



Fachprüfung

Elektronik II

19. März 2025

Name:		Vorname:	
Matr.-Nr.:		Fachrichtung:	

A	B1	B2	B3	Gesamt
/32	/17	/11	/10	/70

Als Unterlagen für die Prüfung ist ein beidseitig handschriftlich beschriebenes DIN-A4-Blatt zugelassen. Alternativ kann auch ein einseitig bedrucktes DIN-A4-Blatt verwendet werden. Die Kombination aus einem teils handschriftlichen und teils bedruckten Blatt ist nicht zulässig und wird unmittelbar als Täuschungsversuch gewertet. In jedem Fall ist das DIN-A4-Blatt mit Name und Matrikelnummer zu versehen. Mobiltelefone sind nicht zugelassen.

Teil A: Kurzfragen

Bitte markieren Sie alle richtigen Aussagen.

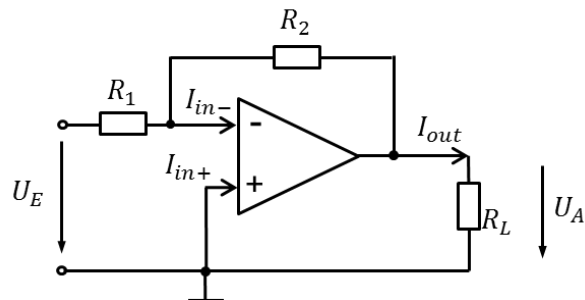
Aufgabe A1

1.1 Logik Gatter (4 Punkte)

- ☐ Ein CMOS-Inverter erreicht im Gegensatz zum n-MOS Inverter einen minimalen logischen Ausgangspegel von 0 Volt.
- ☐ Ein NOR-Gatter in CMOS-Logik benötigt einen zusätzlichen Inverter am Ausgang, um die Logikpegel korrekt darzustellen.
- ☐ Die dynamische Verlustleistung eines CMOS-Gatters ist proportional zur Schaltfrequenz und der Lastkapazität.
- ☒ In Analogschaltungen werden MOS-Transistoren bevorzugt im Sättigungsbereich betrieben, um eine konstante Verstärkung sicherzustellen.

1.2. Invertierender Verstärker (4 Punkte)

- ☐ Die Spannung zwischen den Eingängen des Operationsverstärkers ist immer gleich der Betriebsspannung.
- ☒ Eine Erhöhung des Feedback-Widerstandes R_2 vergrößert betragsmäßig die Verstärkung
- ☐ Der Eingangswiderstand der Schaltung entspricht dem Rückkopplungswiderstand R_2 .
- ☐ Ein Kondensator parallel zum Rückkopplungswiderstand stabilisiert die Temperaturabhängigkeit des Verstärkers.

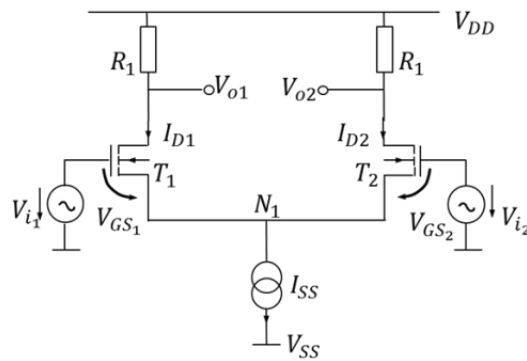


1.3 Bandbreite eines gegengekoppelten OPs (4 Punkte)

- ☒ Die Bandbreite eines gegengekoppelten Spannungsverstärkers ist die Frequenz, bei der die Verstärkung um 3 dB gegenüber ihrem maximalen Wert abgefallen ist.
- ☐ Die Stärke der Rückkopplung eines gegengekoppelten Verstärkers hat keinen Einfluss auf die Bandbreite.
- ☐ Das sog. Verstärkungs-Bandbreite-Produkt (*gain-bandwidth product – GBW*) ist die maximale Verstärkung geteilt durch die Bandbreite bei dieser Verstärkung.
- ☐ Die Amplitude und Phase steigen beide mit zunehmender Frequenz an

