

Elektronische Schaltungen SS 2021

2. Übungsblatt

Dioden

Aufgabe 1 (Großsignalanalyse - I/U Kennlinie, Arbeitspunkt)

Eine ideale Diode hat eine Flussspannung von $U_F = 0,7 \text{ V}$ und eine Durchbruchspannung von $U_{Br} = 75 \text{ V}$. Der Sperrstrom in Durchlassrichtung beträgt $I_S = 10 \text{ fA}$. Die Diode wird bei einer Temperatur von $T = 300,15 \text{ K}$ betrieben.

- Zeichnen Sie die I-U Kennlinie der idealen Diode.
- Der Arbeitspunkt der Diode soll bei $U_D = 0,8 \text{ V}$ liegen. Berechnen Sie den zugehörigen Strom I_D im Arbeitspunkt.
- In Abbildung 1 ist die Parallelschaltung aus den beiden idealen Dioden D1 und D2 gegeben. Die beiden Dioden sind identisch und besitzen die Kenngrößen aus der Aufgabenstellung. Zeichnen Sie die I-U Kennlinie dieser Schaltung.

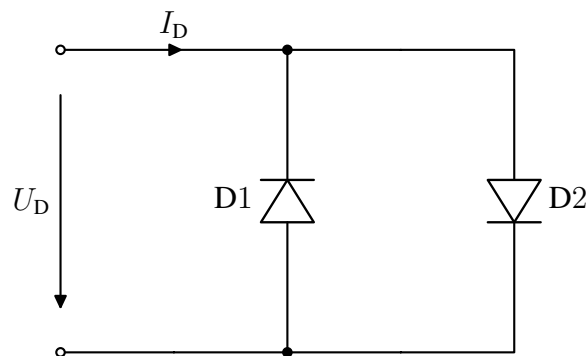


Abbildung 1: Schaltung aus zwei parallelen Dioden.

- Wie ändert sich die I-U Kennlinie für eine Diode mit Bahnwiderstand im Vergleich zu einer idealen Diode? Geben Sie außerdem die Gleichung für die Diodenspannung in der Form $U_D = f(I_D)$ für eine ideale Diode sowie für eine Diode mit R_B an.

SPICE-Simulation

Nun sollen die Teilaufgaben a) bis d) mittels einer SPICE Simulation gelöst werden.

e) Welche Analyse muss in SPICE gewählt werden, um die I-U Kennlinie von a) erzeugen zu können? Erstellen Sie in SPICE eine Schaltung bestehend aus einer Diode und der passenden Spannungsquelle. Lassen Sie sich dann die I-U-Kennlinie anzeigen. Achten Sie auf eine sinnvolle Skalierung der Achsen.

Hinweis: Um eine ideale Diode zu simulieren, soll das „Standard Berkeley Spice Halbleiterdioden Modell“ genutzt werden. Das Modell kann über die SPICE Directive `.model` mit den entsprechenden Parametern definiert werden.

f) Bestimmen Sie nun den Strom I_D bei dem Arbeitspunkt $U_D = 0,8 \text{ V}$ simulativ.

Hinweis: Werte können direkt aus dem Plot abgelesen werden oder über die SPICE Directive `.meas` angezeigt werden, wobei die Werte in der `.log` Datei aufgelistet werden.

g) Um das Verhalten einer Diode mit Bahnwiderstand zu untersuchen, fügen Sie nun in das ideale Modell von Aufgabenteil e) einen Bahnwiderstand von $R_B = 500 \text{ m}\Omega$ ein. (In den SPICE-Modellen wird dieser mit R_S bezeichnet.) Lesen Sie auch hier wieder den Strom I_D im Arbeitspunkt bei $U_D = 0,8 \text{ V}$ ab. Was erwarten Sie, wird I_D größer oder kleiner als in Teilaufgabe f) sein?

Aufgabe 2 (Kleinsignalanalyse - Zeitbereich)

Nun soll das Verhalten einer idealen Diode untersucht werden, wenn eine kleine Wechselspannung an die Diode angelegt wird. Die Diode soll im Arbeitspunkt von Aufgabe 1 betrieben werden ($U_D = 0,8 \text{ V}$, $I_D = 271 \text{ mA}$). Der Aufbau der Schaltung ist in Abbildung 2 zu sehen. Es gilt $u_e = 0,01 \text{ V} \cdot \sin(2\pi \cdot 1 \text{ kHz} \cdot t)$. Rechnen Sie mit einer Temperaturspannung von $U_T = 26 \text{ mV}$ weiter.

