

Klausur Schaltungstechnik

TU Berlin, Sommersemester 2021, 06.10.2021, 08:00 – 13:00 online

Bearbeitungszeit: 3 Stunden

Name (Nachname, Vorname):
Matr.-Nr.:
Studiengang:
BSc / MSc / Diplom / Auflage:
Erasmus- oder Gast-Student/in: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

Aufgabe:	Punkte:
1	/ 29
2	/ 18
3	/ 18
4	/ 30
5	/ 25
Gesamt:	/ 120

Note:	Datum:	Unterschrift:
-------	--------	---------------

Bitte füllen Sie auf dieser Seite nur die weißen Felder aus.

Füllen Sie bitte ebenso

auf allen abgegebenen Seiten

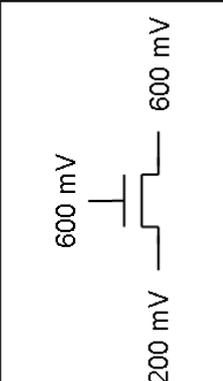
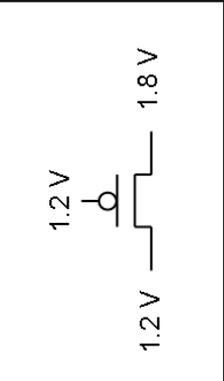
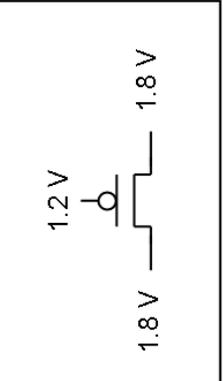
jeweils eine Kopfzeile aus mit Ihrem Namen und Ihrer Matrikel-Nummer.

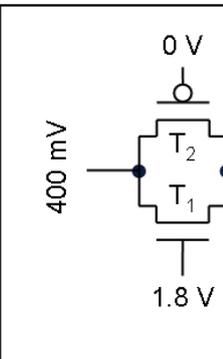
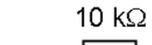
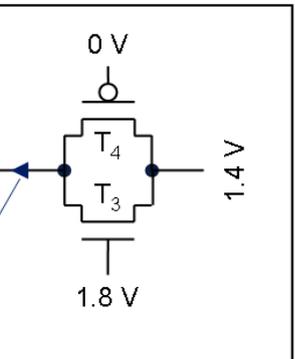
Viel Erfolg!

Aufgabe 1:

Bitte beantworten Sie die folgenden Fragen jeweils unter oder neben den Skizzen zur Problemstellung oder auf einem separaten Blatt Papier.

- a) Die untenstehende Skizze zeigt MOS-Transistoren und Grundschaltungen, an deren Anschlüssen die eingezeichneten Spannungen anliegen. Alle Spannungen sind auf Masse bezogen. Die Schwellenspannung aller Transistoren beträgt 500 mV. Gehen Sie ferner davon aus, dass die Substratspannung jeweils auf geeignetem Potential liegt. 7
- Geben Sie den Arbeitspunkt der Transistoren an (ohne weitere Begründung).

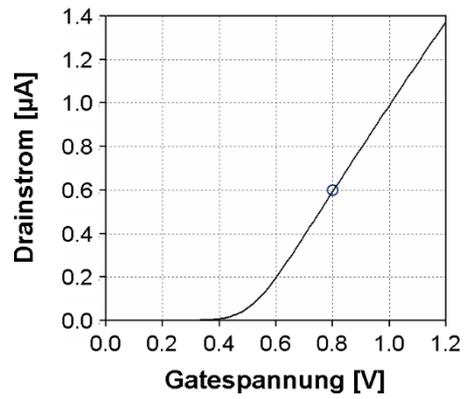
			
Nicht in Inversion ("off"):	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Triodengebiet:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sättigung:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

			
T ₁ :	T ₂ :	T ₃ :	T ₄ :
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

- b) Geben Sie die mit einem einzelnen MOSFET theoretisch maximal erreichbare Spannungsverstärkung in einer Schaltung an. (Formel) 1

- c) Gegeben ist die skizzierte Eingangskennlinie eines nMOS-Transistors mit $W = L = 10 \mu\text{m}$, $U_D = 10 \text{ mV}$.

