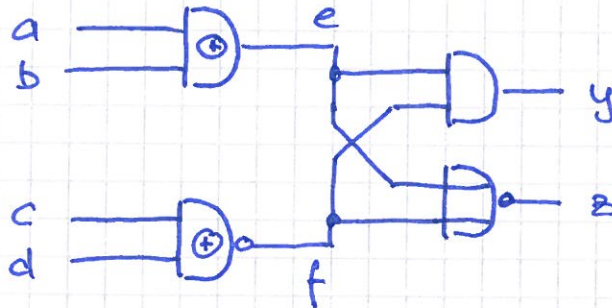


Aufgabe 1:

a)

[OPTIONAL: Bezeichne zunächst die inneren Knoten:



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

$$f = (c \wedge d) \vee (\bar{c} \wedge \bar{d})$$

$$y = \frac{[(a \wedge \bar{b}) \vee (\bar{a} \wedge b)] \wedge [(c \wedge d) \vee (\bar{c} \wedge \bar{d})]}{}$$

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

Direkte u. korrekte Angabe von y und z ergibt ebenso volle Punktzahl.

b) Führe Knotenbezeichnungen (z.B. "e" und "f" wie oben) und fülle Tabelle aus.

Max. Punktzahl:

Pro Fehler $\frac{1}{2}$ Punkt Abzug.

Folgefehler: kein Abzug.

Tabelle: s. Folgeseite

TU8 Klausur Schaltungstechnik 27.07.2012 Musterlösung

Name (Nachname, Vorname):	Matr.-Nr.:
---------------------------	------------

a	b	c	d	e	f	y	z
0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	1	1	0
0	1	0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	1
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	1
0	0	0	1	0	0	0	1
1	0	0	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0
1	1	0	1	0	0	0	1
0	0	1	1	0	1	0	0
1	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	0	1	0	0

Wahrheitstabelle zu Aufgabe 1

2/1

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

$$= \overline{(a \wedge \bar{b}) \wedge (\bar{a} \wedge b)}$$

2

(Weitere Varianten möglich!)

$$f = (c \wedge d) \vee (\bar{c} \wedge \bar{d})$$

$$= \overline{(c \wedge \bar{d}) \wedge (\bar{c} \wedge d)}$$

2

(Weitere Varianten möglich!)

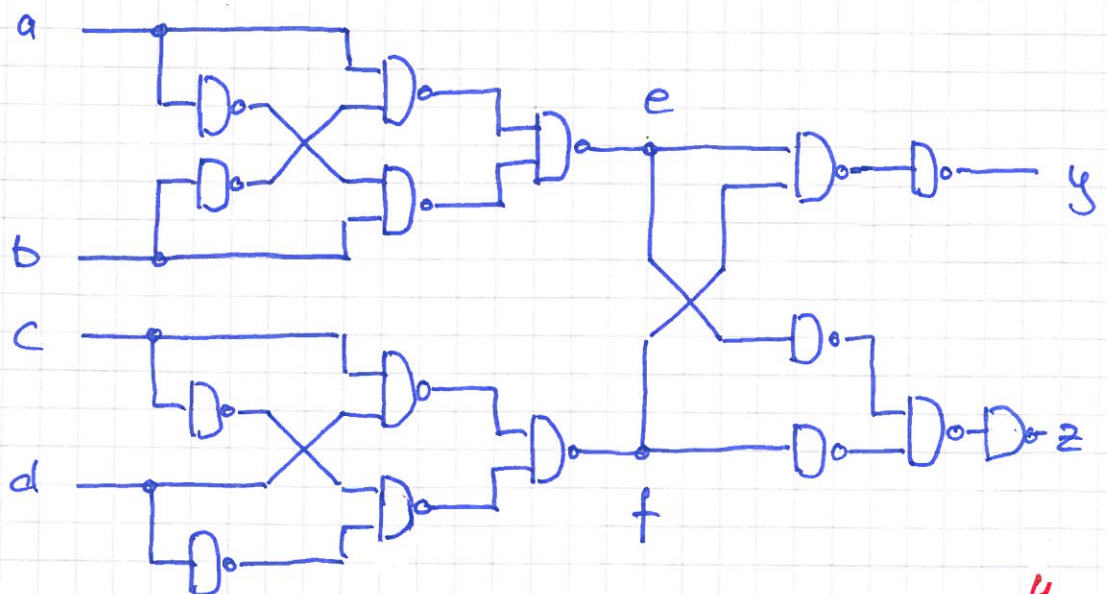
$$y = e \wedge f = \overline{\overline{e \wedge f}}$$

