

Klausur Schaltungstechnik TuB 07.10.2015

Musterlösung

Zu Aufgabe 1:

$$a) x = (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge c \wedge d) \vee (\bar{c} \wedge d \wedge e) \\ \vee (\bar{d} \wedge e \wedge a) \vee (\bar{e} \wedge a \wedge b)$$

Punkte:

- jeder einzelne Term : 0.5
 - Verodierung aller Terme : 1.5
- Σ: 4

b) Mit

$$A := \bar{a} \wedge b \wedge c$$
$$B := \bar{b} \wedge c \wedge d$$
$$C := \bar{c} \wedge d \wedge e$$
$$D := \bar{d} \wedge e \wedge a$$
$$E := \bar{e} \wedge a \wedge b$$

$$\Rightarrow x = A \vee B \vee C \vee D \vee E$$
$$= \overline{\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}} \vee \overline{\bar{D} \wedge \bar{E}} \quad *$$
$$= \overline{\bar{A} \wedge \bar{B} \wedge \bar{C}} \wedge \overline{\bar{D} \wedge \bar{E}}$$

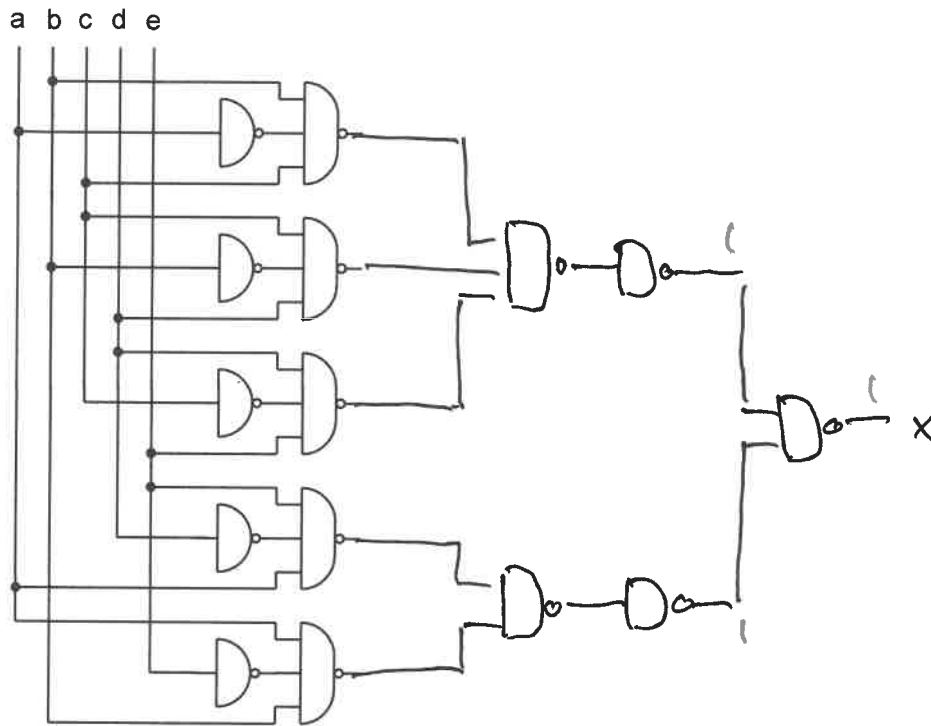
2
1

* auch andere Gruppierungen
möglich

Schaltbild auf Arbeitsblatt (1) 3
(Σ: 6)

Musterlösung

Arbeitsblatt (1) zu Aufgabe 1	Name, Vorname:	Matr.-Nr.:
----------------------------------	----------------	------------



$\Sigma: 3$

Abzüge bei eindeutig erkennbaren
Flüchtigkeitsfehlern bei der Umsetzung
(z.B. Invertor "vergessen" von Formel \rightarrow
Schaltbild)