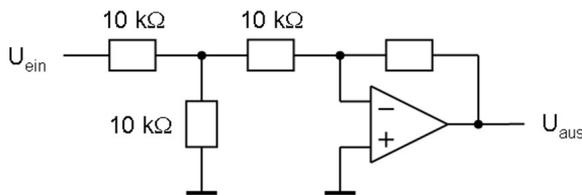
Bestimmen Sie graphisch die Transkonduktanz g_m im eingezeichneten Arbeitspunkt mit $U_G = 800 \text{ mV}$. Berechnen Sie weiterhin aus dem ermittelten Wert für g_m die Transistorkonstante k_n des Transistors. Achten Sie auf die korrekte Angabe der physikalischen Einheiten.



3

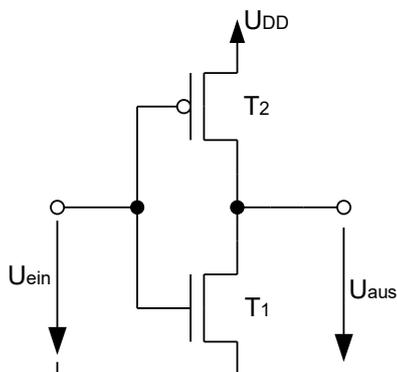
- d) Geben Sie den Eingangswiderstand der dargestellten Schaltung an (Formel und Wert).

3



- e) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der dargestellten Schaltung.

4



- g) Skizzieren sie einen PMOS-Stromspiegel. 1
- h) Entwerfen sie aus OPV Grundsaltungen eine Schaltung mit drei Eingängen U_1, U_2 und U_3 . Für die Ausgangsspannung U_{aus} soll gelten $U_{\text{aus}} = U_1 - U_2 - U_3$
Geben sie auch die Gewichtung der verwendeten Widerstände zu einander an. 3
- i) Ein MOSFET soll als Schalter verwendet werden. In welchem Arbeitsbereich soll sich der FET befinden wenn der Schalter offen und wenn er geschlossen ist. 2
- j) Welche Grundsaltung wird auch Sourcefolger genannt? 1
- k) Zeichnen sie eine PMOS-Sourceschaltung mit NMOS-Diodenlast. 3

Summe: 29

Aufgabe 2

Im Folgenden soll die Operationsverstärker-Schaltung aus Abbildung 2a) analysiert und dimensioniert werden.

Die Schaltung stellt an ihren Ausgängen eine Differenz-Ausgangsspannung $\Delta U_{aus} = U_{aus1} - U_{aus2}$ zur Verfügung, die zur Differenz-Eingangsspannung $\Delta U_{ein} = U_{ein1} - U_{ein2}$ proportional ist. Bei korrekter Dimensionierung der Schaltung kann der Mittelwert der Ausgangsspannungen, $U_{aus} = (U_{aus1} + U_{aus2}) / 2$, unabhängig vom Mittelwert der Eingangsspannungen, $U_{ein} = (U_{ein1} + U_{ein2}) / 2$, nur über die Spannung U_4 eingestellt werden.

Es gilt:

- $R_{11} = R_{12} = R_{13} = R_{14} = R_1$,
- $R_{21} = R_{22} = R_2$,
- $R_{31} = R_{32} = R_3$,
- Aussteuerungsgrenzen der Operationsverstärker müssen nicht berücksichtigt werden.