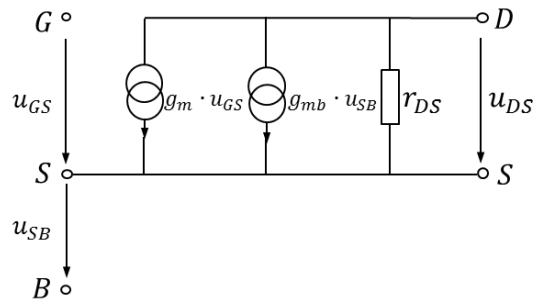
1.4 Großsignalverhalten der Differenzstufe (4 Punkte)

- ☒ Wenn ein Transistor sperrt und der Strom I_{SS} komplett durch den anderen Transistor fließt, ist die obere Grenze für die Eingangsspannung erreicht
- ☒ Der Aussteuerbereich wird durch das W/L-Verhältnis der Transistoren eingestellt
- ☒ Der Aussteuerbereich ist durch den Strom I_{SS} einstellbar
- ☐ Ein kleiner Strom I_{SS} führt zu größerer Verlustleistung



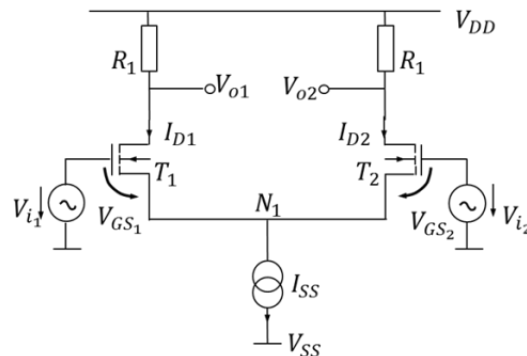
1.5 Kleinsignalverhalten von Transistoren (4 Punkte)

- ☒ Der Parameter g_m ist über das $\frac{W}{L}$ -Verhältnis einstellbar.
- ☐ Der Widerstand r_{DS} modelliert den Substrateffekt im ESB
- ☒ Die Kanallängenmodulation führt zu einem kleineren u_{out} und reduziert somit die Verstärkung.
- ☐ Die Stromquelle $g_{mb} \cdot u_{SB}$ modelliert die Kanallängenmodulation, es gilt $g_{mb} \gg 0$.
- ☒ *Substrateffekt* $g_{mb} \ll 0$



1.6 Differenzstufe (4 Punkte)

- ☒ Schaltungstechnisch ist es sinnvoll die Bulk-Anschlüsse mit Source zu verbinden.
- ☒ Technologisch ist es vorteilhaft die Bulk-Anschlüsse mit Masse zu verbinden.
- ☐ Sowohl schaltungs- und technologietechnisch ist es sinnvoll die Bulk-Anschlüsse mit den jeweiligen Drain-Anschlüssen zu verbinden.
- ☐ Die Bulk-Anschlüsse müssen mit den jeweiligen Gate-Anschlüssen verbunden werden, da ansonsten die Transistoren immer sperren.



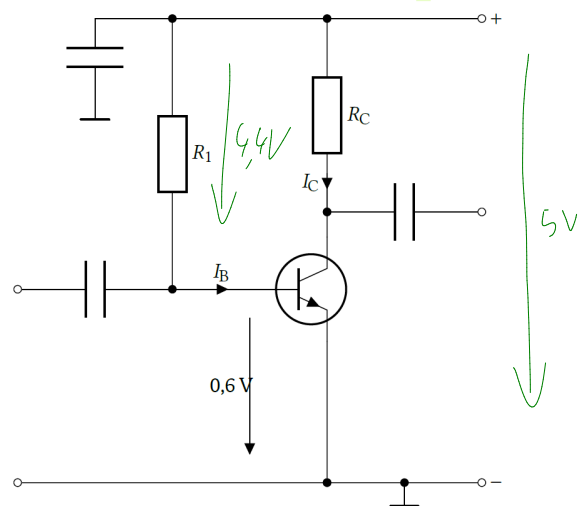
Name: _____



1.7 Die Betriebsspannung beträgt 5 V, der Kollektorstrom soll 4mA betragen, die Gleichstromverstärkung des Transistors beträgt 200. Berechnen Sie den Vorwiderstand R_1 (4 Punkte)

