

# Klausur zur Vorlesung Schaltungstechnik

TU Berlin, Sommersemester 2014, 29.07.2014

Bearbeitungszeit: 3 Stunden

Name (Nachname, Vorname):
Matr.-Nr.:
Studiengang:
BSc / MSc / Diplom:
Erasmus- oder Gast-Student/in: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

Aufgabe:	Punkte:
1	/ 26
2	/ 26
3	/ 24
4	/ 40
5	/ 12
<b>Gesamt:</b>	<b>/ 128</b>

Note:	Datum:	Unterschrift:

**Bitte füllen Sie auf dieser Seite nur die weißen Felder aus.**

**Füllen Sie bitte ebenso auf allen abgegebenen Seiten jeweils die Kopfzeile aus und verwenden Sie nur dieses Papier für die Lösung der Aufgaben.**

**Viel Erfolg!**

**Aufgabe 1:**

Gegeben sind die Wahrheitstabelle einer Funktion  $x$  und das KV-Diagramm einer Funktion  $\bar{y}$ .

- a) Bestimmen Sie aus der Wahrheitstabelle für  $x$  das KV-Diagramm für  $x$ . Verwenden Sie dazu den Vordruck auf dem folgenden Blatt. 4
- b) Lesen Sie die Funktion  $x$  aus dem KV-Diagramm ab. Fassen Sie dabei sich aus dem KV-Diagramm ergebende Gruppierungen für logische Ausdrücke zusammen. Eine weitere Vereinfachung ist nicht gefordert. 4
- c) Setzen Sie die Funktion  $x$  aus Aufgabenteil b) direkt (d.h. ohne Optimierung oder Anwendung der DeMorgan'schen Regeln!) mit NAND- und NOR-Gattern (mit einer beliebigen Anzahl von Eingängen) und mit Invertern in eine Logikschaltung um und skizzieren Sie die sich ergebende Schaltung.  
 Falls eine Eingangsvariable invertiert werden muss und die invertierte Eingangsvariable ggf. mehrfach verwendet wird, nutzen Sie dafür jeweils nur bitte einen Inverter. 4
- d) Wie viele MOS-Transistoren enthält Ihre in c) skizzierte Schaltung, wenn diese in CMOS-Standard-Logik realisiert wird? (kurze Begründung oder Angabe der Transistoranzahl pro Gatter in c)) 2
- e) Welche oder welches Gatter würde man in der Schaltung aus c) (unter Anwendung der DeMorgan'schen Regeln) ggf. ersetzen wollen? Führen Sie diese Umformung NICHT durch, begründen Sie aber ihre Meinung kurz. (ohne Begründung keine Punkte) 2
- f) Bestimmen Sie aus den KV-Diagrammen für  $x$  und für  $\bar{y}$  das KV-Diagramm der Funktion  $z = \bar{x} \wedge y$ . Lesen Sie die Funktion von  $z$  ab und geben Sie sie in möglichst einfacher Form an. 6
- g) Setzen Sie diese Funktion ausschließlich mit NAND-Gattern und Invertern um und skizzieren Sie die sich ergebende Schaltung. Formen Sie die Funktion  $z$  zuvor entsprechend den DeMorgan'schen Regeln um und geben Sie die umgeformte Beziehung an. 4

**Summe: 26**

Wahrheitstabelle zu  $x$ :

a	b	c	d	x
0	0	0	0	0
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	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	0
1	1	0	1	1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	1
1	1	1	1	0

KV-Diagramm zu  $\bar{y}$

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

Abbildungen zu Aufgabe 1.

Arbeitsblatt zu Aufgabe 1

Name:

Matr.-Nr.:

**Daten gemäß Aufgabenstellung:**

Wahrheitstabelle zur Funktion x:

a	b	c	d	x
0	0	0	0	0
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	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	0
1	1	0	1	1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	1
1	1	1	1	0

KV-Diagramm zur Funktion  $\bar{y}$ :

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

**KV-Diagramme zu Ihrer Verfügung:**

Funktion:

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

Funktion:

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

Funktion:

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

Arbeitsblatt zu Aufgabe 1 <b>Ersatz / falls benötigt</b>	Name:	Matr.-Nr.:
---	-------	------------

Daten gemäß Aufgabenstellung:

Wahrheitstabelle zur Funktion x:

a	b	c	d	x
0	0	0	0	0
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	0
1	0	0	1	1
0	1	0	1	0
1	1	0	1	1
0	0	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	1
1	1	1	1	0

KV-Diagramm zur Funktion  $\bar{y}$ :

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

KV-Diagramme zu Ihrer Verfügung:

Funktion:

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

Funktion:

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

Funktion:

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

## Aufgabe 2:

Gegeben ist ein einfache invertierende Verstärkerstufe mit pMOS-Eingangstransistor T und ohmschen Lastelement R in 0.35  $\mu\text{m}$  CMOS-Technologie. Die Betriebsspannung der Schaltung  $U_{DD}$  beträgt 3.3 V, weitere Transistor-Parameter sind  $L = 0.8 \mu\text{m}$ ,  $k = 40 \mu\text{A/V}^2$ ,  $U_{th} = 650 \text{ mV}$  (Betrag).

