

Nachdruck verboten

Schriftliche Prüfung im Fach Schaltungstechnik I/II

am 10.08.2021

14:00 Uhr bis 17:00 Uhr

Es sind alle schriftlichen Hilfsmittel und zwei Taschenrechner erlaubt!

Die Taschenrechner dürfen kein Computer-Algebra-System (CAS) oder
eine drahtlose Kommunikationsschnittstelle beinhalten.

Name:	
Vorname:	
Matrikelnummer:	
Studienfach:	
Sitzplatznummer:	
Unterschrift:	

Das Ergebnis Ihrer Prüfung erfahren Sie über das CAMPUS Portal
der Universität Stuttgart: <https://campus.uni-stuttgart.de>

Wird vom Institut ausgefüllt:

Aufgabe	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)	h)	Summe
1								-	
2								-	
3							-	-	
4								-	

Gesamtpunktzahl:	
Note:	

Aufgabe 1: Nichtlineare Schaltung

Bei der Stromspiegelschaltung in Abbildung 1 wird der Referenzstrom I_0 durch das Skalierungsverhältnis der beiden Transistoren T_1 und T_2 in einen Ausgangsstrom I_{D2} gespiegelt. Diese Schaltung soll nun im Folgenden untersucht werden.

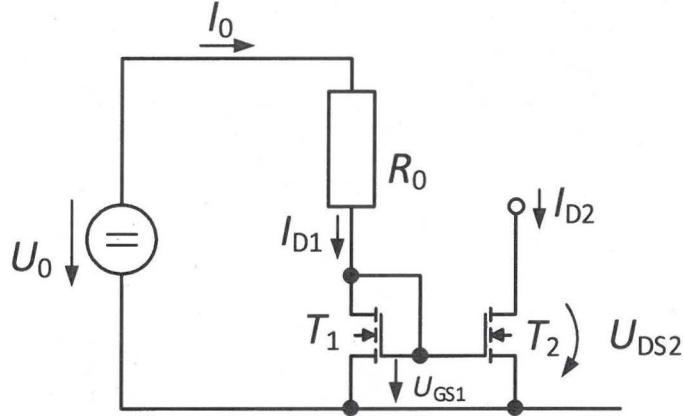


Abbildung 1: Grundschrift zur Erzeugung skalierbarer Ausgangsströme

- a) Welche Annahme gilt für die Gateströme des in der Vorlesung verwendeten Feldeffekttransistormodells für den Fall, dass eine Gleichspannung am Gate anliegt?

Die Feldeffekttransistoren weisen die sogenannte Kanallängenmodulation auf, weshalb der Drainstrom im Sättigungsbereich nicht mehr konstant ist. Es ergeben sich daher folgende Gleichungen für die drei bekannten Betriebsbereiche:

$$I_D(U_{GS}, U_{DS}) = \begin{cases} 0, & U_{GS} \leq U_{th} \\ \beta \left[(U_{GS} - U_{th})U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right] (1 + \lambda U_{DS}), & U_{DS} \leq U_{GS} - U_{th} \\ \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{th})^2 \cdot (1 + \lambda U_{DS}), & U_{DS} > U_{GS} - U_{th} \end{cases}$$

- b) Bestimmen Sie mit dem Newton-Raphson-Verfahren die Spannung U_{GS1} für folgende Bauelementwerte:

$$U_0 = 2 \text{ V} \quad R_0 = 1 \text{ k}\Omega \quad \beta_1 = \frac{w_1}{L_1} \mu_n C'_{ox} = 10^{-3} \text{ A/V}^2 \quad U_{Th1,2} = 0,2 \text{ V} \quad \lambda = 0,05 \text{ V}^{-1}$$

In welchem Arbeitsbereich befindet sich der Transistor T_1 ?

Führen Sie mit einem Startwert von $U_{GS1}^{(0)} = 0,6 \text{ V}$ so viele Iterationen durch, bis die Abweichung der Spannung U_{GS1} zwischen zwei Iterationen kleiner als 1 mV ist. Geben Sie die Zwischenergebnisse von $U_{GS1}^{(j)}$ an. Berechnen Sie zudem den Referenzstrom I_0 .

- c) Der Ausgangsstrom I_{D2} soll das Achtfache des Referenzstromes I_0 betragen. Wie ist die Weite W_2 des Transistors T_2 zu dimensionieren, wenn für die Länge $L_2 = L_1$ gilt und die Transistoren T_1 und T_2 dieselbe Technologiekonstante $\mu_n C'_{ox}$ aufweisen? Welche Voraussetzung gilt hierbei für die Spannung U_{DS2} ?