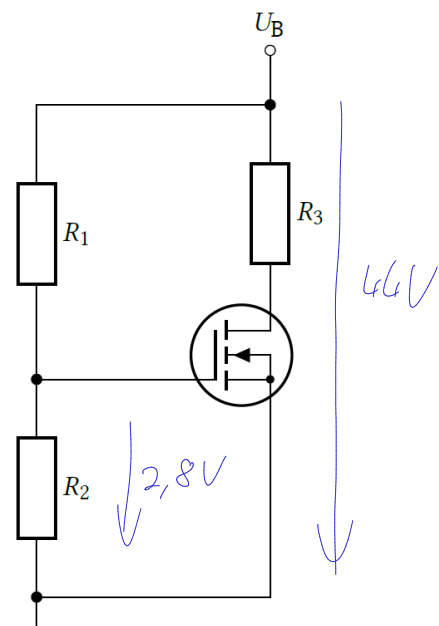
- ☒ ca. 200k Ω
- ☐ ca. 715k Ω
- ☐ ca. 68k Ω
- ☐ ca. 2,3k Ω

Man muss rechnen/überschlagen



1.8 Wie groß muss R_2 gewählt werden, damit sich eine Spannung von 2,8V zwischen Gate und Source einstellt? $U_B=44V$, $R_1=10k\Omega$, $R_3=2,2k\Omega$ (4 Punkte)

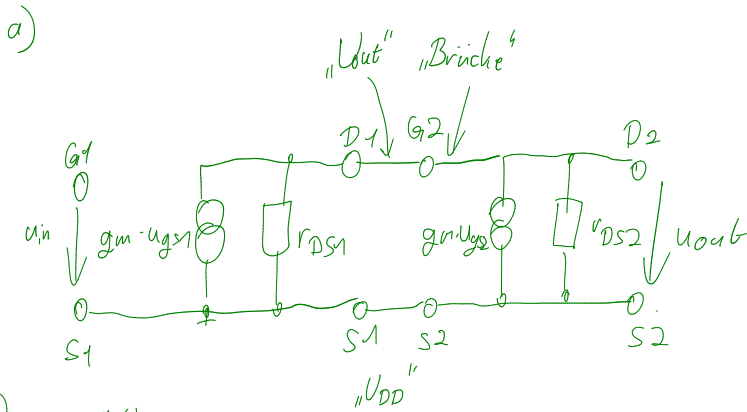
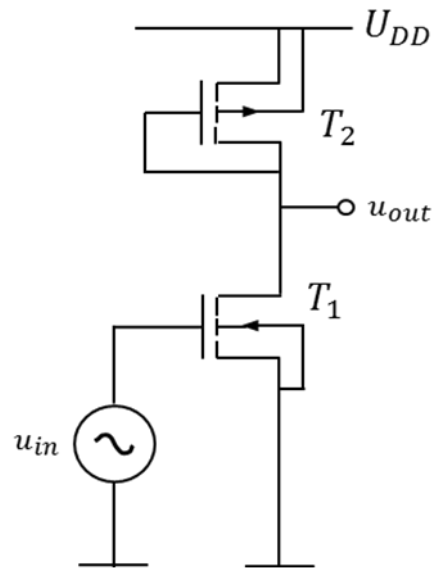
- ☒ ca. 680 Ω
- ☐ ca. 1405 Ω
- ☐ ca. 68 Ω
- ☐ ca. 820 Ω



Teil B: Aufgaben

Aufgabe B1 p-Kanal-Transistor als Lastelement

- Stellen Sie für die nebenstehende Schaltung das Kleinsignalersatzschaltbild (ESB) auf. **(2 Punkte)**
- Bestimmen Sie r_{out} unter der Annahme, dass gilt $g_m \gg \frac{1}{r_{DS}}$. **(2 Punkte)**
- Bestimmen Sie die Kleinsignal-Verstärkung A . **(3 Punkte)**
- Welchen Wert nimmt die Kleinsignal-Verstärkung an, wenn die beiden Transistoren T1 und T2 über ein identisches W/L-Verhältnis verfügen. Nehmen Sie hierbei an, dass gilt $\beta_{0n} \approx 3\beta_{0p}$. **(4 Punkte)**
- Wodurch ist die Annahme $\beta_{0n} \approx 3\beta_{0p}$ zu begründen? **(2 Punkte)**
- Das W/L-Verhältnis von T2 ist nun gegeben mit $\left(\frac{W}{L}\right)_p = \frac{5\mu m}{15\mu m}$. Bestimmen Sie das W/L-Verhältnis von T1 so, dass sich eine Kleinsignal-Verstärkung von -100 ergibt. **(4 Punkte)**