- a) Die (identischen) Teilschaltungen bestehend aus OP_1 , R_{11} , R_{13} und R_{21} bzw. OP_2 , R_{12} , R_{14} und R_{22} bzw. OP_3 , R_{31} , R_{32} und R_4 sind bekannt. 2
Benennen Sie diese Teilschaltung(en) möglichst genau.
- b) Ignorieren Sie zunächst die Teilschaltung aus OP_3 , R_{31} , R_{32} und R_4 und geben Sie U_{aus1} und U_{aus2} als Funktion der Spannungen U_{ein1} bzw. U_{ein2} und U_3 an. 3
- c) Geben Sie U_3 als Funktion der Spannungen U_{ein1} bzw. U_{ein2} und U_4 an. 1
- d) Berechnen Sie nun $U_{aus,cm}$ als Funktion von U_{ein1} , U_{ein2} , R_1 , R_2 , R_3 , R_4 und U_4 . 2
Tipp: $U_{aus,cm} = (U_{aus2} + U_{aus1}) / 2$
- e) Geben Sie auf dieser Basis eine Bedingung an, so dass $U_{aus,cm}$ nicht mehr eine Funktion von U_{ein1} und U_{ein2} ist. 4
- f) Welchen Wert muss U_4 annehmen, damit $U_{aus,cm} = 0$ gilt? 1
- g) Gegeben ist $R_1 = R_3 = 10 \text{ k}\Omega$. 5
Geben Sie die Werte von R_2 und R_4 sowie U_4 an, so dass $\Delta U_{aus} / \Delta U_{ein} = 5$ und $U_{aus,cm} = 2.5 \text{ V}$.

Summe: 18

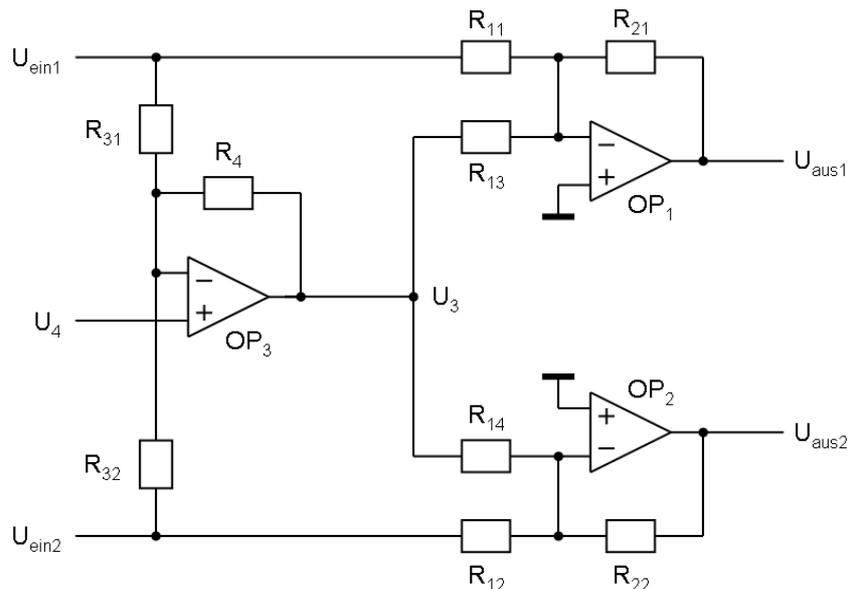


Abbildung 2)

Aufgabe 3:

Gegeben ist die in Abbildung 3 gezeigte Schaltung, die eine CMOS-Implementierung einer logischen Verknüpfung realisiert.

- Ermitteln Sie durch Betrachtung des Pull-Down- oder des Pull-Up-Pfades den logischen Ausdruck y , den die Teilschaltung links realisiert, und geben Sie ihn an. 4
- Ermitteln Sie nun auch den logischen Ausdruck z als Funktion der Eingangsvariablen a, b, c, d und e . 3
- Skizzieren Sie eine Schaltung mit NAND-Gattern, NOR-Gattern und Invertern, die die Funktionen y und z realisiert. Die NAND- und NOR-Gatter dürfen eine beliebig hohe Anzahl an Eingängen aufweisen. 4
- Entwickeln und skizzieren Sie nun eine Schaltung zur Umsetzung der Funktion z , die ausschließlich aus NAND-Gattern mit zwei Eingängen und Invertern besteht. Formen Sie dazu den Ausdruck für z mit den de-Morganschen Regeln in geeigneter Form um. 3
- Wie viele MOS-Transistoren enthalten die in den Aufgabenteilen c) und d) entworfenen Schaltungen jeweils? (kurze Begründung erforderlich) 3
- Wie viele Gatter müssen die angelegten Logiksignale in den Aufgabenteilen c) und d) entworfenen Schaltungen jeweils im Worst-Case durchlaufen, um die Funktion z zu berechnen? (nur Angabe der Zahl erforderlich) 1