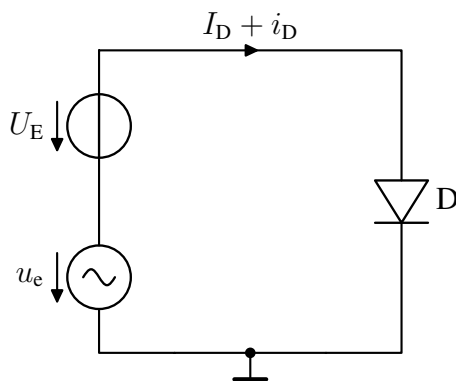


Abbildung 2: Einfache Diodenschaltung.

- a) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Spannung über der Diode $u_D(t)$ (Gleich- und Wechselspannungsanteil).
- b) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Diode und berechnen Sie die vorkommenden Größen.
- c) Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf des Stroms $i_D(t)$.

Die ideale Diode wird nun mit einer Diode mit einem Bahnwiderstand von $R_B = 500 \text{ m}\Omega$ ersetzt und besitzt die I-U Kennlinie aus Abbildung 3. Die Diode soll weiterhin bei $U_D = 0,8 \text{ V}$ betrieben werden. Die Kapazitäten der Diode können vernachlässigt werden.

- d) Zeichnen Sie das erweiterte Kleinsignalersatzschaltbild und berechnen Sie erneut den zeitlichen Verlauf des Stroms $i_D(t)$.

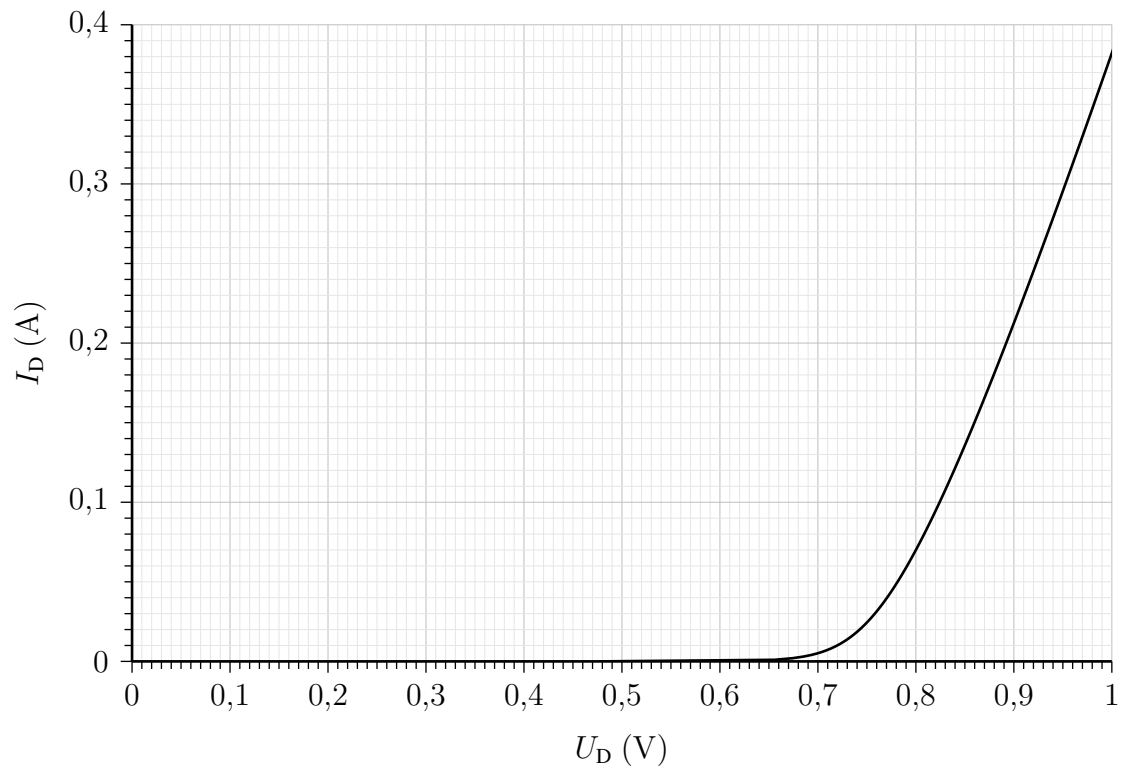


Abbildung 3: I-U Kennlinie der Diode mit Bahnwiderstand.

SPICE-Simulation

e) Führen Sie nun die Kleinsignalanalyse der idealen Diode mittels einer SPICE Simulation durch. Nutzen Sie das gleiche Modell wie in Aufgabe 1. Gehen Sie für die Simulation wie folgt vor:

1. Überlegen Sie sich, welche Spannungsquelle benötigt wird.
2. Lassen Sie sich den zeitlichen Verlauf der Spannung $u_D(t)$ anzeigen. Achten Sie dabei auf eine sinnvolle Achsenskalierung, z.B. lassen Sie sich 10 Perioden anzeigen.
3. Lassen Sie sich den zeitlichen Verlauf des Stroms $i_D(t)$ anzeigen. Achten Sie dabei auf eine sinnvolle Achsenskalierung, z.B. lassen Sie sich 10 Perioden anzeigen.
4. Überlegen Sie sich, über welche Analyse Sie den differentiellen Widerstand der Diode berechnen lassen können und lesen Sie diesen über eine geeignete SPICE Directive mittels .meas ab.

