

## 352 – Halbleiterdiode

### 1 Aufgaben

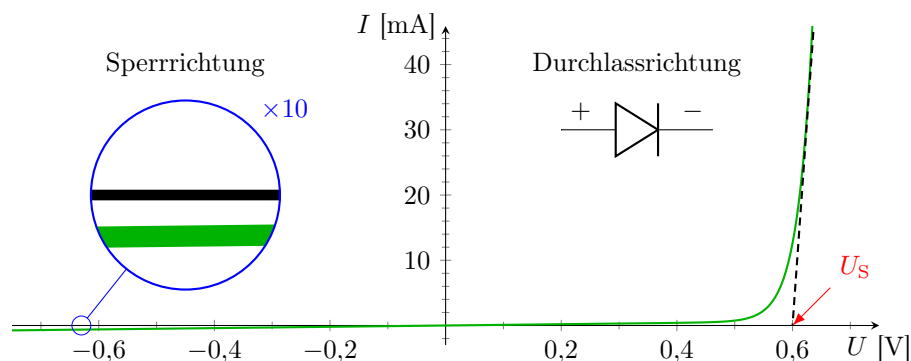
1. Nehmen Sie die Kennlinie einer Si- und einer Ge-Halbleiterdiode auf.
2. Untersuchen Sie die Gleichrichtungswirkung einer Si-Halbleiterdiode.
3. Glätten Sie die Spannung einer Gleichrichterschaltung mithilfe eines Kondensators und untersuchen Sie die Restwelligkeit für verschiedene Lastströme.

### 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 Schleienspannung  $U_S$  erfolgt durch Anlegen einer Tangente an den Durchlassbereich. Deren Schnittpunkt mit der Spannungsachse bei  $I = 0$  entspricht der Schleienspannung.



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

**Tabelle 1:** Typische Schleienspannungen  $U_S$  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 Schleienspannung einer Diode (Richtwerte in Tab. 1 zusammengefasst) hängt von ihrem Halbleitermaterial ab. Zusätzlich 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 (inverser Anstieg der  $I(U)$ -Kennlinie)

$$r = \frac{dU}{dI} \approx \frac{\Delta U}{\Delta I} \quad (1)$$

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 zwei wesentliche Hauptanwendungen für Gleichrichter: (1) **Netzgleichrichtung** = Erzeugung einer Gleichspannung zur Versorgung eines Gerätes aus der Netzwechselspannung. Entscheidend sind hier die verbleibende Restwelligkeit der Gleichspannung und der Wirkungsgrad. (2) **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 Durchlasszeit ( $t_1$ ) und Sperrzeit ( $t_2$ ) nicht gleich.

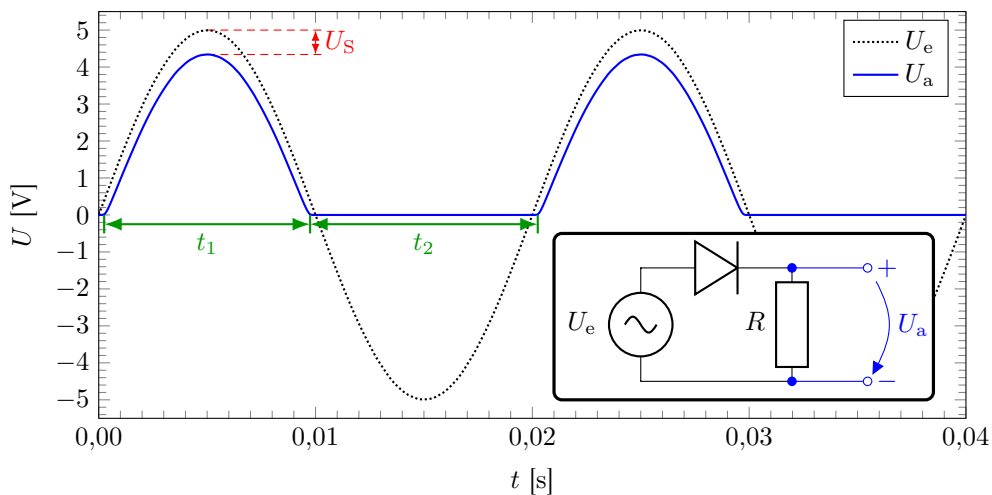


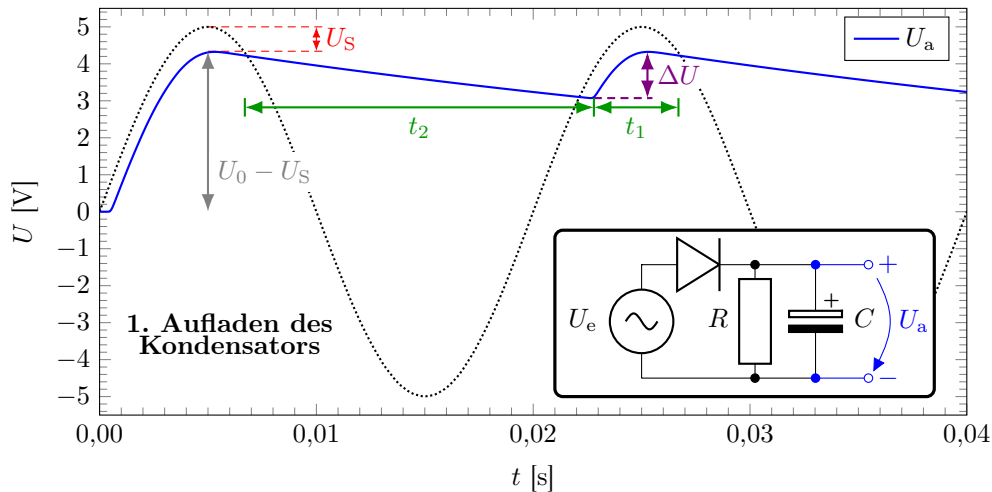
Abbildung 2: Einweggleichrichtung mittels Diode. Periodendauer:  $T = t_1 + t_2$ , wobei  $t_2 > t_1$ .

