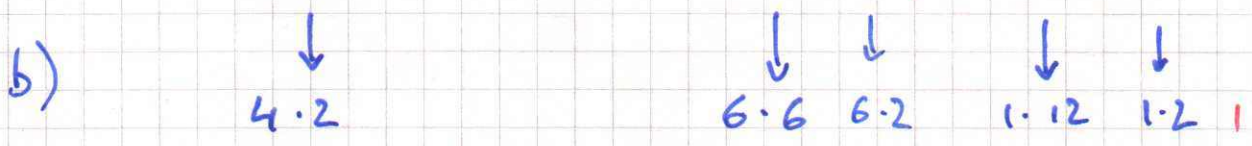
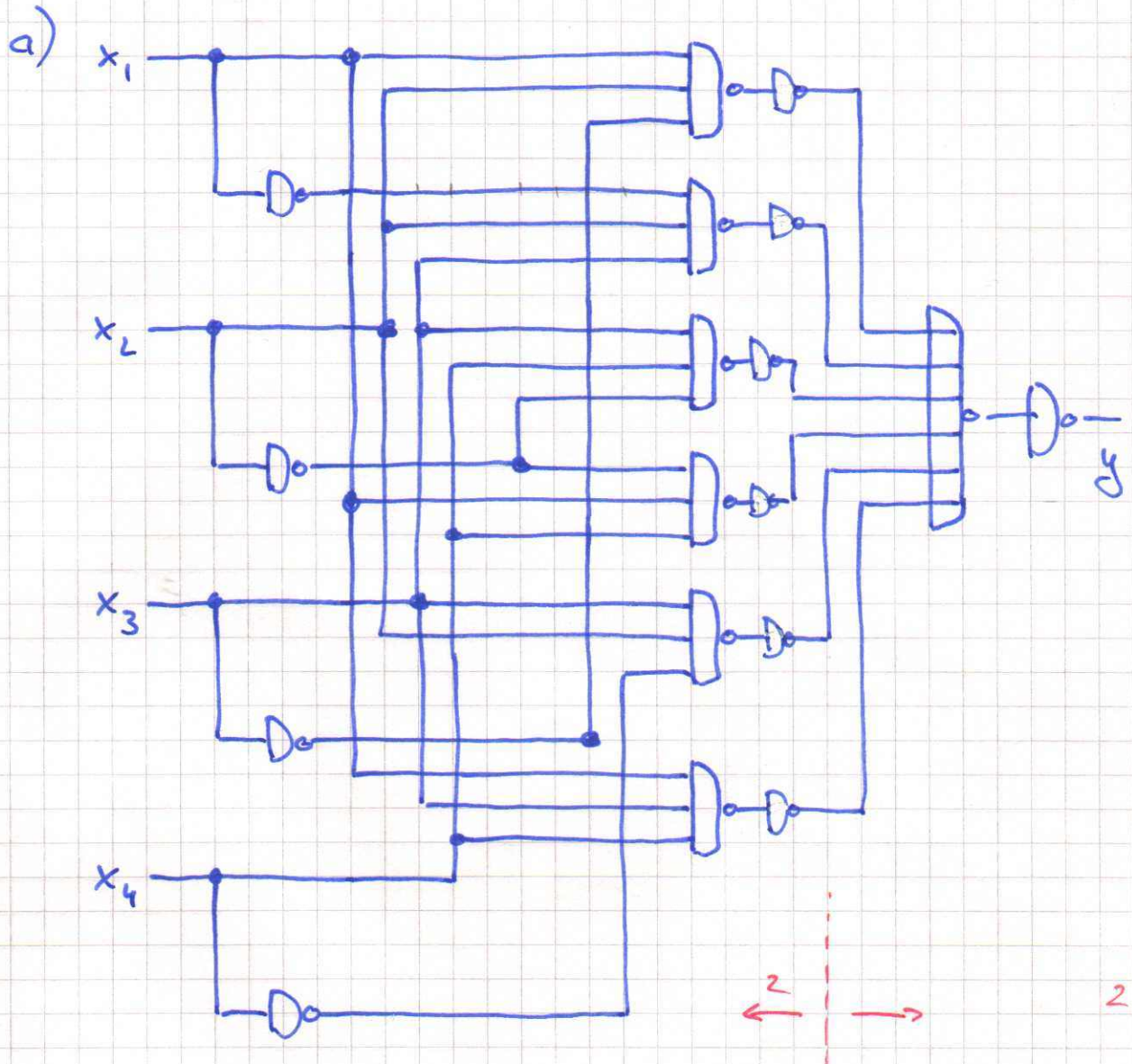


Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
 Musterlösung

zu Aufgabe 1)



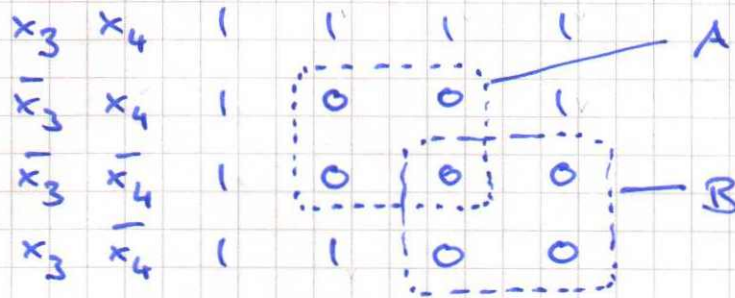
$$\begin{aligned}
 &\Rightarrow \text{Summe Anzahl Transistoren} \\
 &= 4 \cdot 2 + 6 \cdot 6 + \overset{6 \cdot 2}{\sqrt{}} 1 \cdot 12 + 1 \cdot 2 \\
 &= 8 + 36 + 12 + 12 + 2 \\
 &= \underline{\underline{70}}
 \end{aligned}$$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011

Musterlösung

c)

x_1 \bar{x}_1 \bar{x}_1 x_1
 x_2 x_2 \bar{x}_2 \bar{x}_2



2

$$A = \bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3$$

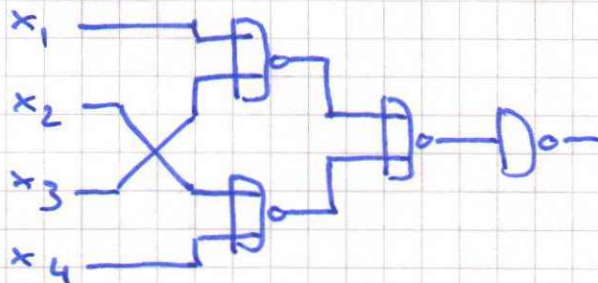
$$B = \bar{x}_2 \wedge \bar{x}_4$$

$$\bar{y} = (\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3) \vee (\bar{x}_2 \wedge \bar{x}_4)$$

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

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

2



2

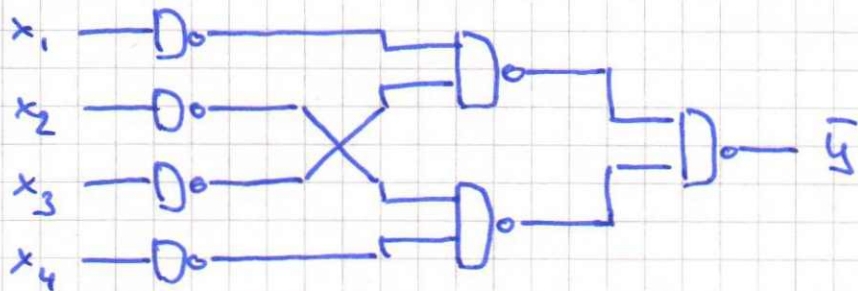
$$\left[\text{Alternativ:} \right. \\ \left. = \dots = \overline{(x_1 \vee x_3)} \wedge \overline{(x_2 \vee x_4)} \right]$$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011

d)

$$\begin{aligned}\bar{y} &= (\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3) \vee (\bar{x}_2 \wedge \bar{x}_4) \\ &= \overline{(\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3) \wedge (\bar{x}_2 \wedge \bar{x}_4)}\end{aligned}$$

2



2

e) Addition eines weiteren Inverters
(2 Transistoren) am Ausgang.

2

Schaltungstechnik 2011 — Klausur 27.07.2011
Musterlösung

zu Aufgabe 2)

$$\begin{aligned} a) \quad \frac{R_{11}}{R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}} &= \frac{1}{4} \\ \frac{R_{11} + R_{12}}{R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}} &= \frac{1}{2} \\ \frac{R_{11} + R_{12} + R_{13}}{R_{11} + R_{12} + R_{13} + R_{14}} &= \frac{3}{4} \end{aligned}$$

