

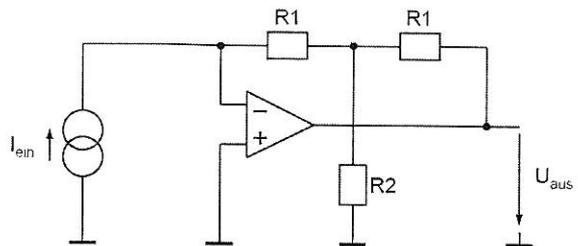
Klausur (1) zur Vorlesung Schaltungstechnik TU Berlin, Sommersemester 2010

Name:	Matr.-Nr.:
Studiengang:	Bachelor / Master / Diplom:

Bitte vergessen Sie nicht, alle abgegebenen Blätter mit Namen und Matr.-Nr. zu versehen.

Aufgabe 1:

Die nebenstehende Operationsverstärker-Schaltung wird für die Strom-Spannungswandlung von sehr kleinen Eingangsströmen (z.B. in Sensorikanwendungen) genutzt.



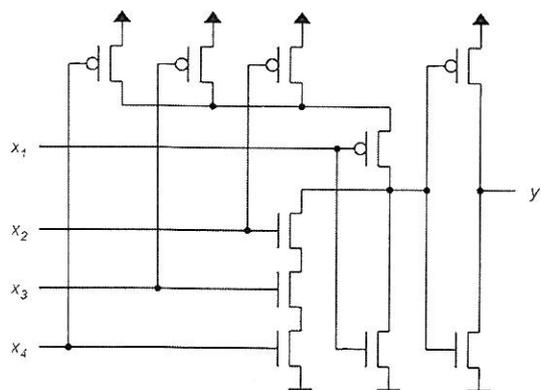
- a) Berechnen Sie U_{aus} als Funktion von I_{ein} . 6 P
- b) Ein Stromsignal mit einer Amplitude von 1 nA soll am Ausgang der Schaltung in ein Spannungssignal mit einer Amplitude von 1 V umgesetzt werden. Gegeben sei $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$. Dimensionieren Sie R_2 . 2 P
- c) Die Schaltung soll zur Detektion eines Stromgrenzwertes erweitert werden, indem ein weiterer als Komparator mit Hysterese beschalteter Operationsverstärker hinzugefügt wird. Die Referenzspannung U_{ref} für den Komparator soll durch eine zusätzliche Spannungsquelle realisiert werden. Zeichnen Sie die resultierende gesamte Schaltung. 4 P
- d) Der Komparator soll bei $I_{ein} = 2.25 \text{ nA}$ und 1.75 nA Eingangsstrom sein Ausgangssignal wechseln. Der Komparator möge an seinem Ausgang die Spannungen $U_{DD} = 5 \text{ V}$ und $U_{SS} = -5 \text{ V}$ annehmen können. Geben Sie den Wert von U_{ref} an und dimensionieren Sie die Widerstände des Mitkopplungszweiges, die Werte sollten dabei im Bereich von $\text{k}\Omega \dots \text{M}\Omega$ liegen. 8 P

Summe = 20 P

Aufgabe 2:

Gegeben ist die angegebene Schaltung, die eine logische Verknüpfung realisiert.

- a) Stellen Sie die Wahrheitstabelle auf. 4 P
- b) Geben Sie die realisierte logische Funktion an (durch "Hinschauen" oder aus der Wahrheitstabelle ermittelt). 4 P
- c) Setzen Sie diese Funktion mit den Standardgattern NAND, NOR, und Inverter um und skizzieren Sie die sich ergebende Schaltung. 2 P



Summe = 10 P

Aufgabe 5:

Gegeben ist das unten angegebene Karnaugh-Diagramm, das den logischen Ausdruck für eine erste Ausgangsvariable y_1 repräsentiert, sowie eine Wahrheitstabelle, die den logischen Ausdruck für eine zweite Ausgangsvariable y_2 repräsentiert.

