

Elektronische Schaltungen SS 2022

2. Tutoriumsblatt

Dioden

Infos zur Abgabe

Abgabefrist: **29.05.2022** online über Ilias

Abzugebende Aufgaben: **Aufgabe 1** (Handschriftlich, eingescannt als .pdf)

Aufgabe 5 (Separate .pdf mit Screenshots + kurzer Beschreibung)

– Teil I: Rechenaufgaben –

Aufgabe 1 (Groß- und Kleinsignalanalyse)

a) Im Folgenden sind verschiedene Diodenschaltungen gegeben (Abbildung 1), wobei alle Diodentypen als ideal betrachtet werden können. Es werden Si-Dioden mit einer Durchbruchsspannung von $U_{Br} = 100\text{ V}$ und einer Flussspannung von $U_F = 0,8\text{ V}$ verwendet. Die Z-Dioden besitzen eine Zenerspannung von $U_Z = 4,5\text{ V}$ und eine Flussspannung von $U_F = 0,7\text{ V}$. Zeichnen Sie die I-U Kennlinie der Schaltungen. Achten Sie auf korrekte Beschriftung der Achsen.

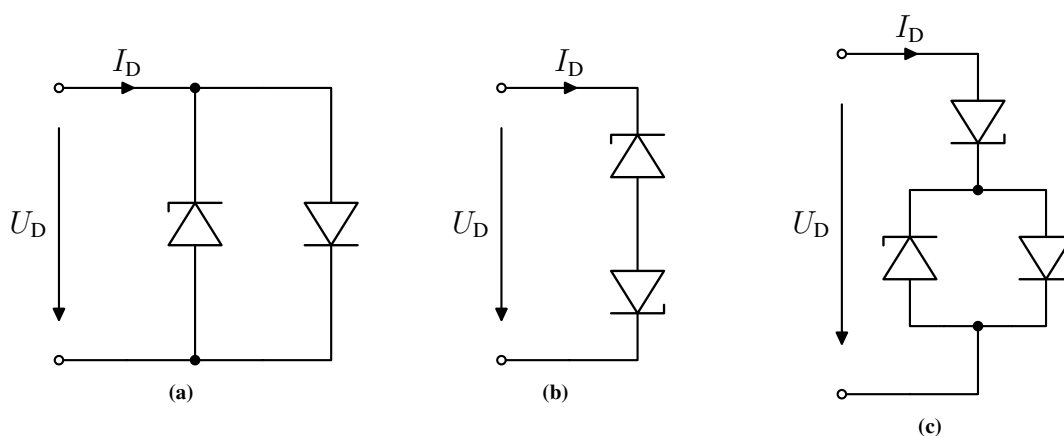


Abbildung 1: Diodenschaltungen.

b) Es ist die Schaltung in Abbildung 2 gegeben. Die Wechselspannung beträgt $u_e(t) = 2 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$, wobei für die Frequenz $f = 100 \text{ Hz}$ gilt. Es wird eine ideale Diode genutzt, die eine Flussspannung von $U_F = 0,7 \text{ V}$ und einen Sperrstrom von $I_S = 5 \text{ fA}$ besitzt. Die Temperaturspannung kann zu $U_T = 26 \text{ mV}$ angenommen werden.

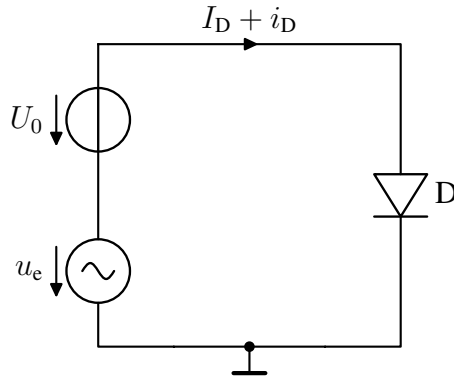


Abbildung 2: Einfache Diodenschaltung.

Berechnen Sie jeweils den zeitlichen Verlauf des Stroms $i_D(t)$ für (1) $U_0 = 0,1 \text{ V}$, (2) $U_0 = 0,7 \text{ V}$ und (3) $U_0 = 0,8 \text{ V}$. Geben Sie die Ströme in mA an. Skizzieren Sie ebenfalls vier Perioden des Stroms $i_D(t)$ für alle drei Fälle. Achten Sie auf korrekte Beschriftung der Achsen. Es können die Kleinsignalnäherungen angenommen werden.