Aufgabe 3 (Arbeitspunkt Bestimmung)

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 4 mit der Versorgungsspannung $U_0 = 3\text{ V}$ und dem Widerstand $R = 1\text{ k}\Omega$. Die Diode kann als ideal betrachtet werden und besitzt einen Sperrstrom von $I_S = 1\text{ fA}$, die Temperaturspannung beträgt $U_T = 26\text{ mV}$.

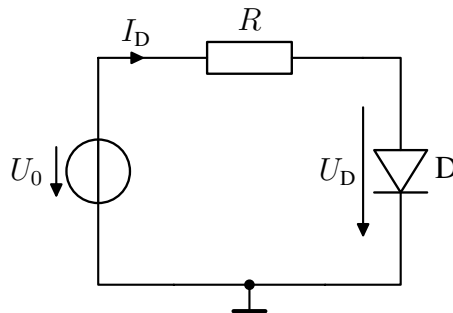


Abbildung 4: Einfache Diodenschaltung.

a) Bestimmen Sie den Arbeitspunkt der Diode graphisch und nutzen Sie hierfür die Diodenkennlinie aus Abbildung 5.

Zusatz: Bestimmen Sie nun den Arbeitspunkt der Diode rechnerisch. Warum ist hier die Anwendung eines iterativen Verfahrens sinnvoll? Wählen Sie als Startpunkt $I_D = 1\text{ mA}$. Brechen Sie das Verfahren ab, wenn sich I_D um weniger als $1\text{ }\mu\text{A}$ von der vorherigen Iteration unterscheiden.

Die Diode soll nun im Arbeitspunkt $I_D = 1,5\text{ mA}$ und $U_D = 0,65\text{ V}$ betrieben werden und es steht eine Spannungsquelle von $U_0 = 5\text{ V}$ zur Verfügung.

b) Wie groß muss der Widerstand R gewählt werden?