- Gesucht ist die Funktion $z = y_1 \wedge \bar{y}_2$. Geben Sie diese in möglichst einfacher Form an. 6 P
- Realisieren Sie die Funktion z ausschließlich durch Verwendung von NOR-Gattern (mit einer beliebigen Anzahl von Eingängen) und von Invertern und skizzieren Sie die Schaltung. 4 P
- Berechnen Sie die Anzahl verwendeter MOS-Transistoren in der Schaltung aus b). 2 P

y_1 :

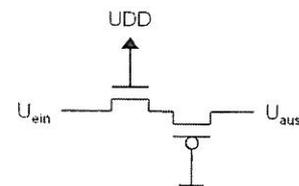
		x1	0	0	1	1
		x2	0	1	1	0
x3	x4					
0	0	1	1	1	0	
0	1	1	0	1	0	
1	1	1	1	1	0	
1	0	0	0	0	1	

y2	x1	x2	x3	x4
1	0	0	0	0
1	1	0	0	0
0	0	1	0	0
0	1	1	0	0
1	0	0	1	0
1	1	0	1	0
0	0	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	0	0	1
1	1	0	0	1
0	0	1	0	1
1	1	1	0	1
0	0	0	1	1
1	1	0	1	1
0	0	1	1	1
1	1	1	1	1

Summe = 12 P

Aufgabe 6:

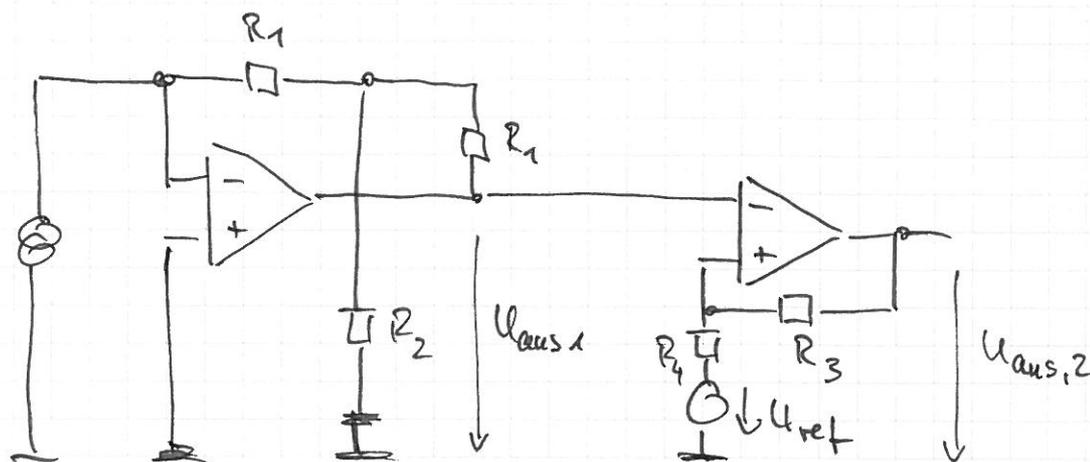
Gegeben ist die nebenstehend gezeigte Serienschaltung aus einem n-MOS- und einem p-MOS-Transistor. Technologie- und Transistorkenngrößen sind $k_n = 80 \mu\text{A} / \text{V}^2$, $k_p = 30 \mu\text{A} / \text{V}^2$, $U_{th,n} = 700 \text{ mV}$, $U_{th,p} = 900 \text{ mV}$, $L = L_{min} = 0.5 \mu\text{m}$, $W = 10 \mu\text{m}$ für beide Transistoren, $U_{DD} = 5 \text{ V}$. Der Spannungsabfall über beide Transistoren, d.h. die Differenz $U_{aus} - U_{ein}$, sei vernachlässigbar gering für alle folgende Berechnungen.