Aufgabe 2 (Modelle der Diode)

- a) Eine ideale Diode wird in einem Arbeitspunkt von $I_{D,AP} = 1 \text{ mA}$ betrieben. Um welchen Wert ändert sich der Strom, wenn die angelegte Spannung um (1) 5 mV, (2) 10 mV und (3) 100 mV geändert wird. Nutzen Sie zur Berechnung sowohl das Kleinsignalmodell als auch das exponentielle Modell. Was fällt Ihnen auf?
- b) Ein Spannungsnetzteil liefert eine Versorgungsspannung U_0 von 5 V, die durch Netzstörungen von einer 60 Hz Sinusspannung mit einer Amplitude von 0,5 V überlagert wird. Ein nachgeschalteter Verbraucher benötigt eine möglichst konstante Eingangsspannung von 2,7 V. Zur Realisierung stehen Ihnen die beiden Schaltungen aus Abbildung 3 zur Verfügung. Die Widerstände betragen $R_1 = 3 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 3,52 \text{ k}\Omega$. Die Dioden werden im Arbeitspunkt von $U_{D,AP} = 0,9 \text{ V}$ betrieben. Nehmen Sie an, dass die Umgebungstemperatur konstant ist.

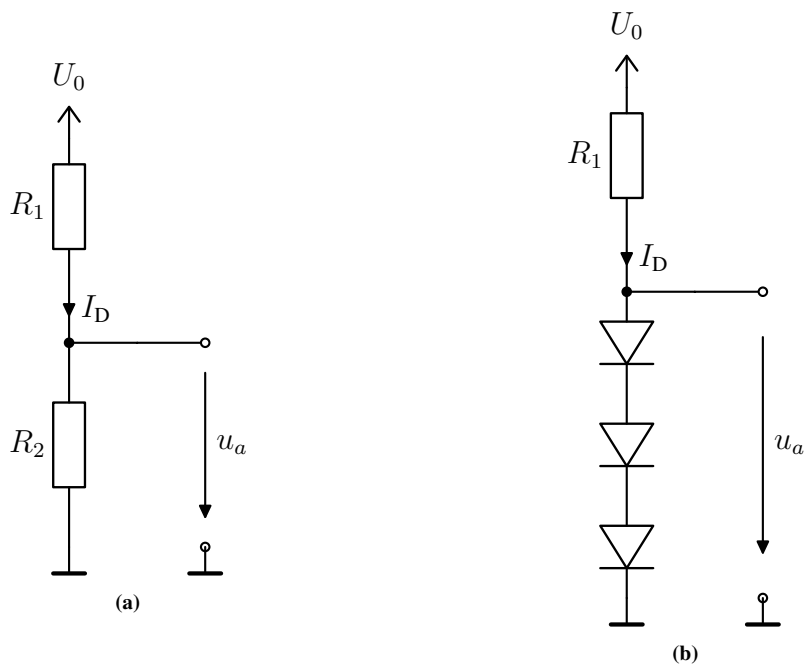


Abbildung 3

Welche der beiden Schaltungen würden Sie zur Versorgung der Last nutzen? Berechnen Sie hierfür, wie stark u_a variiert. Nehmen Sie an, dass das Kleinsignalmodell gültig ist.

Aufgabe 3 (Gleichrichterschaltung)

Teil 1:

In Abbildung 4 ist ein Halbwellen-Gleichrichter ohne Filter gegeben. Nutzen Sie für diese Aufgabe das Diodenmodell mit konstantem Spannungsabfall. Die Flussspannung der Diode beträgt $U_F = 0,7 \text{ V}$.

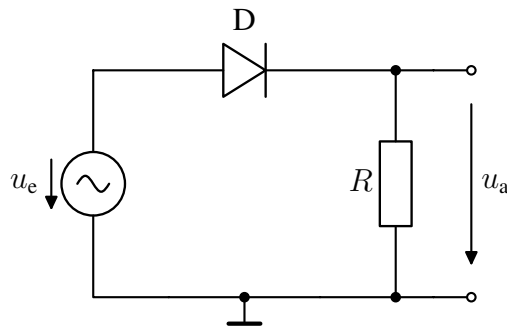


Abbildung 4: Halbwellen-Gleichrichter.

