

SEMINAR IM FACH SCHALTUNGSTECHNIK I, WS 2021/22

Blatt 5

Aufgaben 11–13; 6 Seiten

Abgabe: Mittwoch 30.11.2021, 23:00 Uhr, PDF-Dokument auf ILIAS hochladen

Ansprechpartner: M. Sc. Raphael Nägele, raphael.naegele@int.uni-stuttgart.de, 2.408 ETI II

Sprechzeiten: Nach Vereinbarung, Fragen auch über ILIAS-Diskussionsforum

Hinweise: Es sind alle Aufgaben auf diesem Arbeitsblatt zu bearbeiten. Vergessen Sie nicht, auf jedes Blatt Ihren Namen, Vornamen und Matrikelnummer zu schreiben. Auf der ersten Seite bitte zusätzlich den Anfangsbuchstaben Ihres Nachnamens markieren und die Blätter mit dem Tacker geheftet abgeben.

Bei allen Berechnungen sind Zwischenschritte anzugeben. Geben Sie ausschließlich das richtige Endergebnis an, bringt dies keine Punkte.

Auf der Ilias-Plattform, in der Vorlesung und im Seminar werden Fehler oder weitere Hinweise bekannt gegeben. Haben Sie einen Fehler gefunden, bitten wir Sie um Rückmeldung. Viel Erfolg bei der Bearbeitung.

Name:	Vorname:	Anfangsbuchstabe:	Nummer:
Matrikelnummer:			

Bewertung – wird vom Institut ausgefüllt

(4)	(3)	(2)	(3)	(+3)	(12 + 3)
(8)	(5)	(3)	(5)		(21)
(4)	(7)	(10)			(21)
(54 + 3)					+ / 0 / -

Aufgabe 11

Grafische Analyse einer nichtlinearen Schaltung

Die in Abbildung 1 dargestellten Schaltungen bestehen jeweils aus einem Bipolar- bzw. Feldeffekttransistor, bei welchen zwei Anschlüsse kurzgeschlossen sind. Die Wirkung dieser Verschaltung soll in der folgenden Aufgabe untersucht werden.

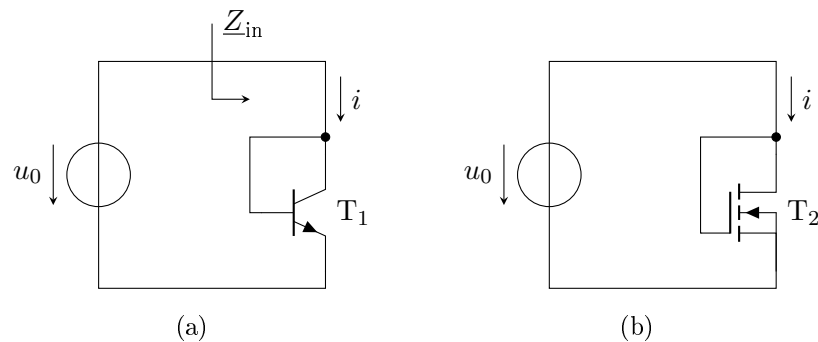


Abbildung 1: Schaltungen mit Transistoren

- a) Weisen Sie nach, dass sich bei der Schaltung mit dem Bipolartransistor (Abbildung 1(a)) die Strom-Spannungs-Beziehung

$$i = I_S \left(e^{\frac{u_0}{U_T}} - 1 \right) \left(\frac{1}{\beta_N} + 1 \right)$$

ergibt. Welchem Bauelement entspricht also die vorliegende Transistorverschaltung?

- b) Leiten Sie analog die $i(u_0)$ -Beziehung für die Schaltung in Abbildung 1(b) her. Worin unterscheidet sich das Verhalten dieser Schaltung von dem aus a) im Wesentlichen?

Hinweis: Prüfen Sie zuerst in welchem Bereich sich der Feldeffekttransistor befindet.

- c) An der Schaltung aus Abbildung 1(b) liege ein sägezahnförmiges Spannungssignal nach Abbildung 2 an. Konstruieren Sie den sich ergebenden Strom i grafisch für $U_0 = 600 \text{ mV}$ und $\hat{U} = 50 \text{ mV}$ und zeichnen Sie ihn in das vorgesehene Diagramm in Abbildung 3 ein. Die Kennlinie $i(u_0)$ der Schaltung ist bereits eingezeichnet.
- d) Führen Sie das gleiche für $U_0 = 520 \text{ mV}$ und $\hat{U} = 100 \text{ mV}$ durch. Kann hier als Näherung eine Linearisierung (Kleinsignalanalyse) noch verwendet werden?
- e) *Zusatzaufgabe (freiwillig):* Für hohe Frequenzen lässt sich der Bipolartransistor durch das in Abbildung 4 dargestellte Ersatzschaltbild beschreiben. Bestimmen Sie mit diesem die Eingangsimpedanz $Z_{in}(j\omega)$ der Schaltung aus Abbildung 1(a). Welche Filtercharakteristik weist $Z_{in}(j\omega)$ auf?