☞ 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

$$I = C \cdot \frac{dU}{dt} \tag{2}$$

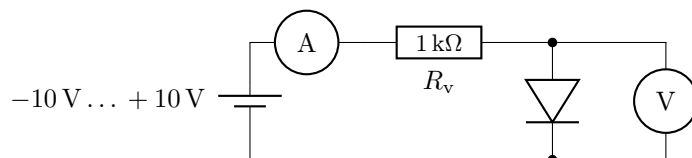
ausgehen. Daraus ergibt sich  $\Delta U \approx \Delta t \cdot (I/C)$ . Unter der Voraussetzung, dass die Entladezeitkonstante  $\tau = RC \gg T$  ist, kann man näherungsweise mit einem konstanten Entladestrom  $I = (U_0 - U_S)/R$  rechnen. Im praktischen Fall ist die Stromflusszeit  $t_1 \ll T$ . Damit gilt näherungsweise für die Entladezeit  $\Delta t \approx T = 1/f$ . Insgesamt ergibt sich damit für die Welligkeit:

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

### 3 Versuchsdurchführung

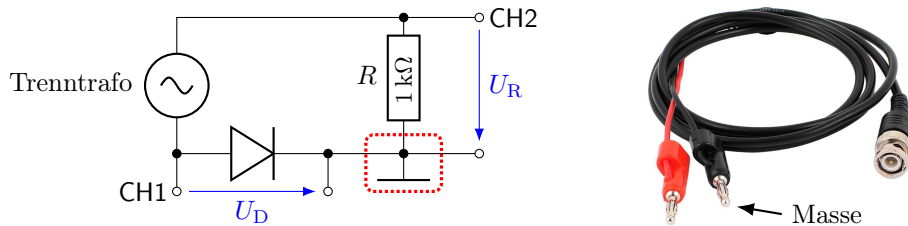
**🔗 Messen Sie alle verwendeten Widerstände und Kondensatoren mit einer Messbrücke.**

1. Bauen Sie die Schaltung in Abb. 4 auf. Bestimmen Sie die  $I(U)$ -Kennlinie einer Si-Diode sowie einer Ge-Diode. Variieren Sie dabei die Eingangsspannung 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.



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

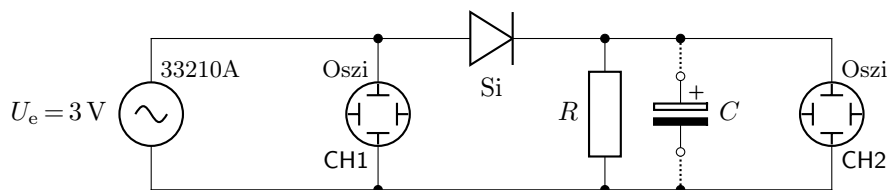
Wiederholen Sie die Kennlinienaufnahme mit der in Abb. 5 dargestellten Messschaltung. Die angelegte Eingangsspannung wird hier durch eine Wechselfspannung ersetzt. Die Spannung an der Diode sowie der durch sie fließende Strom (als Spannungsabfall an  $R = 1\text{ k}\Omega$ ) werden durch ein Zweikanal-Oszilloskop im XY-Betrieb angezeigt. Testen Sie Ihren Aufbau mit dem Hameg HM1508, nutzen Sie für die Messung aber das Rohde & Schwarz RTB2004. Nehmen Sie damit die Kennlinien der Si- und Ge-Dioden auf und speichern Sie die Daten ab (Action  $\rightarrow$  Save/Load  $\rightarrow$  Waveforms [CSV] sowie Screenshots [PNG]). Stellen Sie ebenfalls die  $I(U)$ -Kennlinien dar. Rechnen Sie dazu den  $U_R$  Wert in den Strom  $I$  um. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit den zuvor manuell aufgenommenen Kennlinien.



**Abbildung 5:** Schaltung zur Aufnahme der  $I(U)$ -Kennlinie einer Diode mit dem Oszilloskop HM1508 bzw. RTB2004 im Modus „XY“ (X: CH1, Y: 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 zunächst ohne Kondensator auf. Stellen Sie am Zweikanal-Oszilloskop Hameg HM1508 im Modus „DUAL“ die Eingangs- und die Ausgangsspannung gleichzeitig dar. Verwenden Sie eine sinusförmige Eingangsspannung mit einer Amplitude von 3 V sowie einer Frequenz von 50 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 Si-Diode im Oszi bild darzustellen und zu messen. Tauschen Sie die Si-Diode durch die Ge-Diode aus und wiederholen Sie Ihre Messung. Vergleichen Sie Ihre Messwerte  $U_S$  und  $I_S$  mit den Angaben aus dem Datenblatt.
- Wiederholen Sie Aufgabe 2 jetzt mit Kondensator. Bestimmen Sie die Restwelligkeit der Ausgangsspannung jeweils für Kapazitäten von  $C = 4,7\text{ }\mu\text{F}$  und  $47\text{ }\mu\text{F}$  sowie für Widerstände 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. Vergleichen Sie die gemessene Restwelligkeit mit dem nach Gleichung (3) berechneten  $\Delta U$  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.