- a) Der zeitliche Verlauf der Eingangsspannung $u_e(t) = 1,6 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 60 \text{ Hz} \cdot t)$ ist in Abbildung 5 gezeigt. Skizzieren Sie in diese Abbildung ebenfalls den zeitlichen Verlauf der Ausgangsspannung $u_a(t)$. Überlegen Sie sich hierfür charakteristische Punkte und verbinden Sie diese dann als Kurve (Ab welcher Spannung fließt Strom durch den Widerstand bzw. was ist das Maximum der Ausgangsspannung).

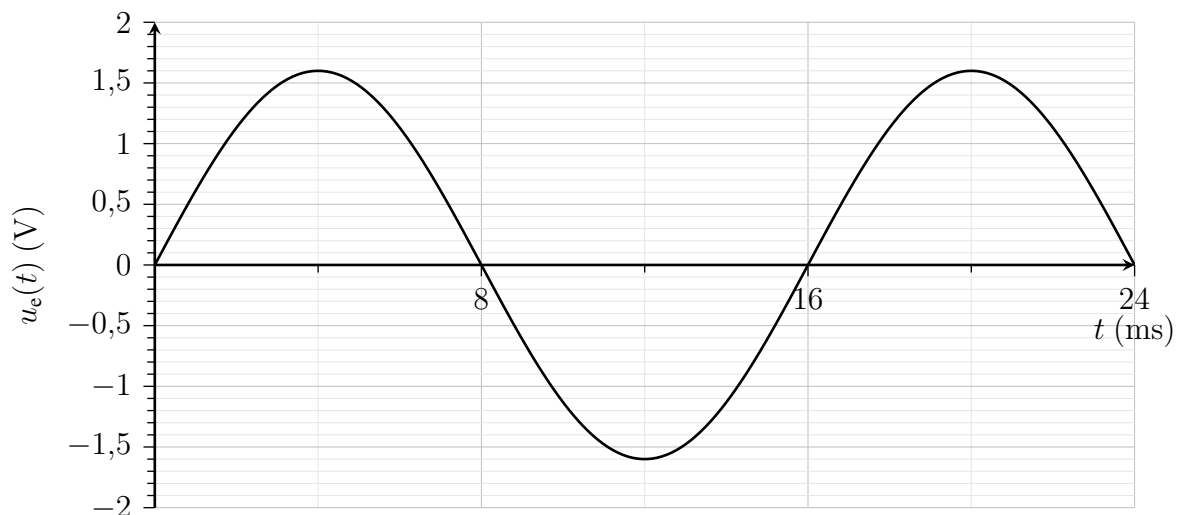


Abbildung 5: Zeitlicher Verlauf von $u_e(t)$.

Teil 2:

Nun wird der Halbwellen-Gleichrichter mit der Kapazität C erweitert, siehe Abbildung 6. Nutzen Sie wieder das Diodenmodell mit konstantem Spannungsabfall. Gehen Sie davon aus, dass der Kondensator zum Zeitpunkt $t = 0$ entladen ist.

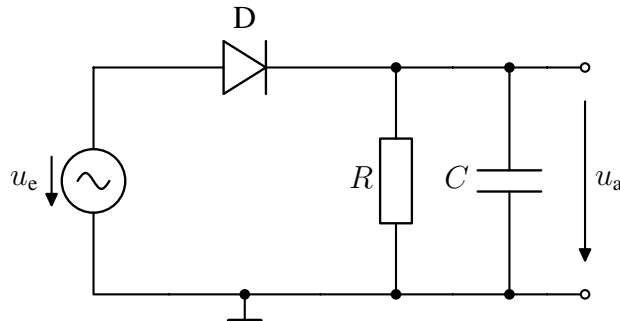


Abbildung 6: Halbwellengleichrichter mit Kapazität.