Summe: 18

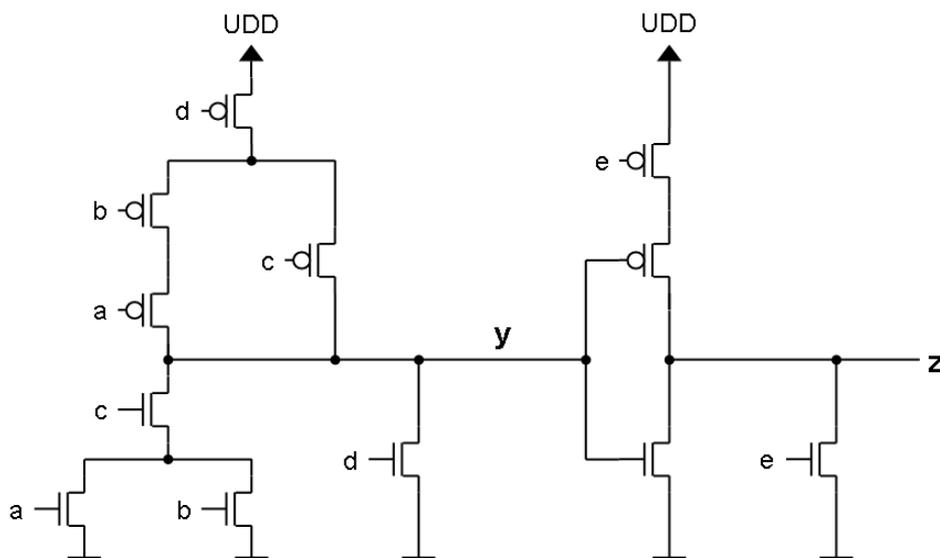


Abbildung 3

Aufgabe 4

Abbildung 4 zeigt einen CMOS-Operationsverstärker mit zwei unabhängigen Eingangsstufen.

Weitere Transistor-Parameter sind:

$$V_{th,n} = 700 \text{ mV}$$

$$V_{th,p} = 600 \text{ mV},$$

$$V_{G,eff} = 200 \text{ mV (für alle Transistoren),}$$

$$k_n = 100 \mu\text{A/V}^2,$$

$$k_p = 40 \mu\text{A/V}^2,$$

$$V_{DD} = 3.3 \text{ V},$$

$$L = 1.5 \mu\text{m} (L_{min} = 350 \text{ nm}) \text{ (für alle Transistoren).}$$

- | | | |
|----|---|----|
| a) | Identifizieren Sie die bekannten Teilschaltungen in Abbildung 4 und benennen Sie sie. | 5 |
| b) | Identifizieren Sie die invertierenden und die nicht-invertierenden Eingänge ($E_{11}, E_{12}, E_{21}, E_{22}$).
(ohne Begründung). | 2 |
| c) | Berechnen Sie den Widerstand R. | 2 |
| d) | Dimensionieren Sie die Weite des Transistors T_{11} (W_{11}). | 2 |
| e) | Dimensionieren Sie nun die Weiten der restlichen Transistoren. | 11 |
| f) | Skizzieren Sie ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild der grau markierten Teilschaltung. | 3 |
| g) | Berechnen Sie die Verstärkung der Teilschaltung aus f) (Formel). | 2 |
| h) | Zeichnen Sie die komplementäre Schaltung. | 3 |