Hinweis: Falls Sie die Teilaufgabe b) nicht lösen konnten, nehmen Sie nun für den Strom $I_0 = 0,5 \text{ mA}$ an. Geben Sie in d), e) und f) die allgemeine Lösung und Zahlenwerte an.

- d) In dem in der Teilaufgabe c) berechneten Arbeitspunkt kann der Transistor T_2 in einem einfachen Ersatzschaltbild durch die Stromquelle I_{D2} ersetzt werden, wie es in Abbildung 2 dargestellt ist. Bestimmen Sie den Strom I_2 der durch den Lastwiderstand R_L fließt.

Hinweis: Durch die gewählten Widerstandswerte kann ein vereinfachtes Rechenverfahren mithilfe der Kirchhoffschen Knotenregel genutzt werden.

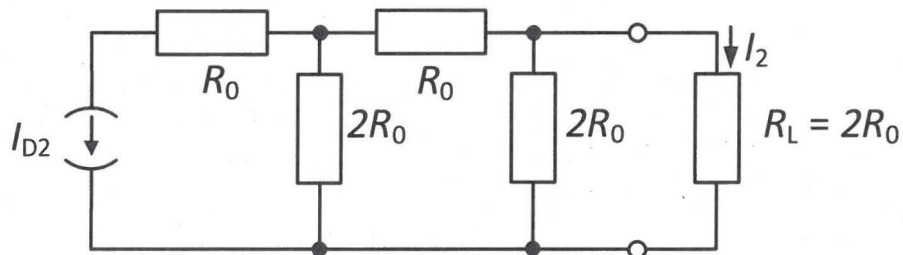


Abbildung 2: Ersatzschaltbild für die Lastschaltung am Ausgang des Transistors T_2

- e) Welche Verlustleistung entsteht in den Widerständen der Schaltung nach Abbildung 2 für die Lösung nach Teilaufgabe d)?
- f) Welche Leistung gibt die Spannungsquelle U_0 entsprechend Teilaufgabe b) ab?

Im Folgenden soll nun das Kleinsignalverhalten der Schaltung aus Abbildung 1 untersucht werden. Für die Transistoren T_1 und T_2 gilt das Kleinsignalersatzschaltbild nach Abbildung 3.

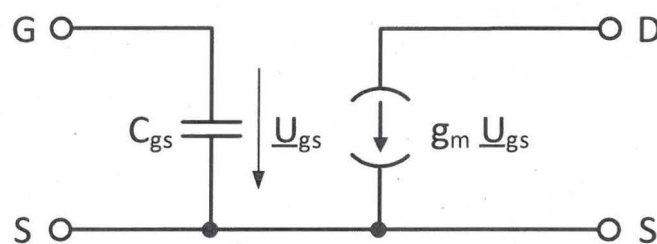


Abbildung 3: Kleinsignalersatzschaltbild der Transistoren T_1 und T_2

- g) Der Gleichspannungsquelle U_0 sei eine Wechselspannung mit der Amplitude $\hat{U}_0$ überlagert. Bestimmen Sie allgemein die sich am Gate einstellende Wechselspannungsamplitude $\hat{U}_{GS1}$. Linearisieren Sie hierzu den Transistor T_1 im Arbeitspunkt indem Sie die Steilheit $g_m = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}}$ berechnen.

Aufgabe 2: Vierpolschaltung

Eine Verstärkerschaltung mit nachfolgender Filterschaltung wird entsprechend Abbildung 4 betrieben.