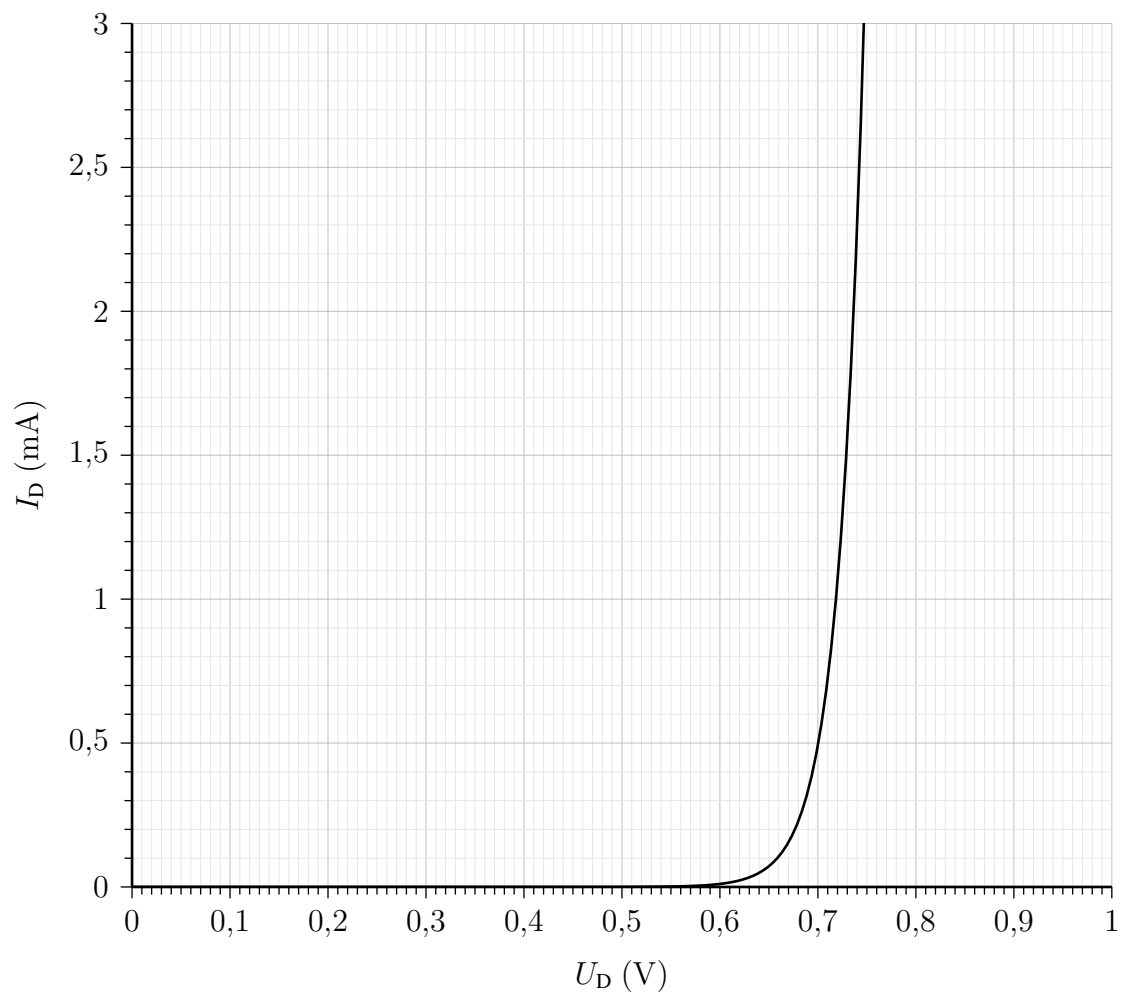


Abbildung 5: I-U Kennlinie der idealen Diode.

Aufgabe 4 (Kleinsignalanalyse - Frequenzbereich)

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 6 mit der Versorgungsspannung $U_0 = 2\text{ V}$ und dem Widerstand $R = 300\ \Omega$.

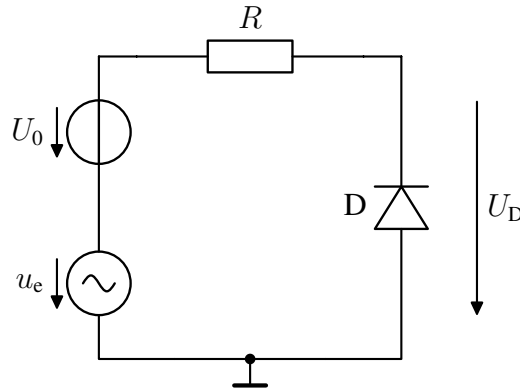


Abbildung 6: Diodenschaltung mit Vorwiderstand.

- a) Zeichnen Sie das vollständige Ersatzschaltbild der Schaltung im Kleinsignalbetrieb.
- b) In Abbildung 7 ist die Abhängigkeit der Sperrschichtkapazität über der Gleichspannung der Diode gegeben. Der Bahnwiderstand kann vernachlässigt werden. Berechnen Sie die 3dB Grenzfrequenz der Übertragungsfunktion $\left| \frac{u_D}{u_e} \right|$.

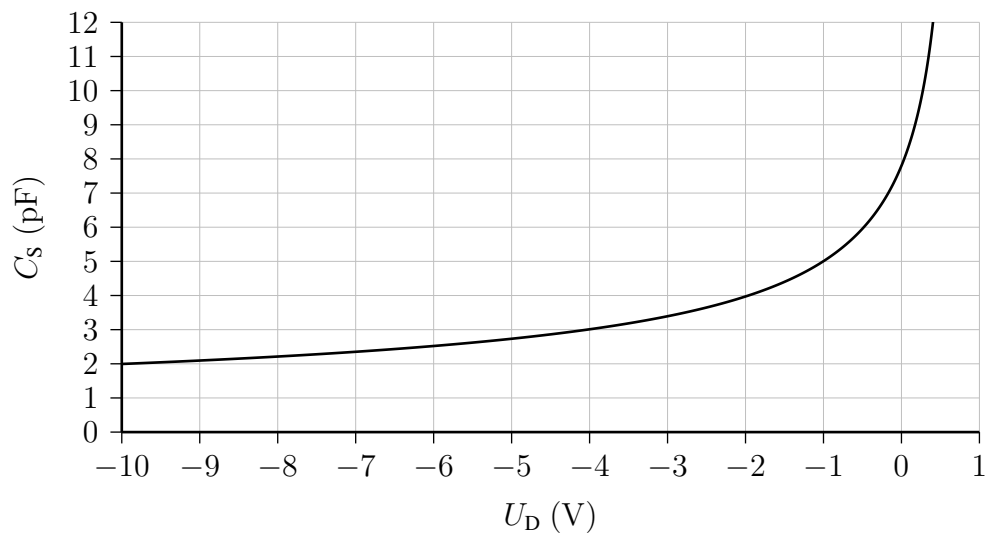


Abbildung 7: Sperrschichtkapazität der Diode.

- c) Wie verhält sich die Diode für große Frequenzen?