1

$$z = \overline{e \vee f} = \overline{\overline{\bar{e} \wedge \bar{f}}} = \bar{e} \wedge \bar{f}$$

1

Skizze



4

Explizite Angaben aller Gleichungen für volle Punktzahl nicht erforderlich, korrekte Gleichungen mit zutreffender Lösung ergeben aber bereits Punkte bei fehlerhafter Skizze

TUB Klausur Schaltungstechnik 27.07.2012 Musterlösung

- d) Die in c) gefundene Lösung verwendet
8 Inverter und 8 NAND-Gatter mit 2 Eingängen
 \Rightarrow Anzahl Transistoren = $8 \cdot 2 + 8 \cdot 4 = 48$ 2

Andere Lösungsvarianten kommen ggf. zu
einer davon abweichenden Anzahl von
Transistoren.

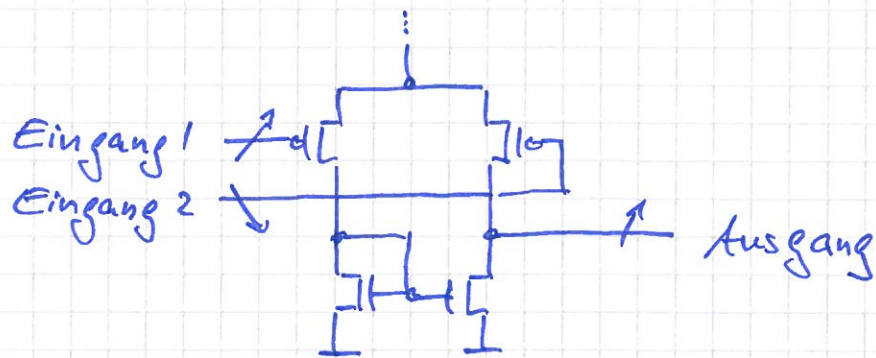
Aufgabe 2:

a) T_{11} und T_{12} : Stromspiegel 1

$T_{21}, T_{22}, T_{31}, T_{32}$ (ggf mit T_{12}):

Single-ended Differenzstufe mit Stromspiegel last 3

b) Teilskizze:



⇒ Eingang 1 ist nicht-inv. Eingang,
Eingang 2 ist invertierender Eingang 2

c)
$$I = \frac{U_{DD} - (U_{th,p} + U_{eff})}{R}$$
 1

$$= \frac{3.3V - (700mV + 200mV)}{80k\Omega} = \frac{2.4V}{80k\Omega} = 30\mu A$$
 1

$$I \approx \frac{1}{2} k_p \frac{W}{L} U_{eff}^2$$

$$\Rightarrow W_{II} = \frac{2IL}{k_p U_{eff}^2}$$
 1

$$= \frac{2 \cdot 30\mu A \cdot 1\mu m}{60\mu A/V^2 \cdot 0.2^2 V^2} = 25\mu m$$
 1

$$d) \quad W_{12} = W_{11} \frac{I_{CT(12)}}{I_{CT(11)}} \quad |$$

$$= 25 \mu\text{m} \frac{2.48 \mu\text{A}}{30 \mu\text{A}} = 80 \mu\text{m} \quad |$$

(Korrektes Ergebnis allein ergibt bereits volle Punktzahl)

$$e) \quad W_{21} = W_{22} = \frac{1}{2} W_{12} = 40 \mu\text{m} \quad |$$

$$\text{Wegen } I_{21} = I_{22} = \frac{1}{2} k_p \frac{W_{21}}{L} U_{\text{eff}}^2$$

$$= I_{31} = I_{32} = \frac{1}{2} k_n \frac{W_{32}}{L} U_{\text{eff}}^2$$

folgt (mit identischen Werten für L und U_{eff}):