- Geben Sie den Gesamtwiderstand als Funktion von U_{ein} an (Formel). 4 P
- Bei welchem Wert von U_{ein} liegt das Minimum des Gesamtwiderstands (Formel)? 4 P
- Berechnen Sie den Wert des Gesamtwiderstands im Minimum, bei $U_{ein} = 1.2 \text{ V}$ und bei $U_{ein} = 3.8 \text{ V}$, und skizzieren Sie den Verlauf des Gesamtwiderstandes als Funktion von U_{ein} . (Berechnen Sie dafür ggf. auch Werte für niedrige und hohe Werte von U_{ein}). 8 P

Summe = 16 P

c)



Schaltschwellen:

$$d) \quad U_{aus,1} (I_{ein} = 2.25 \mu A) = -2.25 V \quad \text{Wert}$$

$$U_{aus,1} (I_{ein} = 1.75 \mu A) = -1.75 V \quad \text{Wert}$$

Schwelle 1:

$$U_{ref} + (U_{aus,2} - U_{ref}) \frac{R_4}{R_3 + R_4} = -1.75 V \quad \text{Formel 1}$$

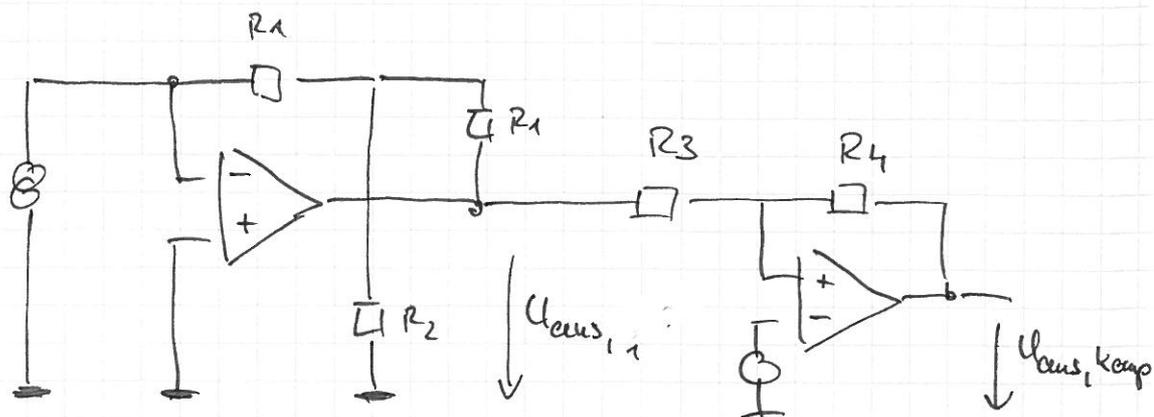
$$U_{ref} \frac{R_3}{R_3 + R_4} + 5V \frac{R_4}{R_3 + R_4} = -1.75 V \quad (1)$$

Schwelle 2:

$$U_{ref} \frac{R_3}{R_3 + R_4} - 5V \frac{R_4}{R_3 + R_4} = -2.25 V \quad (2)$$

$$* \quad \left[\begin{array}{l} (1) + (2) : \quad 2 U_{ref} \frac{R_3}{R_3 + R_4} = -1.75 V - 2.25 V = -4 V \\ \Rightarrow U_{ref} = -2 V \left(1 + \frac{R_4}{R_3} \right) \end{array} \right.$$

c) Bild: Alternative



d) Schwelle 1:

$$-2.25V + [5V - (-2.25V)] \frac{R_3}{R_3 + R_4} = U_{ref}$$

$$-2.25V \frac{R_4}{R_3 + R_4} + 5V \frac{R_3}{R_3 + R_4} = U_{ref} \quad (1)$$

Schwelle 2:

$$-1.75V \frac{R_4}{R_3 + R_4} - 5V \frac{R_3}{R_3 + R_4} = U_{ref} \quad (2)$$

$$(1) - (2) \Rightarrow$$

$$-0.5V R_4 + 10V R_3 = 0$$

$$\Rightarrow R_4 = 20 R_3$$

$$\text{in (1): } U_{ref} = -2.25V \frac{20}{21} + 5V \frac{1}{21}$$

$$= -1.905V$$

(1) - (2):