- b) Zeichnen Sie erneut die Ausgangsspannung $u_a(t)$ in Abbildung 5 ein. Nehmen Sie an, dass die Restwelligkeit $U_{\sim} = 0,4 \text{ V}$ beträgt. Markieren Sie im Diagramm die Bereiche, bei welchen die Diode leitet und sperrt.
- c) Beschreiben Sie kurz in Worten, wie sich die Schaltung im Zeitbereich verhält. Welche Funktion erfüllt die Kapazität?
- d) Zeigen Sie, dass für die Restwelligkeit der Schaltung die folgende Gleichung gilt: $U_{\sim} = \frac{U_p}{fCR}$, wobei die Spannung U_p den Maximalwert der Ausgangsspannung beschreibt. Nehmen Sie hierfür an, dass die Aufladezeit vernachlässigt werden kann und die Periodendauer klein gegenüber der Zeitkonstante ist ($T \ll CR$).
- Hinweis:* Nutzen Sie die Vorlesungsfolien zur Herleitung der Formel. Mit der Näherung $T \ll CR$ vereinfacht sich $e^{-T/(CR)}$ zu $1 - T/(CR)$.
- e) Wie groß muss die Kapazität C gewählt werden, damit $U_{\sim} = 0,01 \text{ V}$ beträgt? Der Widerstand beträgt $R = 10 \text{ M}\Omega$.
- f) Mit welcher Schaltung kann eine geringere Restwelligkeit erreicht werden? Geben Sie auch hier die Formel für $U_{\sim}$ an.

Aufgabe 4 (Spannungsstabilisierung)

Ein Sensor benötigt eine Betriebsspannung von $U_L = 5,1 \text{ V}$ und hat eine Stromaufnahme von $I_L = 10 \text{ mA}$. Ihnen steht eine Spannungsquelle von $U_0 = 12 \text{ V}$ zur Verfügung, an welche der Sensor angeschlossen werden soll.

a) Wie kann eine möglichst einfache Schaltung aussehen, mit der der Sensor betrieben werden kann? Zeichnen Sie die Schaltung (zeichnen Sie den Sensor vereinfacht als Widerstand), berechnen Sie die benötigten Bauteilgrößen.

Nun variiert die Stromaufnahme I_L des Sensors, sodass dieser vereinfacht als variable ohmsche Last zwischen 545Ω und $1,13 \text{ k}\Omega$ modelliert werden kann.

b) Berechnen Sie die Variation der Spannung ΔU_L für Ihre Schaltung aus Teilaufgabe a) und berechnen Sie die Verlustleistung der eingesetzten Komponenten bei einem mittleren Lastwiderstand ($\bar{R}_L = 837,5 \Omega$).

c) Zur Spannungsstabilisierung wird nun der in Abbildung 7 gezeigte Spannungsteiler verwendet. Berechnen Sie die Variation der Spannung ΔU_L für $R_1 = 39 \Omega$ und $R_2 = 30 \Omega$.

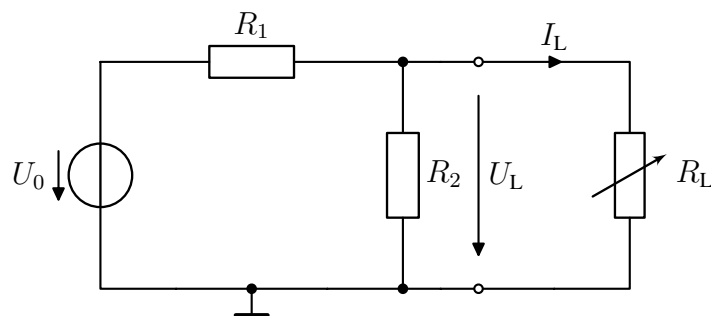


Abbildung 7: Spannungsteiler zur Spannungsstabilisierung.

d) Was ist der Nachteil der Schaltung in Abbildung 7?

e) Zur Spannungsstabilisierung werden nun eine Z-Diode mit $U_Z = 5,1 \text{ V}$ und ein Widerstand $R_1 = 560 \Omega$ nach Abbildung 8 verwendet. Bestimmen Sie die Variation der Spannung ΔU_L graphisch anhand der Kennlinie der Z-Diode in Abbildung 9. Stellen Sie hierfür die Knotengleichung für den Knoten x auf und tragen Sie die Beziehung zwischen I und U für den minimalen und maximalen Lastwiderstand in das Diagramm ein. Berechnen Sie auch hier die Verlustleistung an R_1 und der Zener-Diode unter der Annahme $U_Z = 5,1 \text{ V}$.