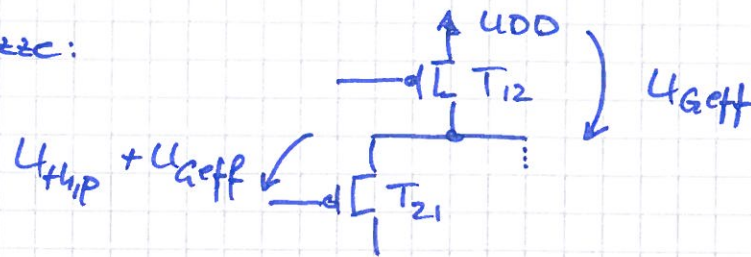
$$W_{31} = W_{32} = \frac{k_p}{k_n} W_{21}^2 = \frac{60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}}{150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}} \cdot 40 \mu\text{m} \quad (2)$$

$$= 16 \mu\text{m} \quad |$$

(Volle Punktzahl bereits bei Angabe korrekter Werte für die Weite)

f) Maximale Common-Mode Eingangsspannung:

Skizze:



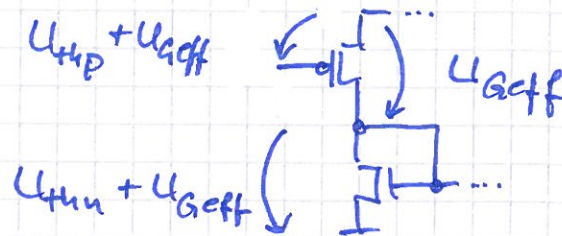
$$\begin{aligned}
 \Rightarrow U_{CM\text{ein,max}} &= U_{DD} - (U_{thp} + 2 U_{Geff}) \\
 &= 3.3\text{V} - (700\text{mV} + 2 \cdot 200\text{mV}) \\
 &= 2.2\text{V}
 \end{aligned}$$

2

1

Minimale Common-Mode Eingangsspannung:

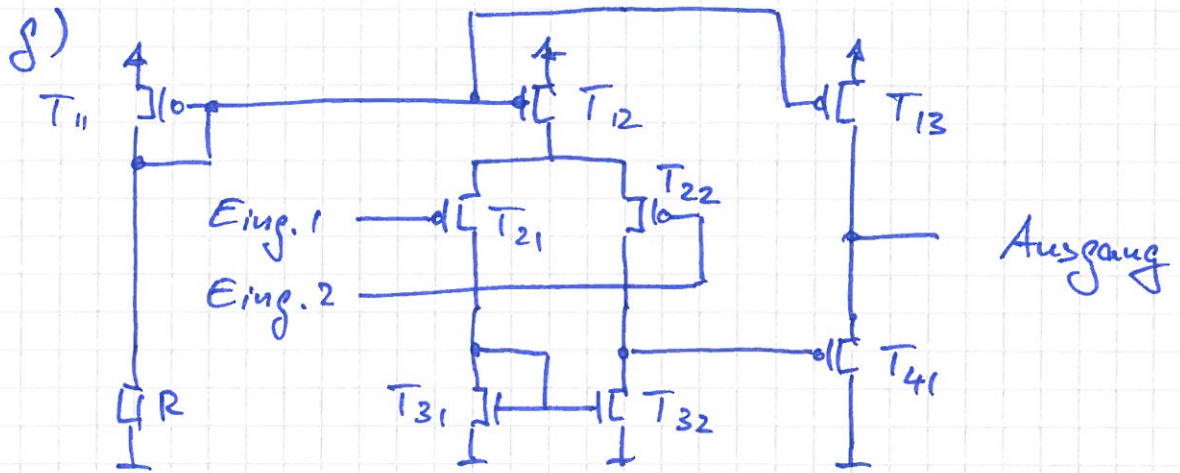
Skizze:



$$\begin{aligned}
 \Rightarrow U_{CM\text{ein,min}} &= U_{thn} + U_{Geff} + U_{Geff} - (U_{thp} + U_{Geff}) \\
 &= U_{thn} + U_{Geff} - U_{thp} \\
 &= 600\text{mV} + 200\text{mV} - 700\text{mV} \\
 &= 100\text{mV}
 \end{aligned}$$