$$10V \frac{R_4}{R_3 + R_4} = 0.5V$$

$$\Rightarrow 1 + \frac{R_3}{R_4} = 20$$

$$\Rightarrow R_3 = 19 R_4 \quad **^1$$

*

$$\Rightarrow U_{ref} = -2V \left(1 + \frac{1}{19}\right)^1 = -2,105V^1$$

** Wähle zB $R_4 = 10k\Omega$, $R_3 = 190k\Omega$ 1

Aufgabe 2

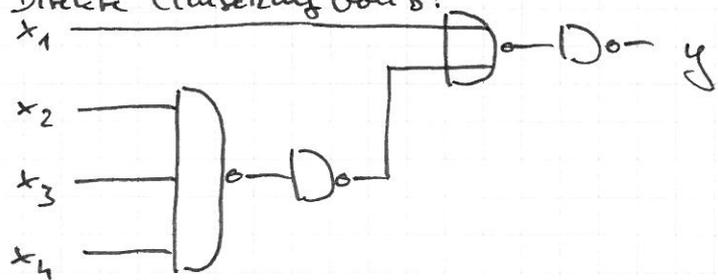
a)

x_1	x_2	x_3	x_4	\bar{y}	y
0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	0
0	1	0	1	1	0
0	1	1	0	1	0
0	1	1	1	0	1
1	0	0	0	0	1
1	0	0	1	0	1
1	0	1	0	0	1
1	0	1	1	0	1
1	1	0	0	0	1
1	1	0	1	0	1
1	1	1	0	0	1
1	1	1	1	0	1

b) $y = x_1 \vee (x_2 \wedge x_3 \wedge x_4)$ (werden auch (mit voller Punktzahl) akzeptiert)

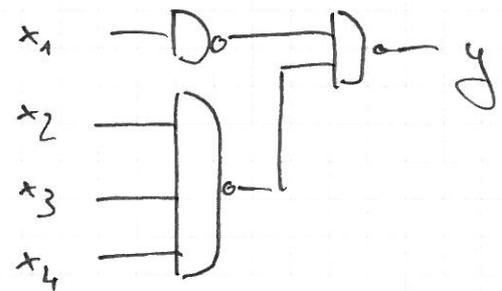
alternative, wenn auch in der Regel kompliziertere Aufgabenlösung

c) Direkte Umsetzung von b):



Alternativ mit

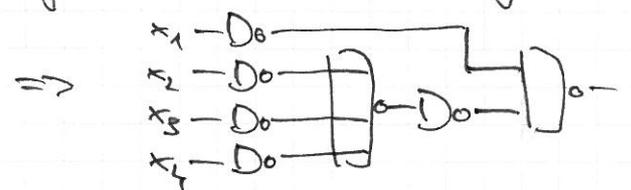
$$x_1 \vee (x_2 \wedge x_3 \wedge x_4) = \overline{\overline{x_1} \wedge \overline{x_2 \wedge x_3 \wedge x_4}}$$



und (bei voller Punktzahl) akzeptiert

weitere alternative Tüpfelkreise zulässig, z.B.:

$$\overline{\overline{x_1} \wedge \overline{x_2 \wedge x_3 \wedge x_4}} = \overline{\overline{x_1} \wedge (\overline{x_2} \vee \overline{x_3} \vee \overline{x_4})}$$