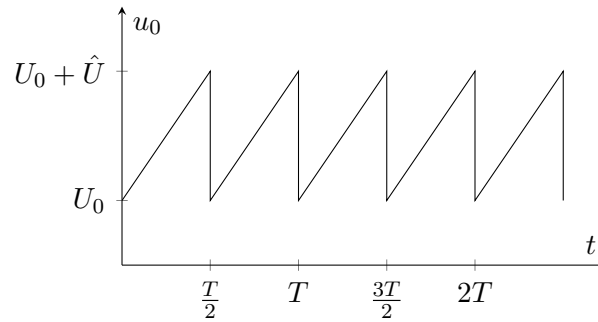


Abbildung 2: Sägezahnsignal

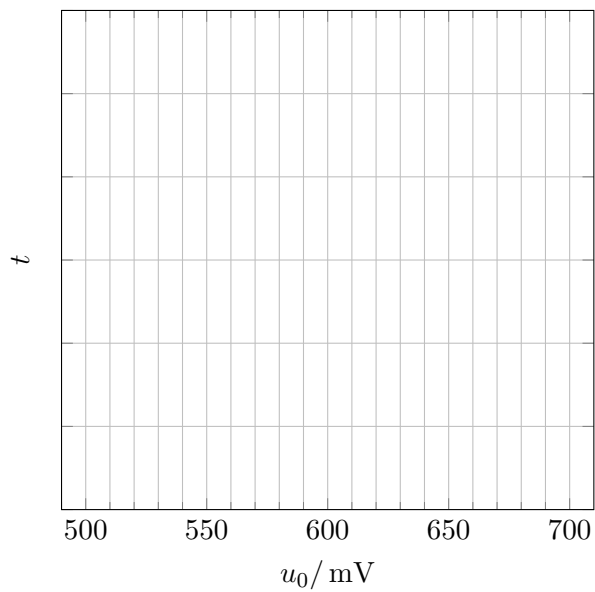
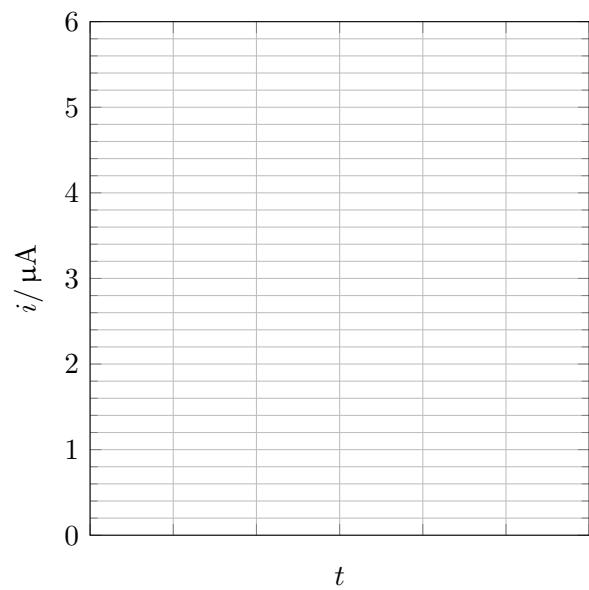
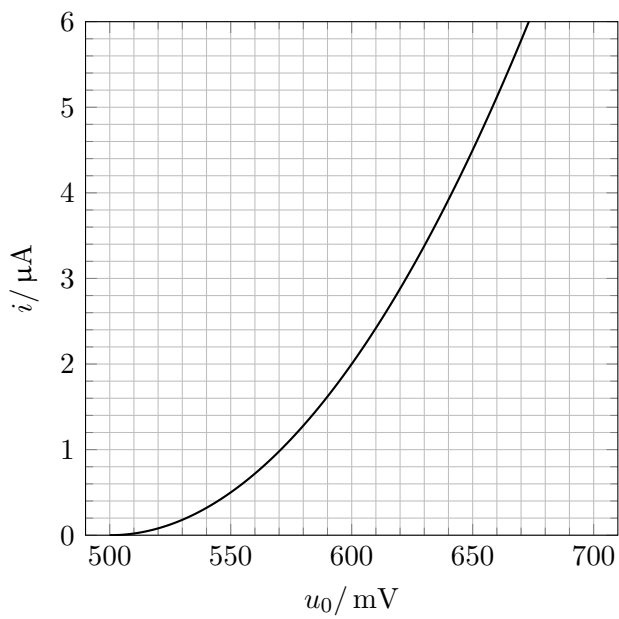


