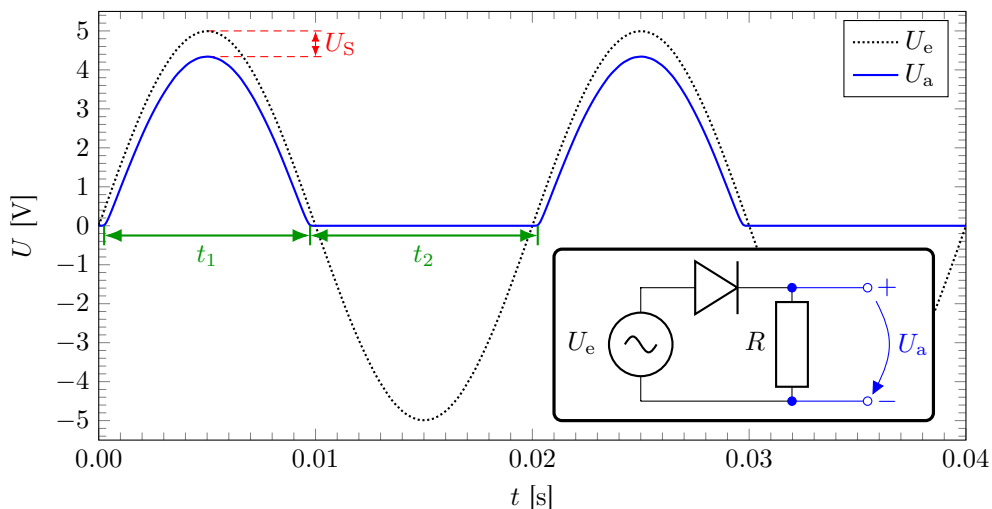
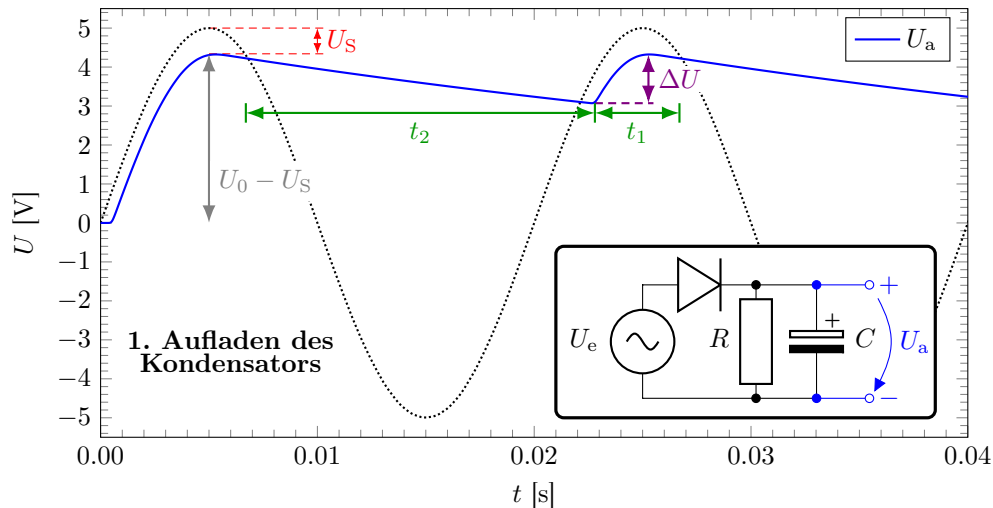


Abbildung 2: Einweggleichrichtung mittels Diode. Periodendauer:  $T = t_1 + t_2$ , wobei  $t_2 > t_1$ .

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

## 2.3 Glättung

Das Ziel der Netzgleichrichtung ist nicht etwa eine pulsierende Spannung, sondern eine Gleichspannung mit möglichst geringer Restwelligkeit. Durch Nachschalten eines Speicherelementes (Kondensator) in die Gleichrichterschaltung kann man deutliche Verkleinerungen der Welligkeit erreichen. Abbildung 3 zeigt eine Schaltung zur Glättung einer pulsierenden Gleichspannung.



**Abbildung 3:** Einweggleichrichtung mittels Diode und anschließende Glättung mittels Kondensator (hier: Elko) zur Herstellung einer konstanten Gleichspannung aus einer pulsierenden Gleichspannung.  $\Delta U$  ist die Restwelligkeit der Ausgangsspannung.

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 der Kondensator  $C$  entlädt sich über den Widerstand  $R$ . Um eine Abschätzung für  $\Delta U$  zu erhalten, kann man vom Entladestrom des Kondensators als

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \quad (2)$$

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:

$$\Delta U \approx \frac{I}{C \cdot f} = \frac{U_0 - U_S}{R \cdot C \cdot f} = \frac{U_0 - U_S}{\tau \cdot f} \quad (3)$$

## 3 Versuchsdurchführung

🔗 Messen Sie alle verwendeten Widerstände und Kondensatoren mit einer Messbrücke.

1. Bauen Sie eine Schaltung zur Aufnahme der Kennlinie einer Halbleiterdiode nach Abb. 4 auf. Bestimmen Sie die  $I(U)$ -Kennlinie einer Si-Diode und einer Ge-Diode. Variieren Sie dabei die Eingangsspannung in einem Bereich von  $-10\text{ V}$  bis  $+10\text{ V}$ . 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.