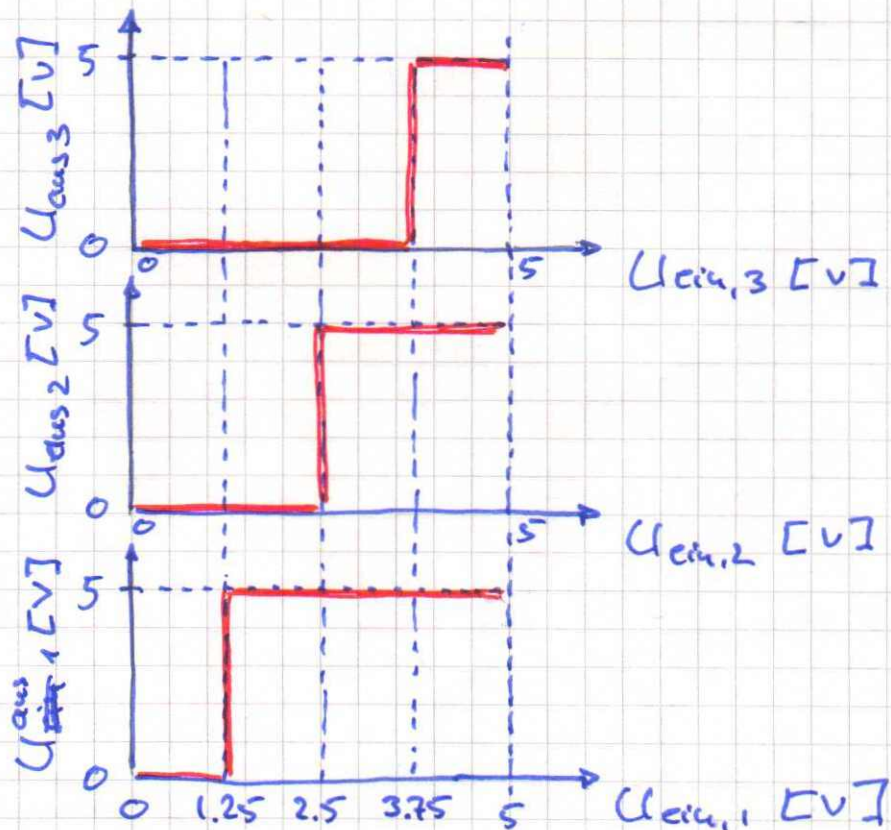
$$R_{11} = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_{14} = R_{13} = R_{12} = R_{11} = 10 \text{ k}\Omega$$

2

(Angabe der Werte hinreichend für volle
Punktzahl)

b)



2

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011

Musterlösung

c)

Steigende Werte
von U_{ein} ↓

	C_3	C_2	C_1	Z_2	Z_1
	0	0	0	0	0
	0	0	1	0	1
	0	1	1	1	0
	1	1	1	1	1

2

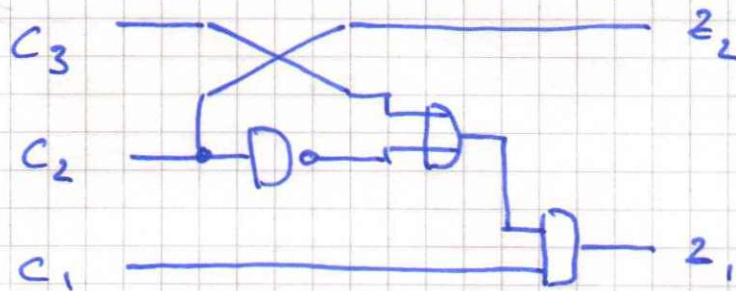
d) Logikfunktionen:

$$Z_2 = C_2$$

1

$$Z_1 = C_1 \wedge (\bar{C}_2 \vee C_3)$$

2

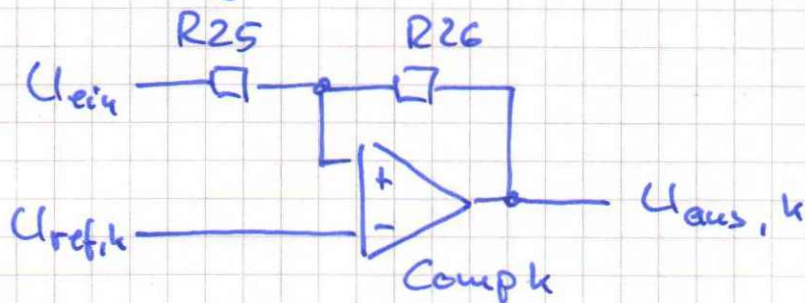


1

(Alternative Ausführungen möglich)

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

c) Konfiguration:



Betrachtung der Schwellen allgemein:

$$U_{ref,k} = U_{ein} + (U_{aus} - U_{ein}) \frac{R_{25}}{R_{25} + R_{26}}$$

\uparrow U_{schw-} \uparrow U_{schw+}

2

Betrachtung der höheren Schwelle U_{schw+} :

$$U_{aus,k} = U_{ss} = 0$$

$$\Rightarrow U_{ref,k} = U_{schw+} \frac{R_{26}}{R_{25} + R_{26}}$$

$$\Rightarrow U_{schw+} = U_{ref,k} \left(1 + \frac{R_{25}}{R_{26}} \right) \quad (1)$$

Betrachtung der niedrigeren Schwelle U_{schw-} :

$$U_{aus,k} = U_{DD} = 5V$$

$$\Rightarrow U_{ref,k} = U_{schw-} \frac{R_{26}}{R_{25} + R_{26}} + U_{DD} \frac{R_{25}}{R_{25} + R_{26}}$$

$$\Rightarrow U_{schw-} = U_{ref,k} \left(1 + \frac{R_{25}}{R_{26}} \right) - U_{DD} \frac{R_{25}}{R_{26}} \quad (2)$$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

$$\Rightarrow U_{\text{schw}+} - U_{\text{schw}-} = U_{\text{DD}} \frac{R_{25}}{R_{26}}$$

$$\Rightarrow R_{26} = R_{25} \frac{U_{\text{DD}}}{U_{\text{schw}+} - U_{\text{schw}-}}$$

$$= 100 \Omega \frac{5 \text{ V}}{20 \text{ mV}}$$

$$= \underline{\underline{25 \text{ k}\Omega}}$$

Benutze nun (1) zur Berechnung von $R_{21} \dots R_{24}$:

$$(1) \Rightarrow U_{\text{ref},k} = U_{\text{schw}+,k} \frac{R_{26}}{R_{25} + R_{26}}$$

$$= U_{\text{schw}+,k} \frac{25 \text{ k}\Omega}{25.1 \text{ k}\Omega}$$

$$= U_{\text{schw}+,k} \cdot 0.996$$

$$R_{21}: 5 \text{ V} \cdot R_{21} / 40 \text{ k}\Omega = 1.26 \text{ V} \cdot 0.996$$

$$\Rightarrow R_{21} = \frac{1.26 \text{ V} \cdot 0.996 \cdot 40 \text{ k}\Omega}{5 \text{ V}}$$

$$= 10.04 \text{ k}\Omega$$

R_{22} :

$$5 \text{ V} \frac{R_{21} + R_{22}}{40 \text{ k}\Omega} = 2.51 \text{ V} \cdot 0.996$$

$$\Rightarrow R_{22} = \frac{2.51 \text{ V}}{5 \text{ V}} \cdot 0.996 \cdot 40 \text{ k}\Omega - R_{21}$$

$$= 9.96 \text{ k}\Omega$$

Schaltungstechnik 2011 — Klausur 22.07.2011
Musterlösung

$$R_{23}: 5 \text{ V} \cdot \frac{R_{21} + R_{22} + R_{23}}{40 \text{ k}\Omega} = 3.76 \text{ V} \cdot 0.996$$

$$\Rightarrow R_{23} = 9.96 \Omega$$

$$R_{24}: R_{24} = 40 \text{ k}\Omega - (R_{21} + R_{22} + R_{23}) \\ = 10.04 \text{ k}\Omega$$

2

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

Zu Aufgabe 3)

a) T_{11}, T_{12} : Stromspiegel
 $T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32} (, T_{12})$: Single-ended
 Differenzstufe
 T_4, T_5 : CMOS-Inverter als Ausgangsstufe 4
 (fehlende Angaben: je-1)

b) T_{22} : nicht-inv. Eingang (\rightarrow Eingang 2)
 T_{21} : inv. Eingang (\rightarrow Eingang 1)
 (im Schaltbild z.B. durch Pfeile skizziert) 2

c)
$$I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{eff}^2 \quad 2$$

$$\Rightarrow W = 2 \cdot I \cdot L / (k_n U_{eff}^2) \quad 1$$

$$\Rightarrow W = \frac{2 \cdot 54 \mu A \cdot 1 \mu m}{150 \frac{\mu A}{V^2} \cdot (0.3V)^2} = \underline{\underline{8 \mu m}} \quad 1$$

d)
$$R = \frac{U_{DD} - (U_{thn} + U_{effn})}{54 \mu A} = \underline{\underline{44,4 k\Omega}} \quad 1$$

e) Strom skaliert mit Weite bei gleichem Wert von U_{eff} . 1

$$T_{12}: I = 2 \cdot 108 \mu A = 4 \cdot 54 \mu A = 4 \cdot I(T_{11})$$

$$\Rightarrow W_{12} = 4 \cdot W_{11} = 32 \mu m$$

$$T_{21}, T_{22} \text{ dito: } W_{21} = W_{22} = 16 \mu m \quad 1$$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

f) $U_{\text{eff } 31} = U_{\text{eff } 32}$

$U_{\text{th,p}} + U_{\text{eff } 31} = U_{\text{DD}}/2$ |

$\Rightarrow U_{\text{eff } 31} = 3.3\text{V}/2 - 0.8\text{V} = \underline{0.85\text{V}}$ |