Aufgabe 3

- a) $T_{21}, T_{22}, (T_{12}), R_{21}, R_{22}$
 → Diffst. mit ohmscher Last
 $T_{23}, T_{24}, (T_{13}), R_{23}, R_{24}$
 → Diffst. mit ohmscher Last 1
 T_{11}, T_{12}, T_{13}
 → Stromspiegel 1

b)

$$g_{m2} \cdot R_2 \text{ für eine Diffstufe} \quad 1$$

$$(g_{m2} \cdot R_2)^2 \text{ für gesamte Sch.} \quad 1$$

c) $I(T_{2x}) = I(R_{2x}) \quad 1$

$$I(R_{2x}) = \frac{1V}{5k\Omega} = 200\mu A \quad 1$$

$$I(T_{2x}) = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{eff}^2 \quad 1$$

$$g_m = \frac{W}{L} k U_{eff} \quad 1$$

$$g_m = \frac{10}{R} = \frac{10}{5k\Omega} = 2 \frac{mA}{V}$$

$$U_{eff} = \frac{2I}{g_m} = 2 \cdot \frac{200\mu A}{2 \frac{mA}{V}} = 0,2 V \quad 1$$

$$W = \frac{2 \cdot I \cdot L}{k U_{eff}^2} \quad 1$$

$$= \frac{2 \cdot 200\mu A \cdot 0,7\mu m}{140 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 0,04 V^2} = \frac{2 \cdot 20 \cdot 7}{4 \cdot 1,4} \mu m = 50 \mu m \quad 1$$

d) W gleich für alle Transistoren,
aber $I(T_{1x}) = 2 I(T_{2x})$ 1

$$U_{\text{eff}}^2(T_{1x}) = 2 U_{\text{eff}}^2(T_{2x})$$

$$U_{\text{eff}}(T_{1x}) = \sqrt{2} U_{\text{eff}}(T_{2x}) \quad 1$$

e) $U_{\text{eff}}(T_{1x}) = \sqrt{2} \cdot 200 \text{ mV} = 282 \text{ mV}$ 1

f) $U_Q(T_{11}) = U_{\text{th}} + U_{\text{eff}}(T_{11})$ 1
 $= 0.6 \text{ V} + 282 \text{ mV} = 0,882 \text{ V}$

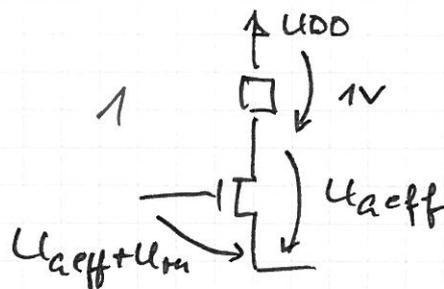
$$I(R_1) = \frac{U_{\text{DD}} - U_Q(T_{11})}{R_1} \quad 1$$

$$I(T_{11}) = I(R_1) = \underline{400 \mu\text{A}} \quad 1$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{U_{\text{DD}} - U_Q}{I} = \frac{3.3 \text{ V} - 0.882 \text{ V}}{400 \mu\text{A}} \quad 1$$

$$= 6,045 \text{ k}\Omega$$

g) "Grenze oben":



$$U_{\text{ein, max}} = U_{\text{DD}} - (1\text{V} + U_{\text{eff}}) + U_{\text{eff}} + U_{\text{th}}$$

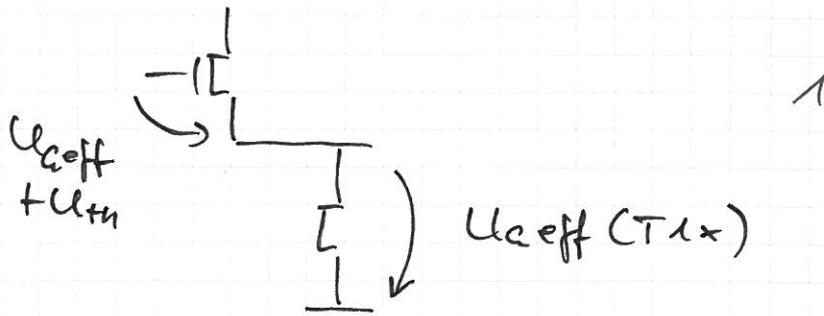
$$= U_{\text{DD}} - 1\text{V} + U_{\text{th}} \quad 1$$

$$= 3.3\text{V} - 1\text{V} + 0.6\text{V}$$

$$= \underline{\underline{2.9 \text{ V}}} \quad 1$$

"Grenze unten":