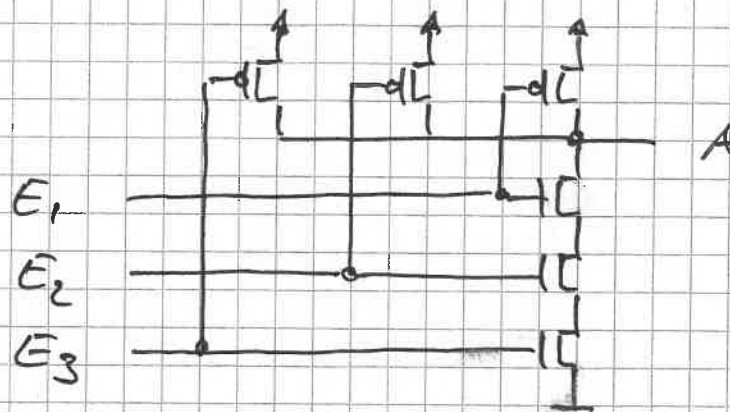
-0.5

Aufgabe 1 / Seite 2

Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015
Musterlösung

zu Aufgabe 1 / Fortsetzung:

c)



2

d) KV-Diagramm* zu Fkt x:

Alles korrekt	6
1 Fehler	5,5
2 Fehler	5
jeder weitere Fehler	-1
> 6 Fehler	0 (Z:6)

e) Folgefehler aus a) oder b) berücksichtigen

KV-Diagramm* zu Fkt z:

Alles korrekt	4
1 Fehler	3,5
2 Fehler	3
jeder weitere Fehler	-1
> 4 Fehler	0 (Z:4)

Folgefehler aus d) berücksichtigen

* KV-Diagramme auf Arbeitsblatt (2)

Muster Lösung

Arbeitsblatt (2) zu Aufgabe 1	Name, Vorname:	Matr.-Nr.:
----------------------------------	----------------	------------

KV-Diagramm 1, Funktion x:

		a	0	1	1	0	0	1	1	0
		b	0	0	1	1	1	1	0	0
		c	0	0	0	0	1	1	1	1
d	e									
0	0		0	0	1	0	1	1	0	0
1	0		0	0	1	0	1	1	1	1
1	1		1	1	1	1	1	0	1	1
0	1		0	1	1	0	1	1	1	0

KV-Diagramm 2, Funktion y:

		a	0	1	1	0	0	1	1	0
		b	0	0	1	1	1	1	0	0
		c	0	0	0	0	1	1	1	1
d	e									
0	0		0	1	0	0	1	1	0	0
1	0		0	1	0	1	0	0	1	1
1	1		1	0	0	0	0	1	1	1
0	1		0	0	0	0	1	1	1	0

KV-Diagramm 3, Funktion z:

		a	0	1	1	0	0	1	1	0
		b	0	0	1	1	1	1	0	0
		c	0	0	0	0	1	1	1	1
d	e									
0	0		0	1	1	0	0	0	0	0
1	0		0	1	1	1	1	1	0	0
1	1		0	1	1	1	1	1	0	0
0	1		0	1	1	0	0	0	0	0

Musterlösung

zu Aufgabe 1 / Fortsetzung:

$$f) z = (a + \bar{z})' \vee (b + a)'$$

2

FF berücksichtigen

Zu Aufgabe 2:

a) A): Spannungsteiler
(oder auch U/I -Wandler) 1

B): Diff.-stufe⁽¹⁾ (m. nTOS-Eingangstr.)
und (nTOS) Dioden-Lastelementen⁽¹⁾ 2

C): (Einfacher) Stromspiegel 1

b) E_2 : nicht-inv. Eingang
 E_1 : inv. Eingang 2

c) $I = \frac{1}{2} k_n \frac{w}{5L_{min}} \left(\frac{U_{DD}}{4} - U_{th,n} \right)^2$ 2

$$\Rightarrow w = \frac{2 I \cdot 5 L_{min}}{k_n \left(\frac{U_{DD}}{4} - U_{th,n} \right)^2}$$
 1

$$= \frac{10 \mu A \cdot 0.35 \mu m}{140 \frac{\mu A}{V} \left(0.825 V - 0.7 V \right)^2}$$