Hinweis: Abbildung 9 zeigt den dritten Quadranten der Kennlinie der Zenerdiode, also den (Sperr-)Bereich um die Zenerspannung. Beachten Sie die (positive) Vorzeichenkonvention.

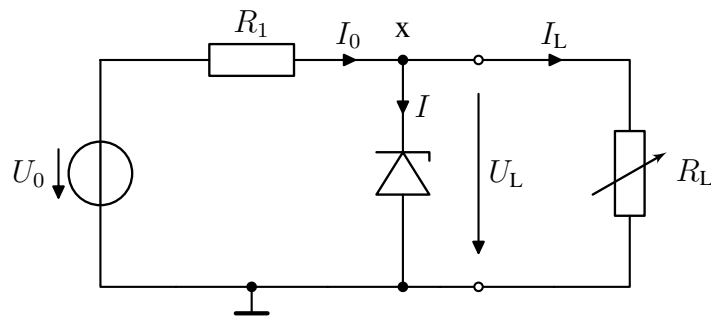


Abbildung 8: Z-Diode zur Spannungsstabilisierung.

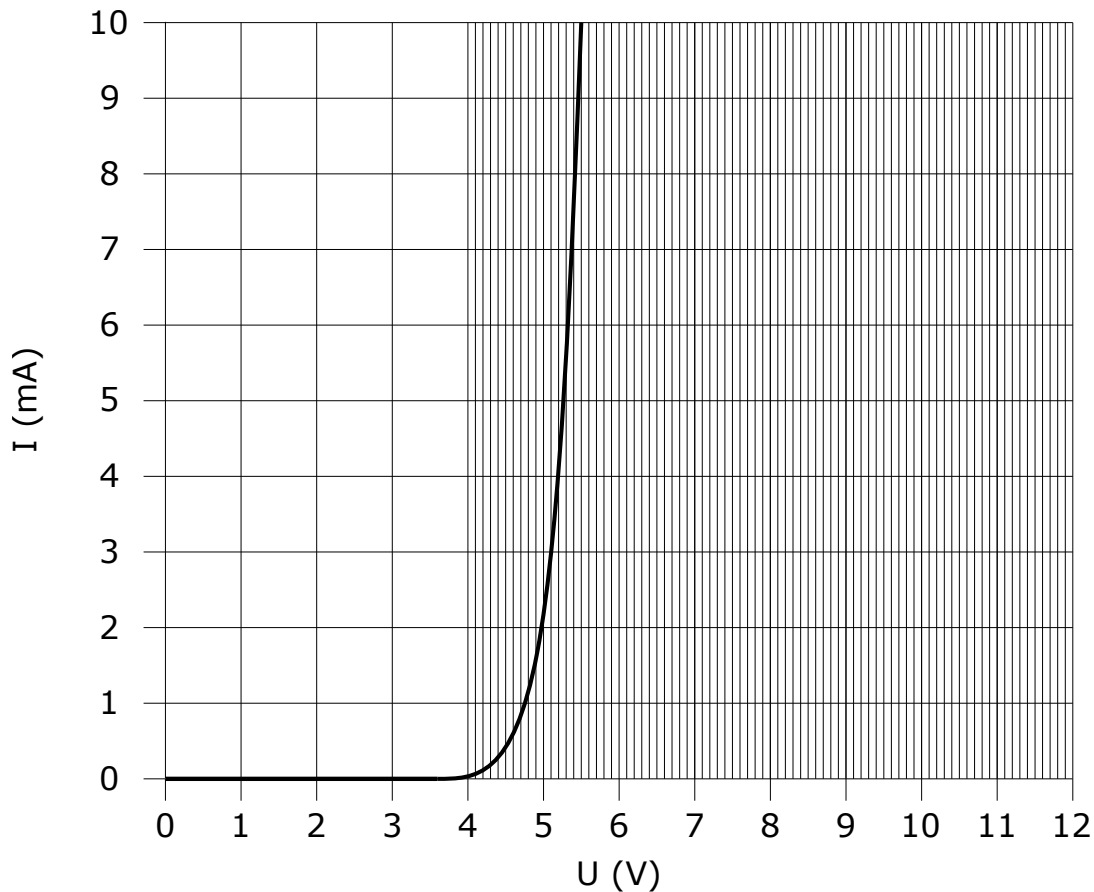


Abbildung 9: Kennlinie der Z-Diode.