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  $R = 1\text{ k}\Omega$ )

werden durch ein Oszilloskop im XY-Betrieb angezeigt. Nehmen Sie die Kennlinien der Si- und Ge-Dioden erneut auf und speichern Sie die Daten mithilfe des Oszilloskops ab. Tragen Sie ebenfalls die  $I(U)$ -Kennlinien auf. Rechnen Sie dazu den  $U_R$  Wert in den Strom  $I$  um. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den zuvor manuell aufgenommenen Kennlinien.

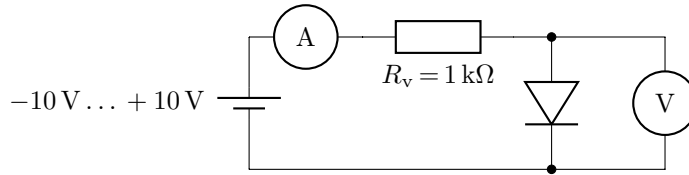


Abbildung 4: Schaltung zur Aufnahme der  $I(U)$ -Kennlinie einer Diode ( $R_v = 1\text{ k}\Omega$  beachten!).

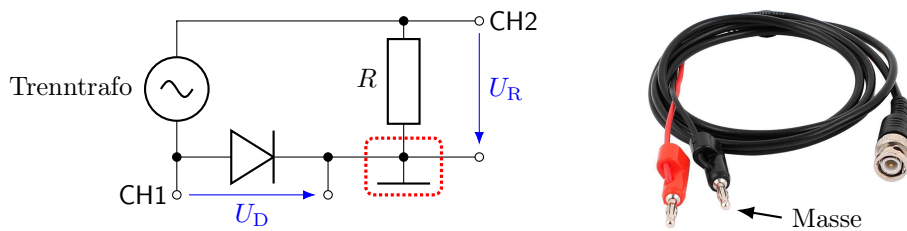


Abbildung 5: Schaltung zur Aufnahme der  $I(U)$ -Kennlinie einer Diode mit dem Zweikanal-Oszilloskop HM1508 im Modus „XY“ ( $X = \text{CH1}$ ,  $Y = \text{CH2}$ ,  $R = 1\text{ k}\Omega$ ). **⚠ Achten Sie auf den Masseanschluss  $\perp$  und die Polung der BNC-Bananenstecker-Kabel!**

🗨 Diskutieren Sie in der Auswertung die Notwendigkeit des Trenntrafos. Warum kann man ihn nicht durch einen Frequenzgenerator mit BNC-Anschlüssen ersetzen?

- Bauen Sie eine Einweggleichrichtung nach Abb. 6 ohne Kondensator auf. Stellen Sie am Zweikanal-Oszilloskop HM1508 im Modus „DUAL“ die Eingangs- sowie die Ausgangsspannung gleichzeitig dar. Verwenden Sie eine sinusförmige Eingangsspannung mit einer Amplitude von 3 V sowie einer Frequenz im Bereich von 50 bis 100 Hz. Benutzen Sie hier  $R = 10\text{ k}\Omega$ . Speichern Sie die Messdaten am Oszilloskop ab und plotten Sie die beiden Kurven in einem Diagramm. Zeichnen Sie Durchlasszeit  $t_1$ , Sperrzeit  $t_2$  und Schleusenspannung  $U_S$  ein. Versuchen Sie, den Sperrstrom  $I_S$  der Ge-Diode sowie der Si-Diode zu messen. Vergleichen Sie Ihre Messwerte  $U_S$  und  $I_S$  mit Angaben aus dem Datenblatt.
- Schließen Sie nun an die Gleichrichterschaltung in Abb. 6 einen Kondensator zur Glättung an. Verwenden Sie die gleiche Eingangsspannung wie in Aufgabe 2. Bestimmen Sie die Restwelligkeit der Ausgangsspannung für jeweils  $C = 4.7\text{ }\mu\text{F}$  und  $47\text{ }\mu\text{F}$  sowie einen Lastwiderstand von  $R = 1\text{ k}\Omega$  und  $10\text{ k}\Omega$  (also 4 verschiedene Kombinationen). Speichern Sie alle Kurvenverläufe am Oszilloskop für Ihr Protokoll ab und diskutieren Sie die Ergebnisse.

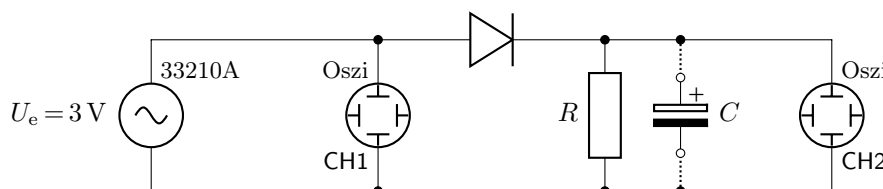


Abbildung 6: Einweggleichrichtung mit optionaler Glättung durch einen Kondensator (Elko). Probieren Sie für den Kanal CH2 auch die AC-Kopplung aus und stellen Sie die Verstärkung so ein, dass Sie die Restwelligkeit bestmöglich messen können.