$$= 16 \mu m$$
 1

d) $w(T_{10}) = \frac{I(T_{10})}{I(T_{14})} w(T_{14})$ 1

$$= 9 \cdot 16 \mu m$$

$$= 144 \mu m$$
 1

$$I(T_{e1}) = I(T_{e2}) = \frac{1}{2} k_n \frac{w_{2x}}{L_{min}} U_{eff}^2$$

$$= \frac{1}{2} I(T_{10})$$
 1

Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015
 Musterlösung

zu Aufgabe 2 / Fortsetzung:

$$\Rightarrow W(T_{2x}) = \frac{I(T_{10}) L_{min}}{k_n U_{eff}^2} \quad 0.5$$

$$= \frac{90 \mu A \cdot 0.35 \mu m}{140 \frac{\mu A}{V^2} \cdot (0.1 V)^2}$$

$$= 22.5 \mu m \quad 1$$

$$e) I(T_{3x}) = \frac{1}{2} \frac{W(T_{3x})}{20 L_{min}} (U_{DD} - U_{eff,aus} - U_{th,n})^2 \quad 2$$

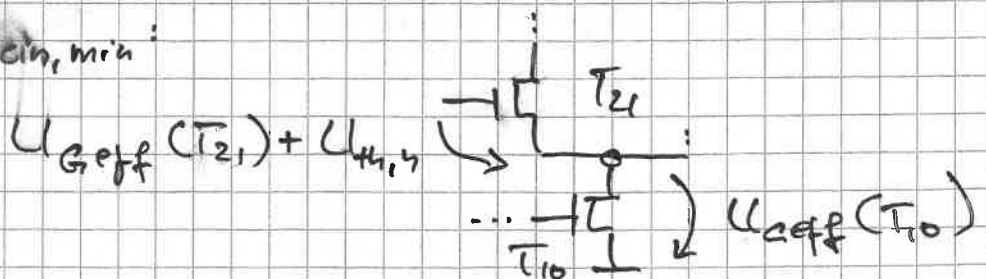
$$= \frac{1}{2} I(T_{10}) \quad 0.5$$

$$\Rightarrow W(T_{3x}) = \frac{I(T_{10}) 20 L_{min}}{k_n (U_{DD} - U_{eff,aus} - U_{th,n})^2}$$

$$= \frac{90 \mu A \cdot 20 \cdot 0.35 \mu m}{140 \frac{\mu A}{V^2} \cdot (1.3 V - 0.7 V)^2}$$

$$= 12.5 \mu m \quad 1$$

f) $U_{eff,erk,min}$:



$$\Rightarrow U_{eff,erk,min} = U_{eff}(T_{10}) + U_{eff}(T_{21}) + U_{th,n} \quad 2$$

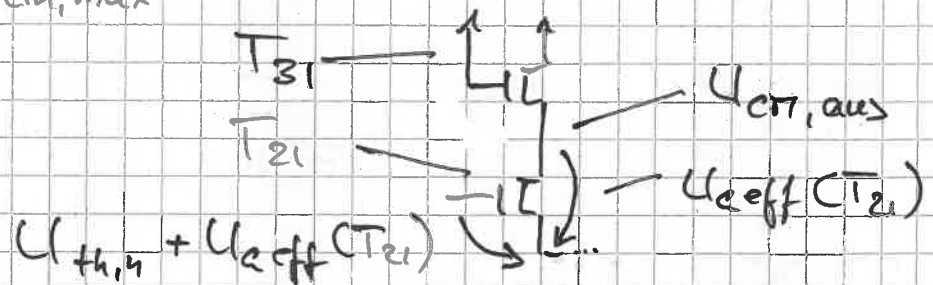
$$= 125 mV + 100 mV + 700 mV$$

$$= 925 mV \quad 1$$

Aufgabe 2 / Seite 2

Zu Aufgabe 2, Fortsetzung:

$U_{CM, ein, max}$:



$$\Rightarrow U_{CM, ein, max}$$

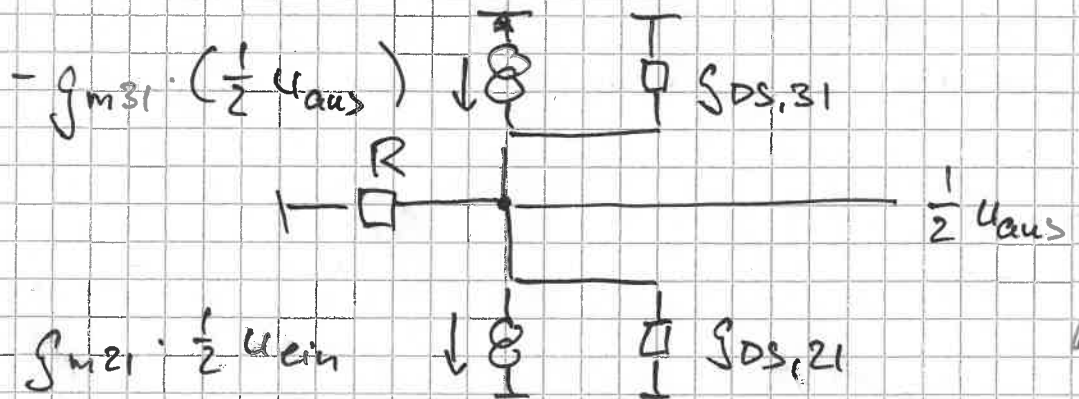
$$= U_{CM, aus} - U_{eff}(T_{21}) + (U_{eff}(T_{21}) + U_{th,n})$$

$$= U_{CM, aus} + U_{th,n}$$

$$= 2V + 700 mV$$

$$= 2.7 V$$

g) "Linker Zweig":

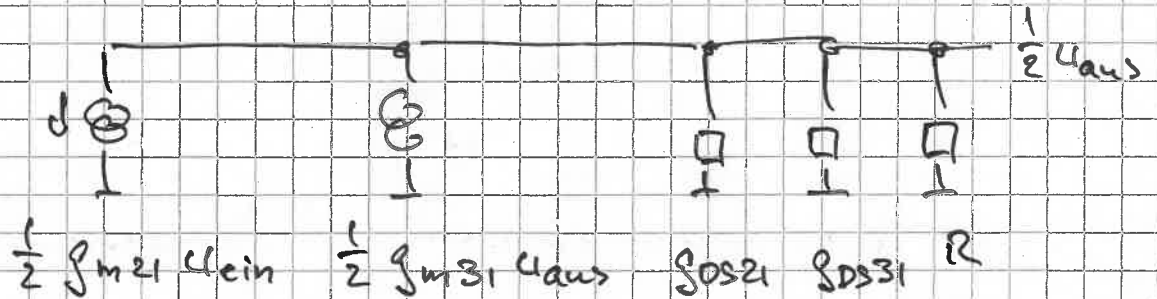


Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015

Musterlösung

Zu Aufgabe 2 / Fortsetzung

Umordnung



Umordnung nicht nötig zur Erreichung voller Punktzahl

$$b) 0 = \frac{1}{2} g_{m21} u_{ein} + \frac{1}{2} g_{m31} u_{aus} + \frac{1}{2} u_{aus} \frac{1}{R} \quad 2$$

$$\Rightarrow u_{aus} \left(g_{m31} + \frac{1}{R} \right) = - u_{ein} g_{m21}$$

$$\Rightarrow \frac{u_{aus}}{u_{ein}} = - \frac{g_{m21}}{g_{m31} + \frac{1}{R}} \quad 2$$

$$i) 1 = \frac{g_{m21}}{g_{m31} + 1/R} \quad 2$$

$$\Rightarrow g_{m31} + \frac{1}{R} = g_{m21}$$

$$\Rightarrow R = \frac{1}{g_{m21} - g_{m31}} \quad 1$$

$$g_m = \frac{\partial I}{\partial v_G} = k_n \frac{W}{L} U_{Goff} \quad 2$$

Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015
Musterlösung

zu Aufgabe 2 / Fortsetzung:

Damit:

$$g_{m21} = 140 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}} \cdot \frac{22,5}{0,35} \cdot 0,1\text{V}$$

$$= 900 \mu\text{A/V}$$

$$g_{m31} = 140 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}} \cdot \frac{12,5}{7} \cdot 0,6\text{V}$$

$$= 150 \mu\text{A/V}$$

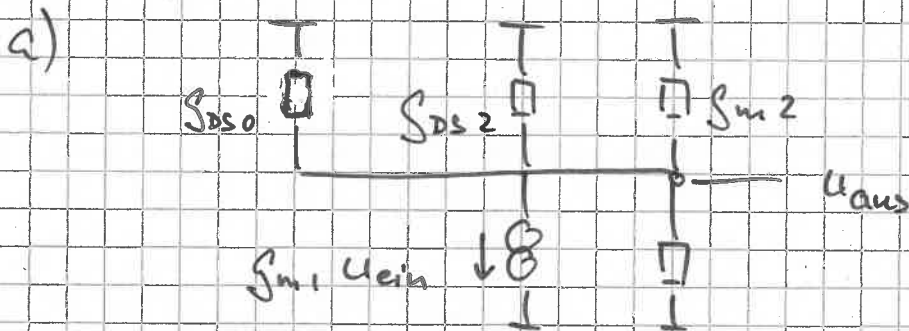
$$\Rightarrow R = \left[(900 - 150) \frac{\mu\text{A}}{\text{V}} \right]^{-1}$$

$$= \frac{1}{750} \frac{\text{V}}{\mu\text{A}}$$

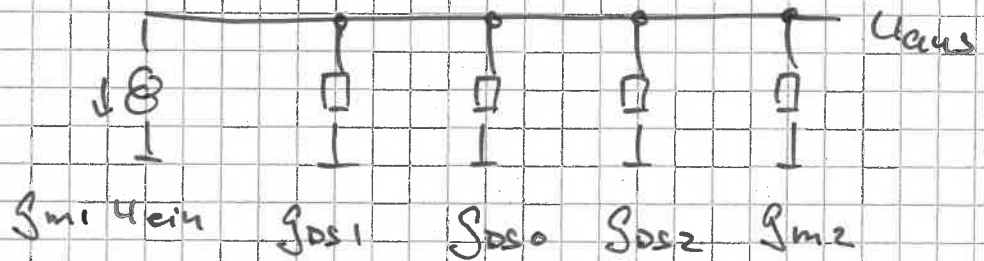
$$= 1,333 \text{ k}\Omega$$

Musterlösung

zu Aufgabe 3:



oder nach "Umordnen" der Elemente:



Bewertung:

- alles korrekt 4
- "Umordnung" nicht erforderlich
 ⇒ ohne Umordnung Kein Abzug
- I_{sm2} als \bar{I} -Quelle mit kor. Argum. - 1 -
- UDD nicht durch GND ersetzt 0
- I_{sm2} als \bar{I} -Quelle mit UDD im Argum.,
 UDD im ESB jedoch durch GND ersetzt 2 Abzug
- I_{sm2} als \bar{I} -Quelle, falsches Vorzeichen 1 Abzug
- I_{sm2} fehlt 0
- I_{sos0} , I_{sos1} , I_{sos2} fehlt je 1 Abzug
- I_{sm0} mit von 0 versch. Argum. gezeichnet 2 Abzug
- I_{sm0} mit UDD als Argument 3 Abzug

Musterlösung

Zu Aufgabe 3, Fortsetzung:

$$b) I(T_1) = \frac{1}{2} \frac{W_1}{2L_{min}} k_n \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,n} \right)^2 \quad 2$$

$$I(T_2) = \frac{1}{2} \frac{W_2}{2L_{min}} k_p \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} \right)^2 \quad 0.5$$

$$g_{m1} = \frac{W_1}{2L_{min}} k_n \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,n} \right) \quad 2$$

$$g_{m2} = \frac{W_2}{2L_{min}} k_p \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} \right) \quad 0.5$$

$$|A| = g_{m1} / g_{m2} = 12 \Rightarrow$$

$$12 = \frac{W_1 k_n (U_{DD}/2 - U_{th,n})}{W_2 k_p (U_{DD}/2 - U_{th,p})} \quad 0.5$$

$$\Rightarrow W_2 = \frac{1}{12} W_1 \frac{k_n (U_{DD}/2 - U_{th,n})}{k_p (U_{DD}/2 - U_{th,p})} \quad 1$$

$$= W_1 \frac{180 \mu A/V^2 (0.75V - 0.2V)}{12 \cdot 75 \mu A/V^2 (0.75V - 0.25V)}$$

$$= 0.25 W_1 = \frac{1}{4} W_1 \quad 1$$

Mit

$$I(T_1) = I_0 + I(T_2) \quad 1$$

und

$I(T_1)$ und $I(T_2)$ wie oben gegeben folgt

$$I_0 = \frac{1}{2} \frac{W_1}{2L_{min}} k_n \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,n} \right)^2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{W_1/4}{2L_{min}} k_p \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} \right)^2 \quad 0.5$$