b)

$$r_{out} = \left. \frac{u_{out}}{i_{out}} \right|_{u_{in}=0}$$

$$u_{in}=0 \Rightarrow u_{gs1}=0 \Rightarrow g_{m1} \cdot u_{gs1}=0$$

$$i_{out} = \frac{u_{out}}{r_{DS1} \parallel r_{DS2}} + g_{m2} \cdot u_{gs2}$$

$$\text{mit } u_{gs2} = u_{out}$$

$$\Rightarrow i_{out} = u_{out} (g_{DS1} \parallel g_{DS2} + g_{m2}) \approx u_{out} g_{m2}$$

$$\Rightarrow r_{out} = \frac{1}{g_{m2}}$$

c)

$$A = \left. \frac{u_{out}}{u_{in}} \right|_{u_{out}=0}$$

$$u_{in} = u_{gs1}$$

$$u_{out} = u_{gs2} = 0$$

$$\Rightarrow i_{out} = g_{m1} \cdot u_{in}$$

$$\Rightarrow g = g_{m1}$$

$$A = \frac{g_{m1}}{g_{m2}}$$

d)

$$A = \frac{g_{m1}}{g_{m2}} = \frac{\sqrt{2 \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_1}{L_1} \cdot (V_{GS1} - V_{th})}}{\sqrt{2 \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_2}{L_2} \cdot (V_{GS2} - V_{th})}} = \sqrt{3}$$

$$g_{m1} = \beta \cdot \frac{1}{2} (V_{GS1} - V_{th}) \approx g_s$$

$$= \sqrt{2 \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_1}{L_1}}$$

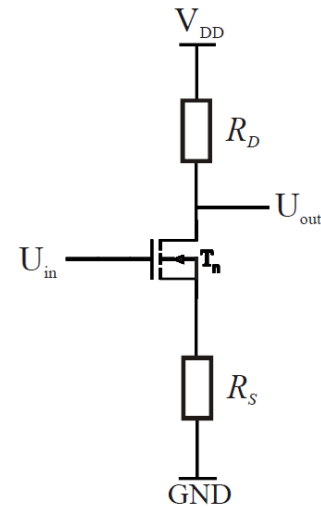
e) Ladungsträgerbeweglichkeit

f) $A = -100 = -\sqrt{\frac{2 \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_1}{L_1}}{2 \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W_2}{L_2}}} = 1111,7$

Aufgabe B2 Analoge Schaltung

Geben sei folgende Schaltung:

$$\begin{aligned}
 V_{DD} &= 5V \\
 U_{Th0n} &= 0,8V \\
 \beta_{0n} &= \frac{100\mu A}{V^2} \\
 \lambda_n &= 0,1V^{-1} \\
 R_S &= 35k\Omega \\
 R_D &= 100k\Omega
 \end{aligned}$$



- Dimensionieren Sie den Transistor so dass der Arbeitspunkt ($U_{in} = 2,5V$, $U_{out} = 2,5V$) eingestellt wird. Welche Spannung fällt über dem Widerstand R_S ab? (die Kanallängenmodulation λ kann bei dieser Dimensionierung vernachlässigt werden) **(3 Punkte)**
- Skizzieren Sie das Kleinsignal-ESB für die Schaltung. (Die Kapazitäten sind nicht zu berücksichtigen) **(3 Punkte)**
- Berechnen Sie die Kleinsignalparameter des Transistors (g_m , g_{DS}). **(2 Punkte)**
- Berechnen Sie den Wert der Verstärkung der Schaltung. **(3 Punkte)**