Summe: 30

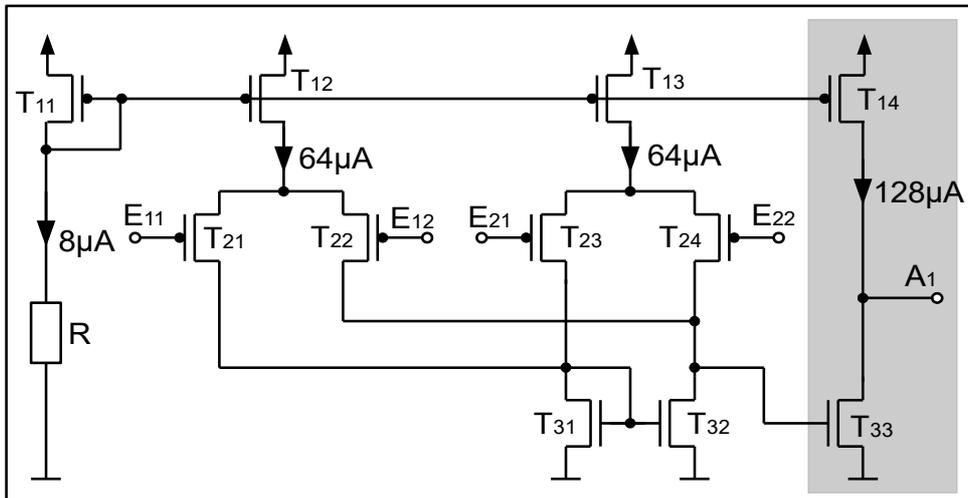


Abbildung 4

Aufgabe 5:

Abbildung 5 zeigt eine einfache Verstärkerschaltung mit PMOS-Eingangstransistor. Gehen Sie davon aus, dass alle Transistoren in Sättigung betrieben werden.

Weitere Transistor- und Schaltungs-Parameter:

$$V_{th,p} = 700 \text{ mV},$$

$$K_p = 25 \mu\text{A/V}^2,$$

$$VDD = 3.3 \text{ V},$$

$$I_{D2} = 100 \mu\text{A},$$

$$I_{D1} = 10 \mu\text{A},$$

$$\lambda = 0,04 \text{ V}^{-1},$$

$$L_{min} = 350 \text{ nm}.$$

$$L_{1,2,3} = 1 \mu\text{m}$$

- a) Benenne sie die Schaltung in Abb.5 möglichst genau 2
- b) T1 besitzt eine Weite von $5 \mu\text{m}$. Berechnen sie den Widerstand R 4
- c) T₁ und T₂ bilden einen Stromspiegel. Berechnen Sie W_2 . 2
- d) Berechnen Sie W_3 . Die effektive Gate-Source-Spannung soll 200mV betragen. 2
- e) Stellen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung auf und berechnen Sie die allgemeine Übertragungsfunktion (Formel). 6
- f) Berechnen Sie die Transkonduktanz g_m von T₃. 3
- g) Der Verstärkungsfaktor soll 0,95 betragen. Gehen Sie davon aus, dass $g_{DS2,3} = g_{DS2} = g_{DS3}$. Berechnen Sie $g_{DS2,3}$. Runden sie das Ergebnis sinnvoll. 4

Hinweise:

- Sollten Sie Aufgabenteil d) nicht gelöst haben, nehmen Sie an, dass gilt Verstärkung = $g_{m3} / (g_{m3} + g_{DS2,3})$.
- Sollten Sie Aufgabenteil e) nicht gelöst haben, gehen Sie davon aus, dass $g_m = 500 \mu\text{S}$.

- h) Eignet sich dieser Verstärker als simpler Kopfhörerverstärker? 2

Hinweis: Der Innenwiderstand von Kopfhörern beträgt typischerweise 32 Ohm.

Begründen Sie ihre Antwort.

Summe: 25

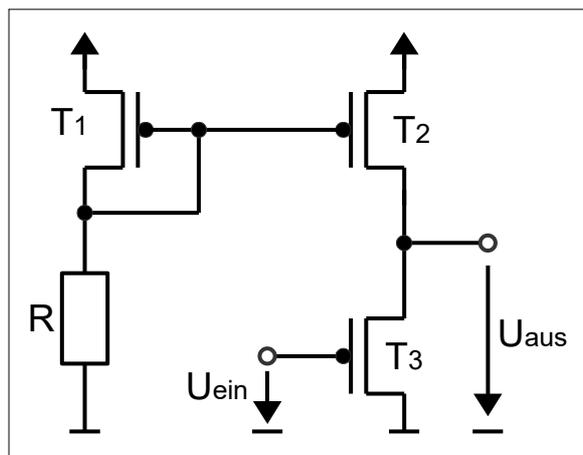


Abbildung 5