Musterlösung

zu Aufgabe 3, Fortsetzung:

$$I_0 = 4 \text{ Lmin}$$

$$= \omega_1 \left[k_n \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,n} \right)^2 - \frac{1}{4} k_p \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} \right)^2 \right]$$

$$\Rightarrow \omega_1 = \frac{42 \mu\text{A} \cdot 1 \mu\text{m}}{180 \mu\text{A}/\text{V}^2 (0.25\text{V})^2 - \frac{1}{4} 75 \mu\text{A}/\text{V}^2 (0.2\text{V})^2}$$

$$= \frac{42 \mu\text{A}}{10.5 \mu\text{A}} \cdot 1 \mu\text{m}$$

$$= 4 \mu\text{m}$$

$$\text{Mit } \omega_2 = \frac{1}{4} \omega_1 \Rightarrow \omega_2 = 1 \mu\text{m}$$

Reihenfolge und Teilschritte können auch anders erfolgen. Nicht jeder hier aufgeführte Teilschritt muß in der Lösung aufgeführt sein. Ergebnis (oder Teilergebnis) zählt!

$$\begin{aligned} \text{c) } P &= U_{DD} [I_0 + I(T_2)] \\ &= U_{DD} \left[I_0 + \frac{1}{2} \frac{\omega_2}{2 \text{Lmin}} k_p \left(\frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

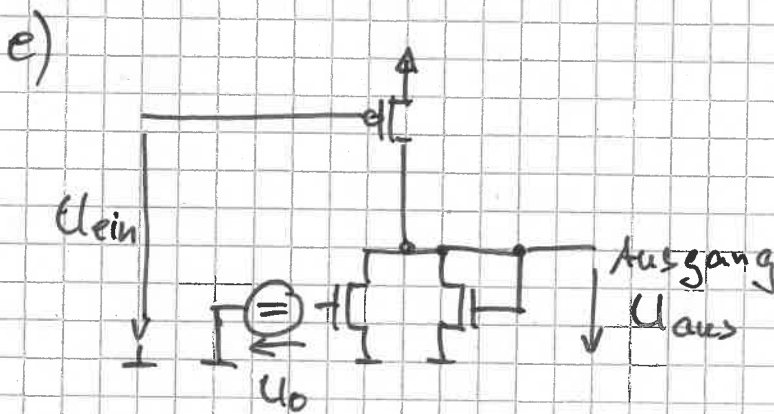
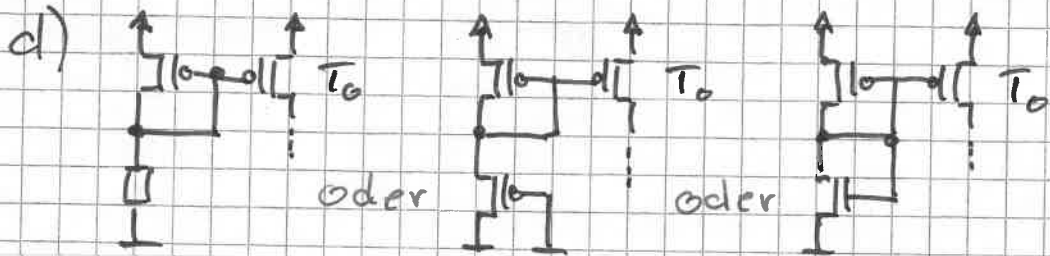
$$= 1.5\text{V} \left[42 \mu\text{A} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1} 75 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (0.2\text{V})^2 \right]$$

$$= 1.5\text{V} [42 \mu\text{A} + 3 \mu\text{A}]$$

$$= 67.5 \mu\text{W}$$

Musterlösung

Zu Aufgabe 3, Fortsetzung:



Klausur Schaltungstechnik T4B 07.10.2015
 Musterlösung

Zu Aufgabe 4:

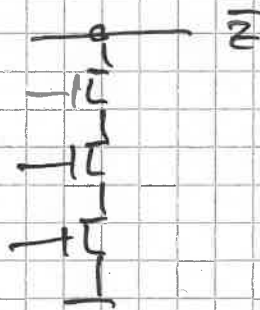
a)
$$z = (a \wedge \bar{b} \wedge c) \vee (a \wedge b \wedge \bar{c})$$

$$\vee (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c})$$

Punkte:

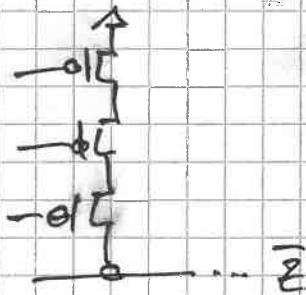
- jeder einzelne Term 0,5
 - korrekte Veroderung 2
- (Σ: 4)

b) Worst-Case-Pull-Down-Pfad:



2

Worst-Case-Pull-Up-Pfad:



2

$\tau_{\text{Pull-Down, Worst-Case}} \propto k_n \frac{w_n}{3L_{\text{min}}}$

1

$\tau_{\text{Pull-Up, Worst-Case}} \propto k_p \frac{w_p}{3L_{\text{min}}}$

1

$\Rightarrow k_n \frac{w_n}{3L_{\text{min}}} \approx k_p \frac{w_p}{3L_{\text{min}}}$

1

Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015
Musterlösung

zu Aufgabe 4 / Fortsetzung:

$$\text{Mit } k_p \approx \frac{1}{2} k_u$$

$$\Rightarrow \omega_p \approx 2 \omega_u$$

$$c) z = (a \wedge \bar{b} \wedge c) \vee (a \wedge b \wedge \bar{c}) \\ \vee (\bar{a} \wedge b \wedge c) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge \bar{c})$$

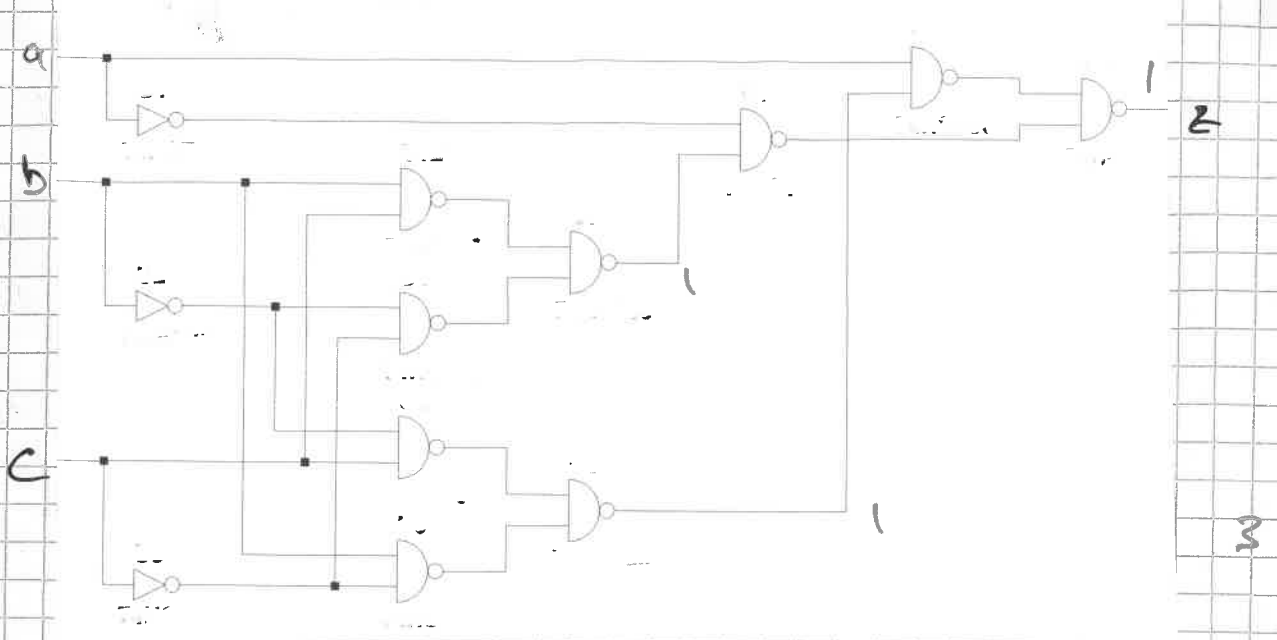
$$= [a \wedge (\bar{b} \wedge c) \vee (b \wedge \bar{c})] \\ \vee [\bar{a} \wedge (b \wedge c) \vee (\bar{b} \wedge \bar{c})] \quad (1)$$