$I(T_{31}) = I(T_{21})$

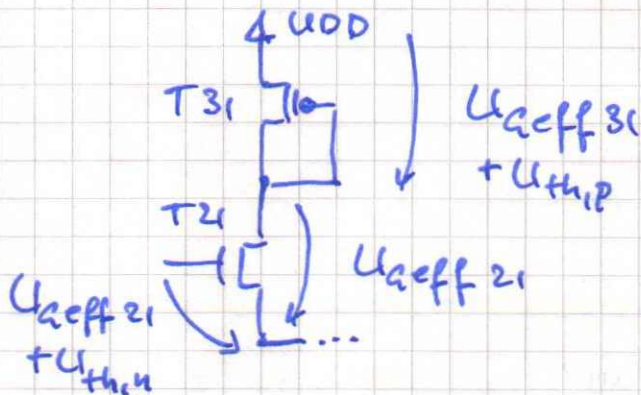
$\Rightarrow \frac{1}{2} \frac{W_{31}}{L} k_p U_{\text{eff},31}^2 = I(T_{21}) = 108 \mu\text{A}$ |

$\Rightarrow W_{31} = \frac{2 L \cdot I(T_{21})}{k_p U_{\text{eff},31}^2}$ |

$= \frac{2 \cdot 1 \mu\text{m} \cdot 108 \mu\text{A}}{60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.85^2 \text{V}^2}$

$= 4.98 \mu\text{m} \approx 5 \mu\text{m}$ |

g) Obere Grenze:



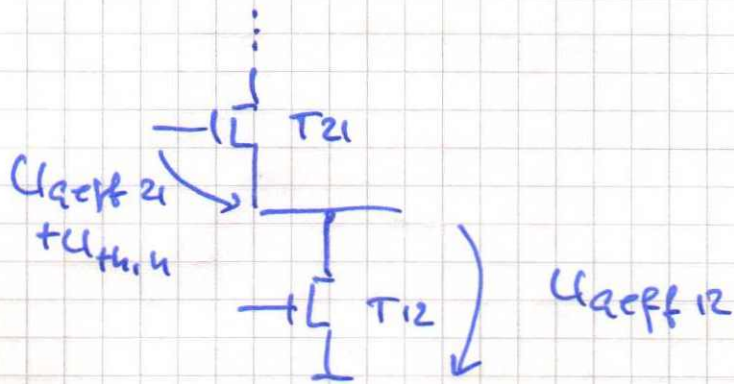
\Rightarrow Obere Grenze

$= 3.3\text{V} - (0.85\text{V} + 0.8\text{V}) - 0.3\text{V} + (0.6\text{V} + 0.3\text{V})$ (2)

$= \underline{2.25\text{V}}$ |

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
 Musterlösung

Untere Grenze:



$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Untere Grenze} &= U_{Th,n} + U_{Geff21} + U_{Geff12} \quad (2) \\ &= 600 \text{ mV} + 2 \cdot 300 \text{ mV} \\ &= \underline{\underline{1.2 \text{ V}}} \quad 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{h) } I_4 (U_{GS4} = 1.65 \text{ V}) &= I_5 (U_{GS5} = 1.65 \text{ V}) \\ \Rightarrow \frac{1}{2} \frac{W_5}{L} k_p (1.65 \text{ V} - 0.8 \text{ V})^2 & \quad (\text{Identität Strom u. } U_{GS} = U_{DD}/2) \\ &= \frac{1}{2} \frac{W_4}{L} k_n (1.65 \text{ V} - 0.6 \text{ V})^2 \quad 2 \\ \Rightarrow W_5 = W_4 \frac{k_n}{k_p} \frac{(1.65 - 0.6)^2}{(1.65 - 0.8)^2} \quad 1 \\ &= 305.19 \dots \mu\text{m} \approx \underline{\underline{305 \mu\text{m}}} \quad 1 \end{aligned}$$