Abbildung 3: Strom-Spannungskennlinie eines Feldeffekttransistors

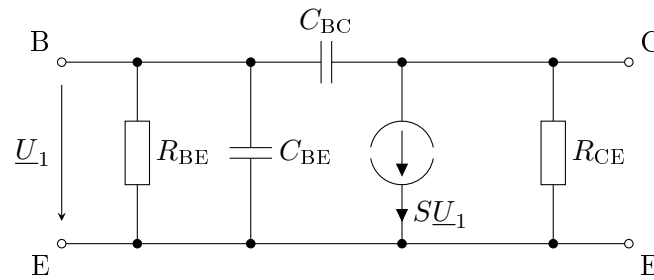


Abbildung 4: Kleinsignalersatzschaltbild des Bipolartransistors

Aufgabe 12

Nichtlineare Schaltung mit Dioden

Betrachtet werde die in Abbildung 5(a) dargestellte Reihenschaltung der Diode D_1 und des Widerstands $R = 10 \text{ k}\Omega$. Die Spannungsquelle liefere die konstante Spannung $U_0 = 5 \text{ V}$. Die Diode verhält sich nach der aus der Vorlesung bekannten allgemeinen Diodengleichung.

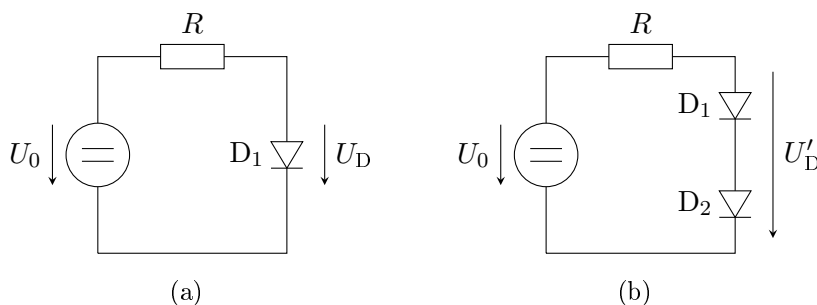


Abbildung 5: Reihenschaltung von Dioden mit einem Widerstand

- a) Bestimmen Sie die an der Diode abfallende Spannung U_D mit Hilfe des Newton-Raphson-Verfahrens, wenn der Sperrsättigungsstrom $I_S = 10^{-16} \text{ A}$ beträgt und die Schaltung bei einer Temperatur von 40°C betrieben wird. Überlegen Sie sich einen sinnvollen Startwert. Brechen Sie den Algorithmus ab, sobald $|U_D^{(j+1)} - U_D^{(j)}| < 50 \mu\text{V}$ gilt.

- b) Nun werde eine zweite, baugleiche Diode D_2 in Reihe zu D_1 geschaltet, vgl. Abbildung 5(b). Beschreiben Sie qualitativ, wie sich dies auf die an den Dioden abfallende Spannung U'_D auswirkt.

Hinweis: Machen Sie sich den Sachverhalt skizzenhaft durch Zeichnung der Widerstands- bzw. Arbeitsgerade und Diodenkennlinie klar.

Berechnen Sie anschließend erneut mit dem Newton-Raphson-Verfahren (Abbruchkriterium wie in a)), um wie viel Ihre qualitative Schätzung vom tatsächlichen Wert U'_D abweicht.

Variiert die Eingangsspannung, so ist eine numerische Bestimmung der an den Bauelementen abfallenden Spannungen äußerst aufwendig, da der Newton-Raphson-Algorithmus für *jede* mögliche

Eingangsspannung neu durchgeführt werden müsste. Das Schaltungsverhalten lässt sich alternativ näherungsweise bestimmen, indem mit Ersatzschaltbildern der Diode gearbeitet wird, wie beispielsweise mit der in Abbildung 6(b) dargestellten Reihenschaltung einer idealen Diode mit einer idealen Spannungsquelle, deren Wert als $U_{D,0} \approx 0,7 \text{ V}$ angenommen werden darf.

Für die ideale Diode gilt

im Durchlassbereich: $U_{D,i} = 0 \text{ V}$ bei $I_{D,i} \geq 0 \text{ A}$,

im Sperrbereich: $I_{D,i} = 0 \text{ A}$ bei $U_{D,i} \leq 0 \text{ V}$.

Mit diesen Vereinfachungen soll nun die Schaltung in Abbildung 6(a) analysiert werden.