2

1



$$I(T_{13}) = \frac{W_{13}}{W_{11}} I(T_{11})$$

$$\Rightarrow W_{13} = W_{11} \frac{I(T_{13})}{I(T_{11})} = 25 \mu\text{m} \cdot \frac{120 \mu\text{A}}{30 \mu\text{A}} = 100 \mu\text{m} \quad |$$

$$W_{41} = W_{13} = 100 \mu\text{m} \quad |$$

h) Mit $g_{m21} = g_{m22} = g_{m2}$

$$g_{DS21} = g_{DS22} = g_{DS2}$$

$$g_{DS31} = g_{DS32} = g_{DS3}$$

folgt:

$$A_{\text{gesamt}} = A_{\text{Diff-Stufe}} \cdot A_{\text{source-Folger}}$$

$$\approx \frac{g_{m2}}{g_{DS2} + g_{DS3}} \cdot 1 \quad (2) \quad (2)$$

$$= g_{m2} / (g_{DS2} + g_{DS3}) \quad |$$

TUB Klausur Schaltungstechnik 27.02.2012 Musterlösung

Berechnung der Kleinsignalparameter g_m und g_{DS} :

$$\text{Aus } I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{Geff}^2 \left[1 + \lambda \frac{L_{mi4}}{L} (U_D - U_{Geff}) \right]$$

folgt (für " g_m " mit $\lambda \frac{L_{mi4}}{L} (U_D - U_{Geff}) \ll 1$)

$$g_m \approx \frac{W}{L} k U_{Geff} \quad (= \partial I / \partial U_{Geff}) \quad |$$

$$g_{DS} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{Geff}^2 \lambda \frac{L_{mi4}}{L} \quad (= \partial I / \partial U_D) \quad |$$

Damit:

$$\begin{aligned} g_{m2} &= \frac{40 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.2 \text{V} \\ &= 480 \mu\text{A/V} \quad | \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{DS2} &= \frac{1}{2} \frac{40 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.2^2 \text{V}^2 \cdot 0.1 \frac{1}{\text{V}} \frac{0.35 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \\ &= 1.68 \mu\text{A/V} \quad | \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_{DS3} &= \frac{1}{2} \frac{16 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 150 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.2^2 \text{V}^2 \cdot 0.15 \frac{1}{\text{V}} \frac{0.35 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \\ &= 2.52 \mu\text{A/V} \quad | \end{aligned}$$

$$\Rightarrow A_{Gesamt} = \frac{480 \mu\text{A/V}}{1.68 \mu\text{A/V} + 2.52 \mu\text{A/V}} \approx 114.3 \quad |$$

i) $r_{aus} = r_{aus, \text{Source-Folger}} \approx \frac{1}{g_{m,41}} \quad |$
 (1)

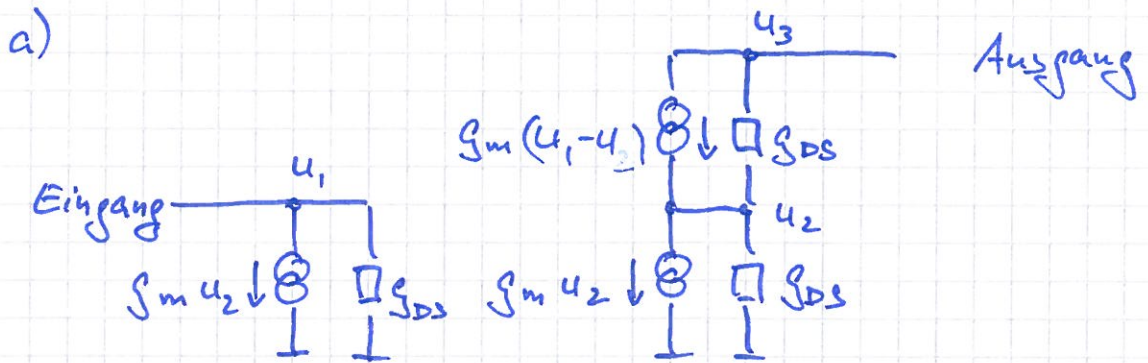
$$g_{m4} = \frac{W_{41}}{L} k_p U_{Geff}$$