$$\text{i) } P_{ges} = U_{DD} \cdot \Sigma I \quad 1$$

$$I_{11} = 54 \mu\text{A}$$

$$I_{12} = 2.108 \mu\text{A} = 216 \mu\text{A} \quad 1$$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
 Musterlösung

$$\begin{aligned}
 & I(\text{Ausgangsstufe}) \\
 & = I(T_4) \\
 & = \frac{1}{2} \frac{80 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot (1.65\text{V} - 0.6\text{V})^2 \\
 & = 6615 \mu\text{A} = 6.615 \text{mA}
 \end{aligned}$$

$$I_{\text{ges}} = (6615 + 54 + 216) \mu\text{A} = \underline{\underline{6885 \mu\text{A}}}$$

$$P_{\text{ges}} = 3.3\text{V} \cdot 6885 \mu\text{A} = \underline{\underline{22.72 \text{mW}}}$$

k) Verst. Diff-Stufe $\approx \frac{g_{m21}}{g_{DS21} + g_{DS31}}$

Verst. Ausgangsstufe $\approx \frac{g_{m4} + g_{m5}}{g_{DS4} + g_{DS5}}$

Gesamtverst. = Verst. Diff-Stufe \cdot Verst. Ausgangsst.

\rightarrow Berechne Werte von g_m u. g_{DS} :

$$I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{\text{eff}}^2 \left[1 + \lambda \frac{L_{\text{min}}}{L} (U_D - U_{\text{eff}}) \right]$$

$$\Rightarrow g_m \approx \frac{W}{L} k U_{\text{eff}}$$

$$g_{DS} \approx \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{\text{eff}}^2 \cdot \lambda \frac{L_{\text{min}}}{L}$$

Musterlösung

$$g_m(T21) = \frac{16 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.3\text{V} = 720 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$g_{os}(T21) = \frac{1}{2} \cdot \frac{16}{1} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot (0.3\text{V})^2 \cdot 0.1 \frac{1}{\text{V}} \cdot \frac{0.35}{1} = 3.78 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$g_{os}(T31) = \frac{1}{2} \cdot \frac{5}{1} \cdot 60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot (0.85\text{V})^2 \cdot 0.1 \frac{1}{\text{V}} \cdot \frac{0.35}{1} = 3.78 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$\Rightarrow \text{Verstärkung Diff-Stufe} = \frac{720}{3.78 + 3.78} \approx 95.2$$

$$g_m(T4) = \frac{80}{1} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 1.05\text{V} = 12600 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$g_m(T5) = \frac{305}{1} \cdot 60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.85\text{V} = 15555 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$g_{os}(T4) = \frac{1}{2} \cdot \frac{80}{1} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot (1.05\text{V})^2 \cdot 0.1 \frac{1}{\text{V}} \cdot \frac{0.35}{1} = 231.5 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$g_{os}(T5) = \dots = 231.3 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}}$$

$$\Rightarrow \text{Verstärkung Ausgangsstufe} = \frac{12600 + 15555}{231.5 + 231.3} = 60.8$$

$$\Rightarrow \text{Gesamtverstärkung} \approx 95.2 \cdot 60.8 \approx 5788$$

Musterlösung

zu Aufgabe 4)

a)

	x_1	0	1	1	0
	x_2	0	0	1	1
x_3/x_4	0	0	1	0	1
	1	0	0	1	1
	1	1	0	0	1
	0	1	1	0	0

Blaue: y_1 Grün: \bar{y}_2 Schwarz: \bar{y}_3

$$z = (\bar{x}_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \vee (x_3 \wedge x_2 \wedge \bar{x}_1)$$