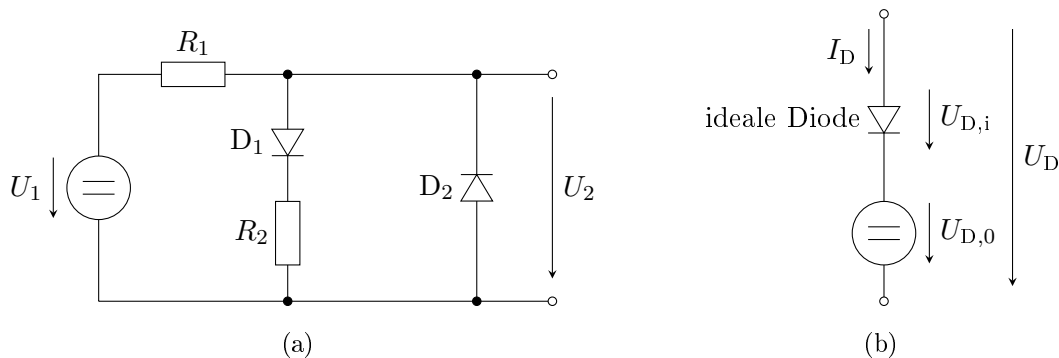


Abbildung 6: Schaltung mit Dioden

- c) Skizzieren Sie die Strom-Spannungs-Charakteristik $I_D(U_D)$ der Dioden-Ersatzschaltung aus Abbildung 6(b). Nennen Sie zwei Eigenschaften der Diode, die durch dieses Ersatzschaltbild nicht berücksichtigt werden.
- d) Die Eingangsspannung U_1 wird nun im Bereich $-10 \text{ V} \leq U_1 \leq 10 \text{ V}$ variiert. Skizzieren Sie näherungsweise die Übertragungsfunktion $U_2(U_1)$ der Schaltung in Abbildung 6(a), wenn $R_1 = 8 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ gilt.
Hinweis: Welcher Einfluss hat der Spannungsteiler bestehend aus R_1 und R_2 ?

Aufgabe 13

Stromspiegel

Die Funktionsweise des in Abbildung 7 dargestellten *Wilson-Stromspiegel* soll in dieser Aufgabe untersucht werden. Gehen Sie davon aus, dass sich alle drei baugleichen Bipolartransistoren im Normalbetrieb befinden, d. h. es gilt $U_{BC} < 0 \text{ V}$. Die Basis-Kollektor-Dioden sperren, weshalb die zugehörigen Ströme vernachlässigt werden können.

- a) Leiten Sie mittels den Gleichungen des aus der Vorlesung bekannten Transportstrommodells die Basisströme I_B und I'_B her. Vereinfachen Sie die Gleichungen unter Verwendung der (sehr guten) Näherung $e^x - 1 \approx e^x$ für $x \gg 10$. Welche Beziehung besteht jeweils zwischen Basis- und Kollektorstrom?

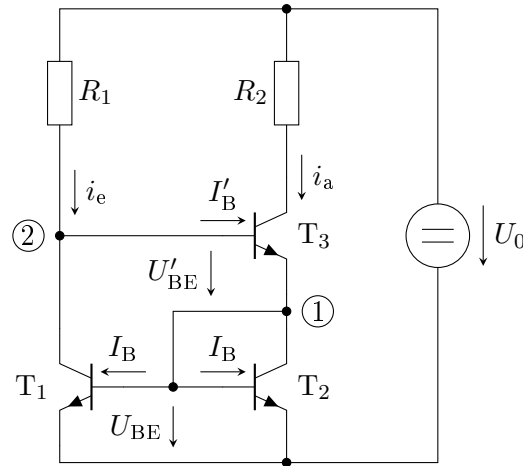


Abbildung 7: Wilson-Stromspiegel

- b) Leiten Sie her, wie sich der Ausgangsstrom i_a zum Eingangsstrom i_e verhält. Warum wird diese Schaltung demnach als *Stromspiegel* bezeichnet?

Hinweis: Nutzen Sie hierzu unter anderem die Beziehung zwischen Basis- und Kollektorstrom aus a) und die Knotengleichungen an Knoten 1 und 2. Im Normalbetrieb gilt zudem $\beta \gg 1$.

- c) Bestimmen Sie nach dem Newton-Raphson-Algorithmus (Startwert $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$) bis auf 1 mV genau die Basis-Emitter-Spannungen U_{BE} und U'_{BE} der Transistoren. Die Näherung $\beta \gg 1$ darf hier nicht verwendet werden. Die Bauteilwerte betragen

$$\beta = 100, \quad I_S = 1 \text{ fA}, \quad U_T = 25 \text{ mV}, \quad U_0 = 10 \text{ V}, \quad R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega.$$

Geben Sie die einzelnen Iterationsergebnisse an.

Hinweis: Die sich ergebenden teils nichtlinearen Gleichungen zur Bestimmung der Basis-Emitter-Spannungen lassen sich durch Umformen auf nur eine Gleichung mit einer Unbekannten vereinfachen.