3-3



$$\begin{aligned} U_{ein, min} &= U_{eff}(T2x) + U_{th} + U_{eff}(T1x) \quad 1 \\ &= (1 + \sqrt{2}) U_{eff}(T2x) + U_{th} \\ &= 200 \text{ mV} + 600 \text{ mV} + 282 \text{ mV} \\ &= 1,082 \text{ V} \quad 1 \end{aligned}$$

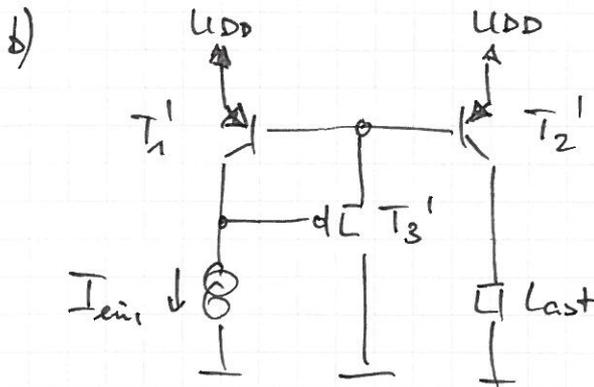
Aufgabe 4 :

a) $I_{ems} = I_{ein}$ (exakt) 2

da :

- T_1 identisch T_2
- der Basisstrom für T_1 und T_2 wird I_{ein} entnommen wird, sondern über T_3 UDD 2 ↓
- U_{CE} für T_1 und T_2 als verschleißsicher vorgegeben ist

entn. wird



- p_{up} mit E gegen UDD 2
- p_{ROS} zwischen B und Masse 2
- I_{ein} & R_{last} korrekt 2
- Pfeile

p_{up} 1

p_{ROS} 1

p_{up} mit E gegen UDD 1

p_{ROS} zwischen B und Masse 1

I_{ein} , R_{last} korrekt 1

Pfeile 1

Aufgabe 5)

a) Einfachster Ansatz:

Zusätzlicher Eintrag der Daten \bar{y}_2 in K.-Diagramm:

x_3	x_4	x_1	0	0	1	1
0	0	1,0	1,1	1,1	0,0	
0	1	1,1	0,1	1,0	0,0	
1	1	1,1	1,1	1,0	0,0	
1	0	0,0	0,1	0,1	1,0	

Negation y_2 : 2

→ Verwindung der Daten ergibt folgendes K.-Diagramm

x_3	x_4	x_1	0	0	1	1
0	0	0	1	1	0	
0	1	1	0	0	0	
1	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	0	

Darstellung $y_1 \wedge \bar{y}_2$: 2

$$\begin{aligned}
 z &= (x_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \vee (\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_4) \vee (\bar{x}_1 \wedge x_3 \wedge x_4) \\
 &= (x_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \vee [(\bar{x}_1 \wedge x_4) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_3)] \quad 2
 \end{aligned}$$

b) z davor umstellen, dass OR oder NOR-Funktionen in "(...)" stehen und erhaltene Fkt. umsetzen

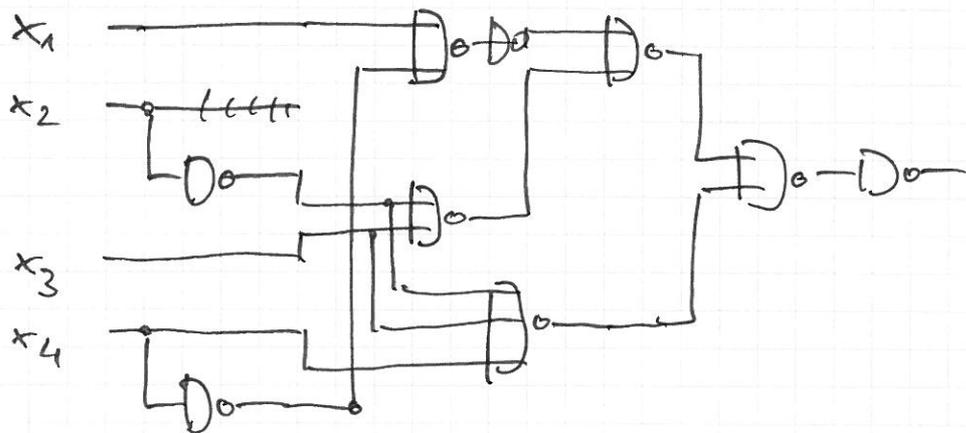
c) Je nach Schaltung versch. Inverter \rightarrow 2 Tr. } S. nächste Seite
 NOR-Gatter mit N Eingängen: \rightarrow 2N Tr.