$$\dots = \frac{100 \mu\text{m}}{1 \mu\text{m}} \cdot 60 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.2 \text{ V}$$

$$= 1200 \mu\text{A/V} = 1.2 \text{ mA/V}$$

$$\Rightarrow r_{\text{aus}} = \frac{1}{1.2} \frac{\text{V}}{\text{mA}} \approx 0.83 \text{ k}\Omega = 830 \Omega \quad 2$$

Aufgabe 3:



- Struktur des Schaltbildes 2
 Zuweisung der korrekten Spannungen 2

b) Vorstellung: Am Ausgang der Schaltung wird eine Spannung angelegt $u_{\text{aus}} \equiv u_3$, so dass ein Strom i_{aus} von außen in die Schaltung hinein fließt.

Aufstellung der Knotengleichungen:

$$\text{I: } 0 = g_m u_2 + g_{DS} u_1$$

$$\text{II: } 0 = g_m u_2 + g_{DS} u_2 - g_m (u_1 - u_2) - g_{DS} (u_{\text{aus}} - u_2)$$

$$\text{III: } 0 = g_m (u_1 - u_2) + g_{DS} (u_{\text{aus}} - u_2) - i_{\text{aus}} \quad 3$$

Löse lin. Gleichungssystem, ein Weg beispielhaft hier aufgezeichnet:

$$\text{I} \rightarrow \text{I}' : u_1 = -u_2 \frac{g_m}{g_{DS}}$$

$$\text{II} \rightarrow \text{II}' : 0 = u_2 (2g_m + 2g_{DS}) - u_1 g_m - u_{\text{aus}} g_{DS}$$

$$\text{III} \rightarrow \text{III}' : 0 = u_1 g_m - u_2 (g_m + g_{DS}) + u_{\text{aus}} g_{DS} - i_{\text{aus}}$$

TÜB Klausur Schaltungstechnik 27.07.2012 Musterlösung

I' in II' und III' einsetzen:

$$\text{II}'' : 0 = u_2 \left(2g_m + 2g_{DS} + \frac{g_m^2}{g_{DS}} \right) - u_{aus} g_{DS}$$

$$\text{III}'' : 0 = -u_2 \left(g_m + g_{DS} + \frac{g_m}{g_{DS}} \right) + u_{aus} g_{DS} - i_{aus}$$

$$\text{II}''' : u_2 = u_{aus} \frac{g_{DS}}{2g_m + 2g_{DS} + \frac{g_m^2}{g_{DS}}}$$

$$\text{II}'' + \text{III}'' : 0 = u_2 (g_m + g_{DS}) - i_{aus}$$

II''' in (II'' + III'') einsetzen:

$$0 = u_{aus} \frac{(g_m + g_{DS}) g_{DS}}{2g_m + 2g_{DS} + \frac{g_m^2}{g_{DS}}} - i_{aus}$$

$$\Rightarrow r_{aus} = \frac{u_{aus}}{i_{aus}} = \frac{2g_m + 2g_{DS} + \frac{g_m^2}{g_{DS}}}{(g_m + g_{DS}) g_{DS}}$$

4

Näherung: Mit $g_m \gg g_{DS}$ folgt

1

$$r_{aus} \approx g_m / g_{DS}^2$$

2

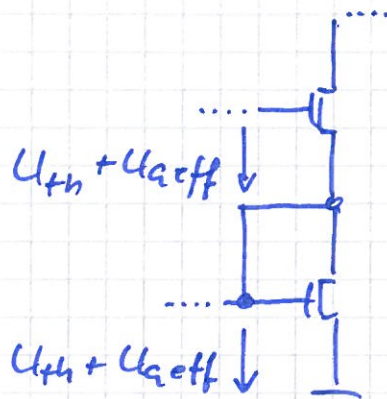
c) T_1 und T_2 werden zwar mit gleicher Gate-Spannung betrieben, jedoch ist die Drain-Spannung von T_2 immer kleiner als die von T_1 .