– Teil II: Spice-Simulation –

Aufgabe 5 (Kleinsignalanalyse – Zeit- und Frequenzbereich)

Die Schaltung aus Abbildung 2 soll nun mittels LTspice simuliert werden. Es gelten die gleichen Werte wie bei Aufgabe 1 b) ($u_e(t) = 2 \text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$), mit $f = 100 \text{ Hz}$, $U_F = 0,7 \text{ V}$, $I_S = 5 \text{ fA}$).

a) Bauen Sie die Schaltung mittels LTspice auf. Nutzen Sie eine ideale Diode und definieren Sie die zugehörigen Parameter über die Spice-Anweisung `.model`. Nutzen Sie für die Definition der Dioden-Parameter die Syntax des Standard Barkley Spice Dioden Modells. Lassen Sie sich den zeitlichen Verlauf der Diodenspannung $u_D(t)$ und des Stroms $i_D(t)$ durch die Diode für alle 3 Arbeitspunkte anzeigen ((1) $U_0 = 0,1 \text{ V}$, (2) $U_0 = 0,7 \text{ V}$ und (3) $U_0 = 0,8 \text{ V}$).

Abgabe: Reichen Sie bitte einen Screenshot Ihres LTspice-Schaltplans ein. Zeigen Sie außerdem die Zeitverläufe von $u_D(t)$ und $i_D(t)$ über vier Periode. Zeigen Sie jeweils $u_D(t)$ und $i_D(t)$ bei einem Arbeitspunkt übereinander in einem Fenster. Achten Sie auf sinnvolle Skalierung der Achsen

und gute Lesbarkeit der Plots. Geben Sie außerdem den Mittelwert des zeitlichen Verlaufs des Stroms ($\overline{i_D(t)}$) und den Betrag des Wechselstroms ($|i_D|$) für alle drei Fälle an.

Hinweise: Die Ergebnisse werden mit den berechneten Werten aus Aufgabe 1 nicht ganz übereinstimmen. Weitere Informationen zur Definition des Dioden-Modells finden Sie im Video von Übung 2, Aufgabe 1 im ES Ilias-Kurs.

b) Führen Sie nun eine AC-Analyse durch. Lassen Sie sich ebenfalls den Strom $i_D(f)$ und die Spannung $u_D(f)$ der Diode über der Frequenz für alle drei Fälle anzeigen. Wählen Sie eine lineare Skalierung für die y-Achse. Wählen Sie für den Frequenzbereich 1 Hz bis 100 MHz.

Abgabe: Reichen Sie die Frequenzverläufe der Spannung und des Stroms über der Diode ein. Beschreiben Sie außerdem, welchen Anteil der Diodenspannung und -strom Sie aus der Frequenzanalyse erhalten.

Hinweise: Im Plot Fenster können Sie durch Rechtsklick auf die y-Achse in die lineare Darstellung wechseln. Achten Sie bei den Einstellungen der Spannungsquelle darauf, auch Werte für die AC-Analyse zu hinterlegen.

c) Ändern Sie nun den Betrag der Wechselspannung auf $|u_e| = 200 \text{ mV}$. Die Gleichspannung beträgt nun $U_0 = 0,7 \text{ V}$. Führen Sie eine Transienten- und eine AC-Simulation durch. Was fällt Ihnen auf? Welche Analyse ist näher an der Realität? Begründen Sie Ihre Antwort.

Abgabe: Reichen Sie ebenfalls den Zeitverlauf von $u_D(t)$ und $i_D(t)$ untereinander in einem Plot sowie den Frequenzverlauf von $u_D(f)$ und $i_D(f)$ untereinander in einem Plot ein.