$$\begin{aligned}
 b) \quad z &= (x_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \vee [(\bar{x}_1 \wedge x_4) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_3)] \\
 &= (\overline{\bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4}) \vee [(\overline{x_1 \vee \bar{x}_4}) \wedge (\bar{x}_2 \vee x_3)] \\
 &= \dots \vee \overline{\overline{(x_1 \vee \bar{x}_4)} \vee (\bar{x}_2 \vee x_3)} \\
 &= \overline{\overline{\bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4} \vee \overline{(x_1 \vee \bar{x}_4)} \vee (\bar{x}_2 \vee x_3)}
 \end{aligned}$$

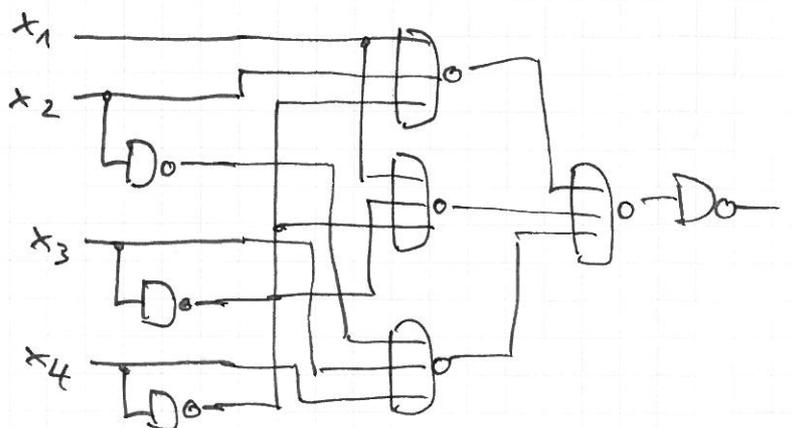
Alternativ:

$$\begin{aligned}
 z &= (x_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \vee (\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_4) \vee (\bar{x}_1 \wedge x_3 \wedge x_4) \\
 &= (\overline{\bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4}) \vee (\overline{x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_4}) \vee (\overline{x_1 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4}) \\
 &= \overline{\overline{\bar{x}_2 \vee x_3 \vee x_4} \vee \overline{(x_1 \vee x_2 \vee \bar{x}_4)} \vee \overline{(x_1 \vee \bar{x}_3 \vee \bar{x}_4)}}
 \end{aligned}$$

Lösung zu 1.:



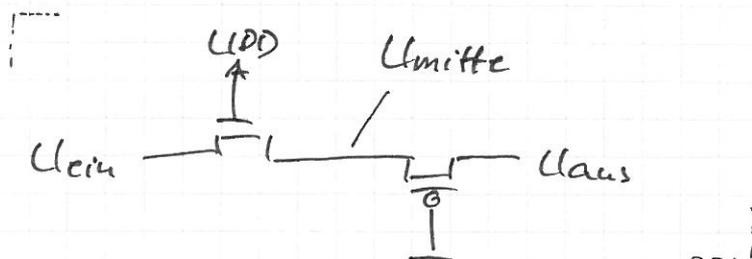
Lösung zu 2.:



+ weiter Alt.