(Hinsreichend für volle Punktzahl:

$$U_D(T_2) < U_D(T_1))$$

2

d) Eingangsspannung U_{ein} :



$$\Rightarrow U_{\text{ein}} = 2U_{\text{th}} + 2U_{\text{geff}}$$

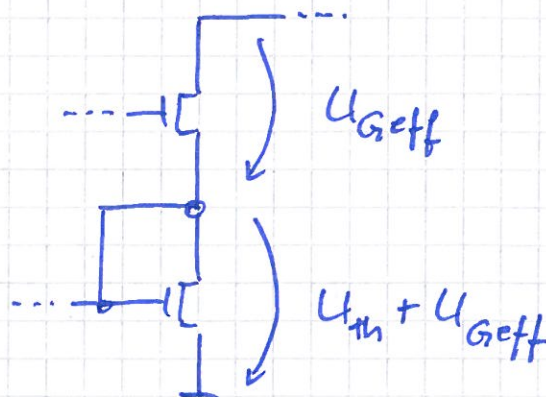
$$I \approx \frac{1}{2} \frac{W}{L} k U_{\text{geff}}^2$$

$$\Rightarrow U_{\text{geff}} = \sqrt{\frac{2I}{\frac{W}{L} \cdot k}}$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 300 \mu\text{A}}{120 \cdot 80 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2}}} = 250 \text{ mV}$$

$$\Rightarrow U_{\text{ein}} = 2 \cdot 650 \text{ mV} + 2 \cdot 250 \text{ mV} = 1.8 \text{ V}$$

Minimale Ausgangsspannung $U_{\text{aus, min}}$:



$$\Rightarrow U_{\text{aus, min}} = U_{\text{th}} + 2 U_{\text{geff}}$$

$$= 650 \text{ mV} + 2 \cdot 250 \text{ mV} = 1.15 \text{ V}$$

Aufgabe 4:

a) OP₂ und Widerstände R₂:
Differenzverstärker (mit Verstärkung 1) 1

OP₃ und OP₄:
Spannungsfolger / Impedanzwandler 1
(Verstärkung 1, hochohmige Eingänge)

ODER:

OP₂, Widerstände R₂, OP₃, OP₄:
Differenzverstärker mit hochohmigen Eingängen (2)
(und Verstärkung 1)

b) $I_L = (U_3 - U_4) / R_1$ 2

$U_{\text{ein}} = U_1 = U_2 = U_3 - U_4 (= I_L \cdot R_1)$ 2

$\Rightarrow I_L = U_{\text{ein}} / R_1$ 2

c) $U_3 = I_L (R_1 + R_L)$ 1

$= U_{\text{ein}} \frac{R_1 + R_L}{R_1}$ 1

Aussteuerbereich mit lin. Bezug zwischen I_L u. U_{ein} :

$|U_3| \leq 5V (= U_{DD} = -U_{SS})$ 1

$\Rightarrow |U_{\text{ein}}| \leq 5V R_1 / (R_1 + R_L)$ $\frac{1}{2}$

$|I_L| \leq 5V / (R_1 + R_L)$ $\frac{1}{2}$

TUB Klausur Schaltungstechnik 27.07.2012 Musterlösung

$$R_L = 25 \Omega : |U_{\text{ein}}| \leq 5V \cdot \frac{100\Omega}{125\Omega} = 4V \quad \frac{1}{2}$$

$$|I_L| \leq 5V / 125\Omega = 40 \text{ mA} \quad \frac{1}{2}$$

$$R_L = 250 \Omega : |U_{\text{ein}}| \leq 5V \cdot \frac{100\Omega}{250\Omega} = 2V \quad \frac{1}{2}$$