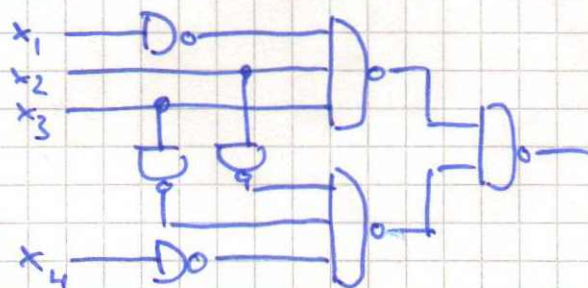
CV für \bar{y}_2 2

CV für \bar{y}_3 2

Gemeinsames CV 2

Ergebnis 2

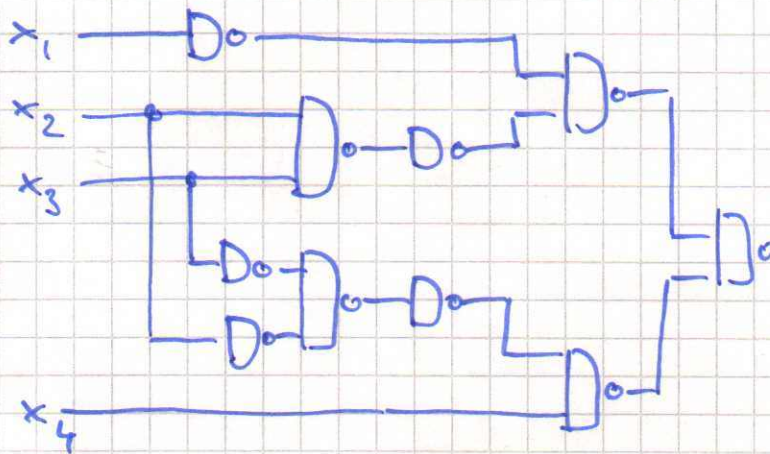
b) $z = \overline{(\bar{x}_2 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4) \wedge (x_3 \wedge x_2 \wedge \bar{x}_1)}$ 2



2

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

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



(korrekte Schaltung allein: 4)

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

Zu Aufgabe 5)

a) $U_{\text{ein, min}} = U_{\text{th}} = 580 \text{ mV}$

b) Drainspannung von T_1 :

$$\begin{aligned} U_D &= U_{DD} - 2 U_{BE} \\ &= \overset{2.5}{2.5} \text{ V} - 2 \cdot 650 \text{ mV} \\ &= 1.2 \text{ V} \end{aligned}$$

Sättigung: $U_{DS} \geq U_G - U_{th}$

$$\begin{aligned} \Rightarrow \text{Sättigung für } U_{\text{ein}} &\leq U_{DS} + U_{th} \\ &= 1.2 \text{ V} + 580 \text{ mV} \\ &= 1.78 \text{ V} \end{aligned}$$

Also

Sättigung für $580 \text{ mV} \leq U_{\text{ein}} \leq 1.78 \text{ V}$

Triodegebiet für $0 \text{ V} \leq U_{\text{ein}} \leq \overset{2.5}{2.5} \text{ V}$
 $\underbrace{\hspace{1.5cm}}_{= U_{DD}}$

c) Bereich $580 \text{ mV} \leq U_{\text{ein}} \leq 1.78 \text{ V}$

$$I_{\text{aus}} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k (U_{\text{ein}} - U_{th})^2 \beta (\beta + 2)$$

Näherung: $(\approx \frac{1}{2} \frac{W}{L} k (U_{\text{ein}} - U_{th})^2 \beta^2)$

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
Musterlösung

Bereich $U_{\text{ein}} \geq 1.78 \text{ V}$:

$$I_{\text{aus}} = \frac{1}{2} k \left[U_{\text{ein}} - U_{\text{TH}} - \frac{1}{2} (U_{\text{DD}} - 2U_{\text{BE}}) \right] \cdot (U_{\text{DD}} - 2U_{\text{BE}}) \beta (\beta + 2)$$

2

Quantitative Werte :

$$I_{\text{aus}} (U_{\text{ein}} = 1.78 \text{ V})$$

$$= \frac{1}{2} \frac{1.5}{1} 110 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (1.78 \text{ V} - 0.58 \text{ V})^2 \cdot 50 \cdot 52$$