Aufgabe 6

- a) Spannungsabfall $U_{aus} - U_{ein}$ gering
 \Rightarrow Transistoren im linearen Bereich
 Beschreibung



$$n\text{-MOS: } \vec{I}_D = \frac{W}{L} k_n U$$

$$\text{und } U_{ein} \approx U_{mitte} \approx U_{aus}$$

$$\Rightarrow R_{nMOS} = \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_n k_n (U_{ODD} - U_{th,n} - U_{ein})}$$

$$R_{pMOS} = \frac{1}{\left(\frac{W}{L}\right)_p k_p (U_{ein} - U_{th,p})}$$

$$R_{ges} = R_{nMOS} + R_{pMOS}$$

$$= \frac{L}{W} \left[\frac{1}{k_n} \frac{1}{U_{ODD} - U_{th,n} - U_{ein}} + \frac{1}{k_p} \frac{1}{U_{ein} - U_{th,p}} \right]$$

$$b) \quad \frac{\partial R_{ges}}{\partial U_{ein}} = \frac{L}{w} \left[\frac{1}{k_n} \frac{+1}{(U_{DD} - U_{TH,n} - U_{ein})^2} - \frac{1}{k_p} \frac{1}{(U_{ein} - U_{TH,p})^2} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial R_{ges}}{\partial U_{ein}} = 0 \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow k_n (U_{DD} - U_{TH,n} - U_{ein})^2 = k_p (U_{ein} - U_{TH,p})^2$$

$$U_{ein} - U_{TH,p} = \sqrt{\frac{k_n}{k_p}} (U_{DD} - U_{TH,n} - U_{ein})$$

$$U_{ein} \left(1 + \sqrt{\frac{k_n}{k_p}} \right) = \sqrt{\dots} U_{DD} - \sqrt{\dots} U_{TH,n} + U_{TH,p}$$

$$U_{ein} = \frac{\sqrt{\dots}}{1 + \sqrt{\dots}} (U_{DD} - U_{TH,n}) + \frac{1}{1 + \sqrt{\dots}} U_{TH,p}$$

$$\frac{\partial^2 R_{ges}}{\partial U_{ein}^2} = \frac{L}{w} \left[\frac{1}{k_n} \frac{2}{(U_{DD} - U_{TH,n} - U_{ein})^3} + \frac{1}{k_p} \frac{2}{(U_{ein} - U_{TH,p})^3} \right]$$

Da $U_{DD} - U_{TH,n} - U_{ein} > 0$ und $U_{ein} - U_{TH,p} > 0$
(sonst würde einer der Transistoren sperren)

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 R_{ges}}{\partial U_{ein}^2} > 0 \Rightarrow \text{Min in } U_{ein,0} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
 c) \quad U_{\text{em0}} &= \frac{\sqrt{\frac{80}{30}}}{1 + \sqrt{\frac{80}{30}}} (5V - 0.7V) + \frac{1}{1 + \sqrt{\frac{80}{30}}} \cdot 0.9V \\
 &= 0.62 \cdot 4.3V + 0.38 \cdot 0.9V \\
 &\approx 3.008V \quad \textcircled{1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_{\text{ges, min}} &= R_{\text{ges}} (U_{\text{em}} = 3.008V) \\
 &= \frac{0.5}{10} \left[\frac{1}{80 \frac{\mu A}{V^2}} \frac{1}{5V - 0.7V - 3.008V} + \frac{1}{30 \frac{\mu A}{V^2}} \frac{1}{3.008V - 0.9V} \right] \\
 &= 1.274 \text{ k}\Omega \quad \textcircled{1}
 \end{aligned}$$

$$R_{\text{ges}} (U_{\text{em}} = 1.2V) = \dots = 5.757 \text{ k}\Omega \quad \textcircled{1}$$

$$R_{\text{ges}} (U_{\text{em}} = 3.8V) = \dots = 1.825 \text{ k}\Omega \quad \textcircled{1}$$

→ Plot / Skizze

Verlauf

②

Grenzen

②