$$|I_L| \leq 5V / 250\Omega = 20 \text{ mA} \quad \frac{1}{2}$$

→ pro Diagramm 1 Pkt 4

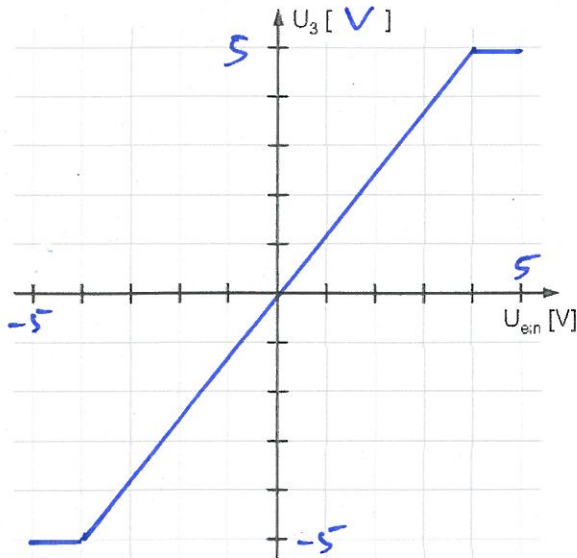
d) ja : Die Identität der Ströme durch R_1 u. R_L bleibt erhalten, der Spannungsabfall an R_1 wird nicht beeinflusst. 2

e) Nein : Die Identität der Ströme durch R_1 u. R_L ist nicht mehr gegeben, da ein Teil des Stromes durch R_1 nun in den nicht-invertierenden Eingang der Differenzverstärker-Schaltung fließt bzw. ein Widerstand $2R_2$ nun zu R_L parallel geschaltet ist. 4

TU Berlin Klausur Schaltungstechnik 27.02.2012 Musterlösung

Name (Nachname, Vorname):	Matr.-Nr.:
---------------------------	------------

$R_L = 25 \Omega$



$R_L = 150 \Omega$

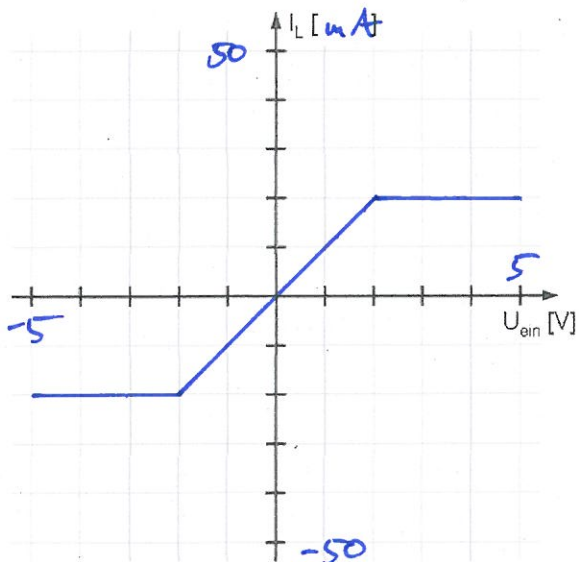
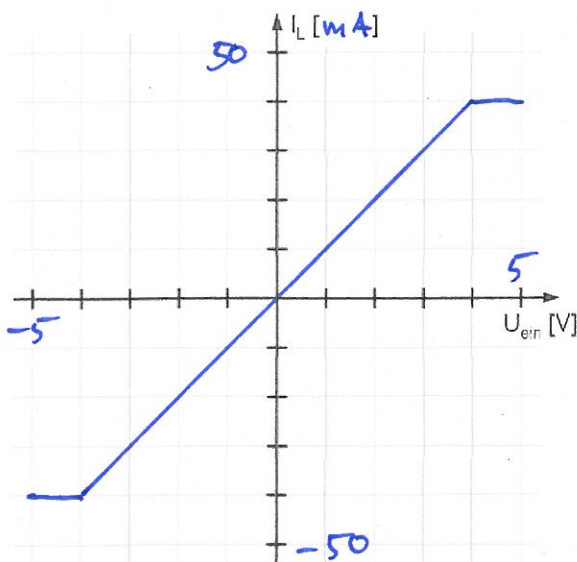
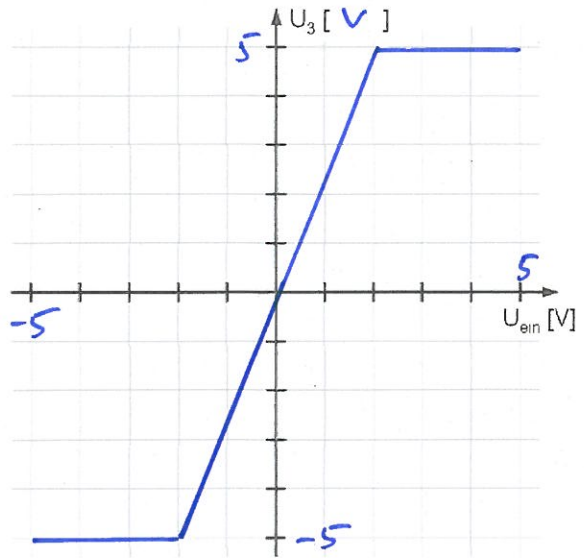