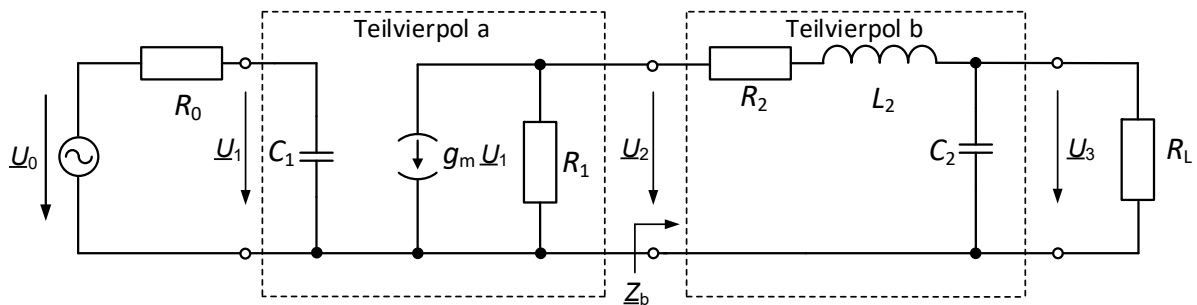


Abbildung 4: Betriebsanordnung kaskadierter Teilvierpole

- Bestimmen Sie die Kettenparameter des Teilvierpols a.
- Bestimmen Sie die Kettenparameter des Teilvierpols b.
- Geben Sie die Kettenparameter $[A_{\text{ges}}]$ des Gesamtvierpols in Abhängigkeit der Parameter der Teilvierpole a und b.
- Welche Eingangsimpedanz $\underline{Z}_b$ ergibt sich am Eingang des Teilvierpols b, wenn dieser mit R_L abgeschlossen ist.
- Skizzieren Sie den Verlauf des Betrags der normierten Eingangsimpedanz $|\underline{Z}_b|$ im Bodediagramm für folgende Zahlenwerte:

$$R_2 = 10 \, \Omega \quad L_2 = 1 \, \text{nH} \quad C_2 = 10 \, \text{nF} \quad R_L = 50 \, \Omega$$

Hinweis: Normieren Sie $\underline{Z}_b$ mit $\underline{Z}_0 = R_2 + R_L$, damit $\underline{Z}_b$ dimensionslos wird.

Berechnen Sie die Dämpfung d des Systems zweiter Ordnung.

- Geben Sie den Gesamtbetriebsübertragungsfaktor D_B der Schaltung von Abbildung 4 in Abhängigkeit der Kettenparameter $[A_{\text{ges}}]$ an.
- Bestimmen Sie die Leistung im Lastwiderstand R_L in Abhängigkeit der Vierpolparameter $[A_{\text{ges}}]$.

Aufgabe 3: Operationsverstärkerschaltung

Die Operationsverstärkerschaltung in Abbildung 5 wird mit einem Impuls nach Abbildung 6 angesteuert.

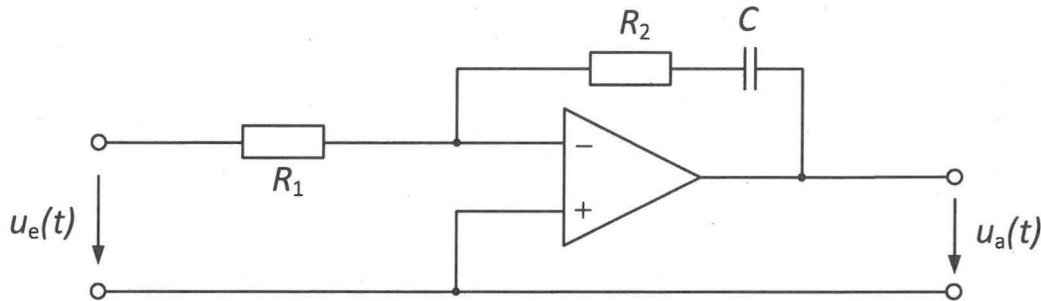


Abbildung 5: Operationsverstärkerschaltung

Der Frequenzgang des Operationsverstärkers ist gegeben durch die folgende Gleichung:

$$\underline{A}(j\omega) = \frac{A_0}{1 + j\omega \frac{A_0}{\omega_T}}$$

- Bestimmen Sie die Wirkungskfunktion $\underline{F}(j\omega) = \frac{\underline{U}_a(j\omega)}{\underline{U}_e(j\omega)}$ und geben Sie diese doppelbruchfrei an.
- Vereinfachen Sie $\underline{F}(j\omega)$ für die Näherung $A_0 \rightarrow \infty$.
- Bestimmen Sie den Amplituden- und Phasengang von $\underline{F}(j\omega)$ nach b) und skizzieren Sie den Verlauf für die folgenden Zahlenwerte:

$$R_1 = 10 \, \Omega \quad R_2 = 100 \, \Omega \quad C = 1 \, \text{nF} \quad \omega_T = 10,9 \, \text{GHz}.$$

- Der zeitliche Verlauf des Eingangsimpulses $u_e(t)$ ist in Abbildung 6 dargestellt. Geben Sie die zugehörige Fourier-Transformierte $\underline{U}_e(f)$ an.

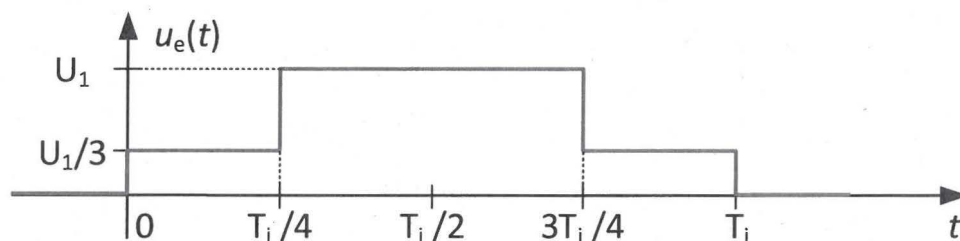


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf des Eingangsimpulses $u_e(t)$

- Geben Sie die Fourier-Transformierte des Ausgangssignals $\underline{U}_a(f)$ für das Eingangssignal nach d) und die Übertragungsfunktion nach b) an.
- Ermitteln Sie durch Rücktransformation $u_a(t)$ für $\underline{U}_a(f)$ nach e).