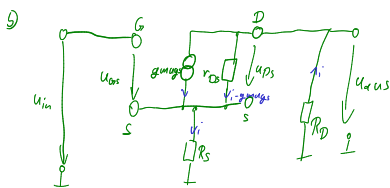
a) analoge Schaltung \Rightarrow Sättigungsbereich

$$I_D = \frac{\beta_0}{2} \cdot \frac{W}{L} (U_{GS} - U_{Th})^2$$

$$I_D = \frac{5V - 2,5V}{100k\Omega} = 25\mu A$$

$$U_{GS} = U_{in} - I_D \cdot R_S = 1,625V$$

$$\Rightarrow \frac{W}{L} = 0,735$$



$$g_m = \beta (U_{GS} - U_{Th}) = 60,6 \frac{\mu A}{V}$$

$$r_{DS} = \frac{\beta}{2} (U_{GS} - U_{Th}) \cdot \lambda = 400k\Omega$$

d) siehe Übung 7

wier $A = \frac{u_{out}}{u_{in}}$

$$u_{GS} = i \cdot R_S$$

$$u_{GS} = i \cdot R_S$$

$$u_{GS} = u_{in} - i \cdot R_S$$

$$A \approx -7,73$$

$$r_{out} = \frac{u_{out}}{i_{out}} \Big|_{u_{in}=0}$$

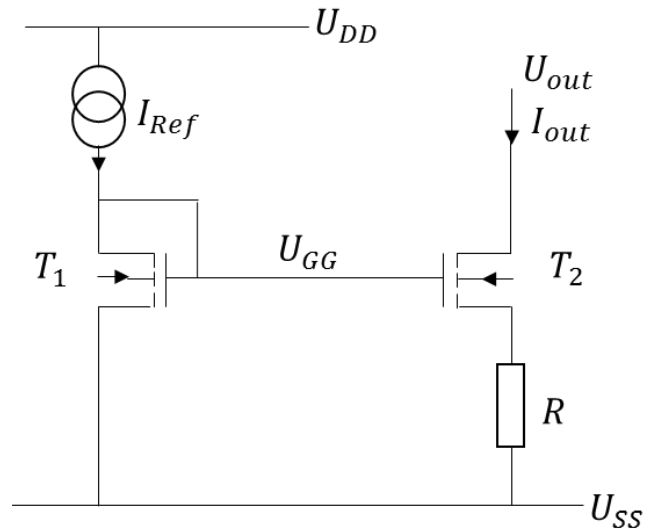
$$g = \frac{i_{out}}{u_{in}} \Big|_{u_{out}=0}$$

$$A = g \cdot r_{out} \text{ oder } A = \frac{u_{out}}{u_{in}} \Big|_{i_{out}=0}$$

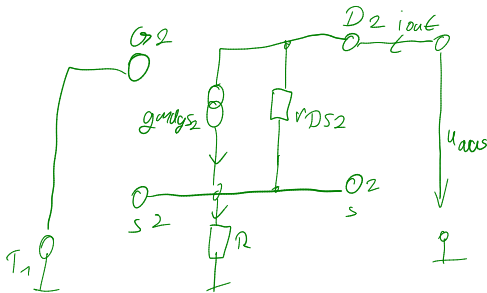
Aufgabe B3

Stromspiegel mit Gegenkopplung

- Stellen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild (ESB) für die nebenstehende Schaltung auf. **(2 Punkte)**
- Das Gatepotential U_{GG} des Transistor T_1 kann als konstant angesehen und damit im ESB auf Masse gelegt werden. Ermitteln Sie den Ausgangswiderstand der Schaltung. **(2 Punkte)**
- Ersetzen Sie den Widerstand R in der nebenstehenden Schaltung so durch einen Transistor, dass eine Stromspiegel-Kaskode entsteht. **(2 Punkte)**
- Berechnen Sie den Ausgangswiderstand für die Stromspiegel-Kaskode. **(2 Punkte)**
- Bestimmen Sie die minimale Ausgangsspannung U_{out} der Stromspiegel-Kaskode. **(2 Punkte)**



a)

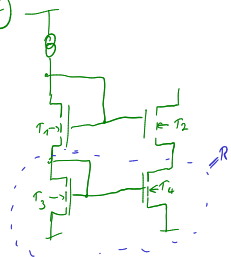


$$b) r_{out} = \frac{U_{out}}{I_{out}} \bigg|_{U_{in}=0}$$

$$r_{out} = R + r_{DS1} (1 + g_{m1} R)$$

$$\approx R + r_{DS1} g_{m1} R$$

c)



$$d) R \approx r_{DS1}$$

$$r_{out} \approx r_{DS1} g_{m1} R$$

$$e) U_{out} > U_{GS1} + U_{GS2} + U_{GS3} + U_{GS4}$$