Diagramme zu Aufgabe 4

Aufgabe 5:

a) Betrachtung des Pull-Down-Pfades⁽²⁾ (keine undef. Zustände per Aufgabenstellung da garantiert) und aussch. Inversion⁽²⁾:

$$y = [x_1 \wedge (x_2 \vee x_3)] \vee [\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge (\bar{x}_3 \vee x_4)]$$

4

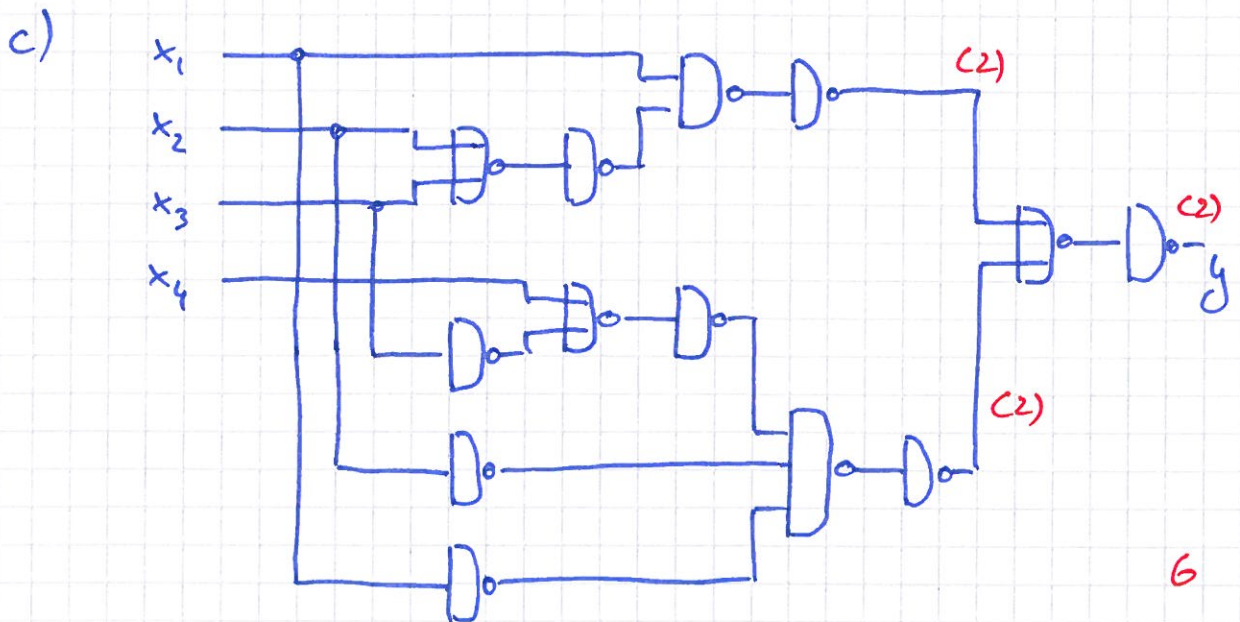
b)

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

\bar{x}_4	\bar{x}_3	1	0	1	0
x_4	x_3	0	1	1	0
x_4	x_3	1	1	1	0
x_4	\bar{x}_3	1	0	1	0

4

(Jede falsche Umsetzung: -1/2)



6