Aufgabe 4: Laplace-Transformation

Die Schaltung in Abbildung 7 wird zur Gleichspannungswandlung genutzt. Die Schalter S_1 und S_2 werden synchron umgeschaltet. An den Ausgang ist die Last R angeschlossen.

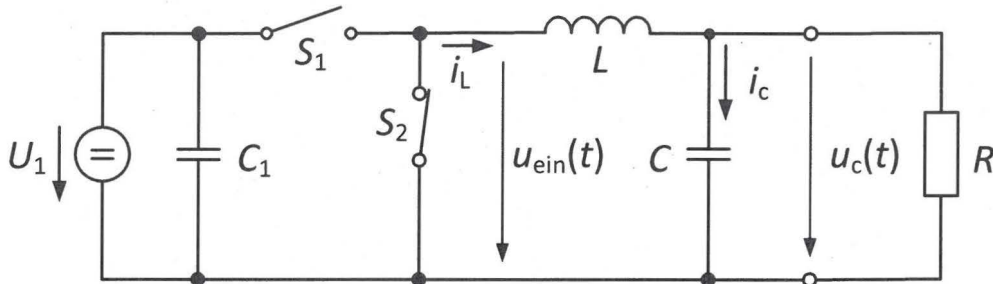


Abbildung 7: Synchroner Gleichspannungswandler

- Zum Zeitpunkt $t = 0$ s wird der Schalter S_1 geschlossen und S_2 geöffnet. Geben Sie die Anfangsbedingungen für $i_L(t)$, $i_c(t)$ und $u_c(t)$ nach Abbildung 7 unter der Annahme an, dass die Schalter zuvor nicht betätigt wurden.
- Berechnen Sie die Laplace-Transformierte der Ausgangsspannung $\underline{V}_c(p)$ für $t > 0$.

In den folgenden Aufgabenteilen liege der aperiodische Grenzfall vor. Es gilt: $R = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L}{C}}$

- Berechnen Sie allgemein den Verlauf $u_c(t)$ durch Rücktransformation von $\underline{V}_c(p)$ und skizzieren Sie den Verlauf von $u_c(t)$ im Bereich $0 \leq t \leq 8$ ms für folgende Zahlenwerte:
 $U_1 = 48$ V $C_1 = 100$ μ F $L = 20$ mH $C = 50$ μ F $R = 10$ Ω
- Zum Zeitpunkt $t = t_1 > 0$ s wird der Schalter S_1 geöffnet und S_2 gleichzeitig geschlossen. Berechnen Sie allgemein $\underline{V}_c(p)$ für $t \geq t_1$.

Im Folgenden wird der eingeschwungene Zustand betrachtet. Es ergibt sich das periodische Eingangssignal $u_{ein}(t)$ mit der Periodendauer T , das im Grundintervall durch

$$u_{ein,G}(t) = \begin{cases} U_1 & \text{für } 0 \leq t < t_1 \\ 0 & \text{für } t_1 \leq t < T \end{cases} \text{ beschrieben wird.}$$

Für die Koeffizienten der komplexen Fourierreihe ergibt sich: $\underline{C}_{v,ein} = \frac{U_1 t_1}{T} \text{si}\left(\frac{\nu \pi t_1}{T}\right) \cdot e^{-\frac{j \nu \pi t_1}{T}}$

- Skizzieren Sie $u_{ein}(t)$
- Welcher Gleichanteil stellt sich allgemein für die Ausgangsspannung $u_c(t)$ abhängig von dem Verhältnis $\beta_t = \frac{t_1}{T}$ ein? Welche Gleichspannungs-Leistung $P_{R,DC}$ wird in R umgesetzt?
- Es sei $\beta_t = 0,5$. Bestimmen sie allgemein die in R umgesetzte Leistung $P_R \left(f = \frac{1}{T}\right)$ bei der Frequenz $f = \frac{1}{T}$. Ermitteln Sie T für die Zahlenwerte aus c), sodass für die Leistung des Widerstands gilt: $\frac{P_R \left(f = \frac{1}{T}\right)}{P_{R,DC}} = 0,01$