$$= [a \wedge \overline{\bar{b} \wedge c} \wedge \overline{b \wedge \bar{c}}] \\ \vee [\bar{a} \wedge \overline{b \wedge c} \wedge \overline{\bar{b} \wedge \bar{c}}] \quad (1)$$

$$= [\dots]_1 \wedge [\dots]_2 \quad (1)$$

Klausur Schaltungstechnik TAB 07.10.2015
Plusterlösung

Zu Aufgabe 4 / Fortsetzung



(2:6)

d) $3 \times \text{Inv} \hat{=} 2 \text{ Tr} \rightarrow 6 \text{ Tr}$
 $9 \times \text{2-fach NAND} \hat{=} 4 \text{ Tr} \rightarrow 36 \text{ Tr}$
 $\Rightarrow \text{Summe} = 42 \text{ Tr}$

Musterlösung

zu Aufgabe 5:

$$a) U_{\text{ein-}} = U_{\text{aus}} \quad |$$

$$\begin{aligned} U_{\text{op, aus}} &= U_{\text{ein-}} - I_{\text{ein}} R_1 \\ &= U_{\text{aus}} - I_{\text{ein}} R_1 \quad | \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I_{\text{aus}} &= (U_{\text{aus}} - U_{\text{op, aus}}) / R_2 \\ &= [U_{\text{aus}} - (U_{\text{aus}} - I_{\text{ein}} R_1)] / R_2 \\ &= I_{\text{ein}} \frac{R_1}{R_2} \quad | \end{aligned}$$

$$\Rightarrow \frac{I_{\text{aus}}}{I_{\text{ein}}} = \frac{R_1}{R_2} \quad |$$

$$b) U_{\text{DD}} \geq U_{\text{aus}} - I_{\text{ein}} R_1 \geq -U_{\text{DD}} \quad | 2$$

$$\Rightarrow U_{\text{DD}} \geq U_{\text{aus}} - I_{\text{aus}} R_2 \geq -U_{\text{DD}} \quad | 2$$

$$\Rightarrow I_{\text{aus, min}} = -\frac{U_{\text{DD}} - U_{\text{aus}}}{R_2} \quad |$$

$$\text{und } I_{\text{aus, max}} = \frac{U_{\text{DD}} + U_{\text{aus}}}{R_2} \quad |$$

Klausur Schaltungstechnik TUB 07.10.2015
Meister Lösung

Zu Aufgabe 5, Fortsetzung:

c) $U_{aus} = -2V$:

$$I_{aus, \min} = - \frac{5V - (-2V)}{10 \text{ k}\Omega} = -0.7 \text{ mA}$$

$$I_{aus, \max} = \frac{5V + (-2V)}{10 \text{ k}\Omega} = 0.3 \text{ mA}$$

$U_{aus} = 1V$:

$$I_{aus, \min} = - \frac{5V - 1V}{10 \text{ k}\Omega} = -0.4 \text{ mA}$$

$$I_{aus, \max} = \frac{5V + 1V}{10 \text{ k}\Omega} = 0.6 \text{ mA}$$

(Bewertung: s. Diagramm)

Musterlösung

Arbeitsblatt zu Aufgabe 5	Name, Vorname:	Matr.-Nr.:
------------------------------	----------------	------------