$$\approx \underline{\underline{309 \text{ mA}}}$$

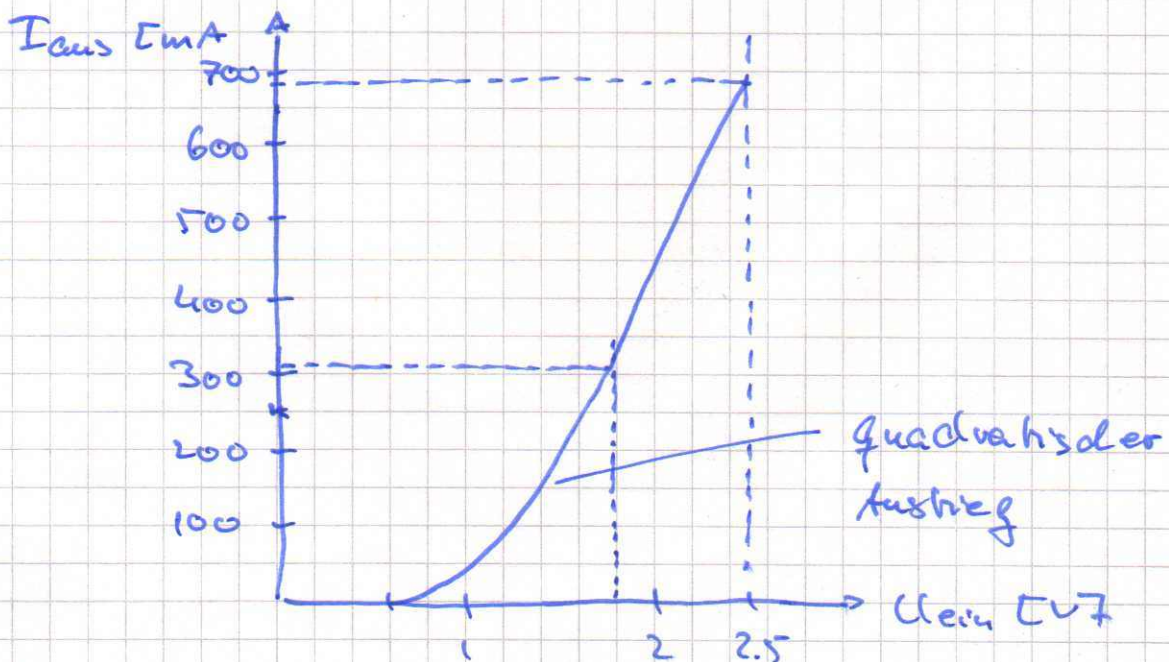
2

$$I_{\text{aus}} (U_{\text{ein}} = 2.5 \text{ V})$$

$$= \frac{1.5}{1} 110 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (2.5 \text{ V} - 0.58 \text{ V} - \frac{1}{2} \cdot 1.2 \text{ V}) \cdot 1.2 \text{ V} \cdot 50 \cdot 52$$

$$\approx 680 \text{ mA}$$

2

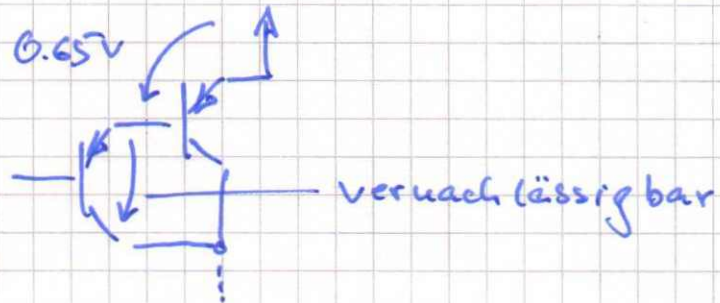


2

Schaltungstechnik 2011 - Klausur 22.07.2011
 Musterlösung

d) $I_{\max} \approx 680 \mu\text{A}$

Bestimmung der max. Ausgangsspannung:

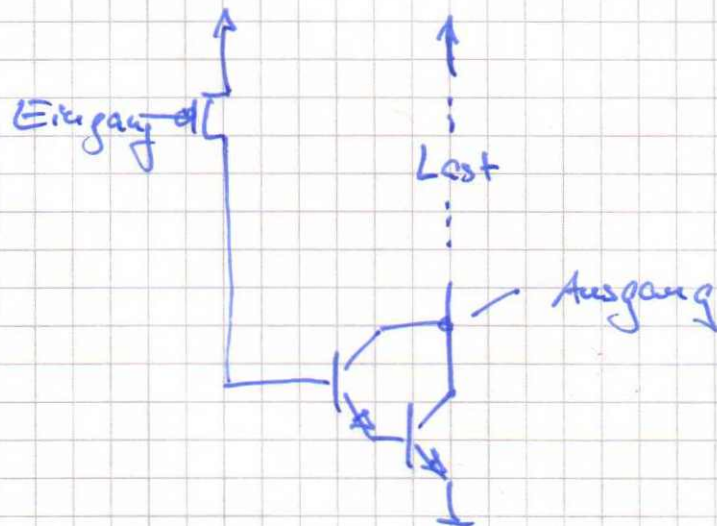


$\Rightarrow U_{\text{aus,max}} = 2.5\text{V} - 0.65\text{V} = 1.85\text{V}$ 2

$\Rightarrow I_{\max} \cdot R < U_{\text{aus,max}}$ 1

$\Rightarrow R < \frac{1.85\text{V}}{680\mu\text{A}} \approx 2.7\Omega$ 1

e)



$n\text{-TOS} \rightarrow p\text{-TOS}$ 1

$pnp \rightarrow npn$ 1

$U_{DD} \leftrightarrow GND$ 1
 5-3

alles korrekt: 4