- Zeichnen Sie ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung (für Betrieb bei niedrigen Frequenzen) und benennen Sie alle darin vorhandenen Größen in der Skizze. 2
  - Geben Sie vorzeichenrichtig die Verstärkung  $A$  der Schaltung an (Näherungsformel) unter der Annahme, dass der Transistor in Sättigung betrieben wird. 2
  - Geben Sie mit Hilfe der (Großsignal-) Parameter  $U_{ein}$  und  $U_{aus}$  den Bereich an, in dem der Transistor im Sättigungsbereich betrieben wird. 4
  - Berechnen Sie die Weite des Transistors T so, dass die Großsignalkennlinie durch den Arbeitspunkt  $U_{ein} = U_{aus} = U_{DD}/2$  geht und die Schaltung in diesem Arbeitspunkt  $200 \mu\text{A}$  (= Querstrom  $I_q$ ) konsumiert. 4
  - Skizzieren Sie die Großsignalkennlinie ( $U_{aus}$  als Funktion von  $U_{ein}$ ) der Schaltung unter der Annahme, dass diese durch den Arbeitspunkt  $U_{ein} = U_{aus} = U_{DD}/2$  geht. Zeichnen Sie den Parameter  $U_{th}$  mit in dieses Diagramm ein. Geben Sie an, welcher funktionalen mathematischen Abhängigkeit die Großsignalkennlinie folgt (Stichwort), solange der Transistor in Sättigung ist. 4
- Eine Berechnung der Kennlinie in Arbeitspunkten, in denen der Transistor im Triodenbereich betrieben wird, ist NICHT erforderlich!*
- Nehmen Sie nun an, dass die Weite des Transistors  $W = 12 \mu\text{m}$  beträgt und der Lastwiderstand zu  $R = 5 \text{ k}\Omega$  gewählt wird. Berechnen und skizzieren Sie den Betrag der Verstärkung der Schaltung Diagramm für  $U_{DD}/2 < U_{ein} < U_{DD}$ . 8
- Hinweis: Solange der Transistor in Inversion ist, wechselt er seinen Arbeitsbereich nicht.*
- Zeichnen Sie die komplementäre Schaltung. 2

Summe: 26

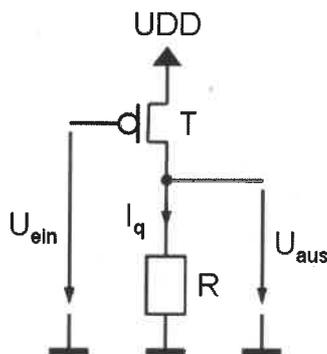


Abbildung zu Aufgabe 2.

**Aufgabe 3:**

Die in der unten stehenden Abbildung gezeigte Schaltung bildet die Eingangsspannungen  $U_{\text{ein},1}$  und  $U_{\text{ein},2}$  in bestimmter Form auf die Ausgangsspannungen  $U_{\text{aus},1}$  und  $U_{\text{aus},2}$  ab.

Betrachten Sie im Folgenden die Operationsverstärker als ideal. Ferner ist die Betrachtung von Betriebsspannungsgrenzen nicht erforderlich.

- a) Die Schaltung besteht aus der Kombination von drei bekannten Teilschaltungen. Kennzeichnen Sie diese Teilschaltungen jeweils und benennen Sie diese. 4  
Die Kennzeichnung und Benennung kann auf diesem Blatt Papier erfolgen.
- b) Geben Sie in allgemeiner Form  $U_{\text{aus},1}$  als Funktion von  $U_{\text{ein},1}$  und  $U_{\text{ein},2}$  an. 4  
*Hinweis: Ignorieren Sie für diese Teilaufgabe zunächst  $OP_2$  und die Widerstände, die mit Ein- oder Ausgangsknoten dieses Operationsverstärkers verbunden sind.*
- c) Betrachten Sie nun die gesamte Schaltung und geben Sie auch  $U_{\text{aus},2}$  in allgemeiner Form als Funktion von  $U_{\text{ein},1}$  und  $U_{\text{ein},2}$  an. 4
- d) Dimensionieren Sie die Schaltung so, dass sich für  $U_{\text{ein},2} = -1$  V und  $R_2 = 10$  k $\Omega$  die in der Abbildung auf der Folgeseite gezeigte Charakteristik ergibt. 12

**Summe: 24**

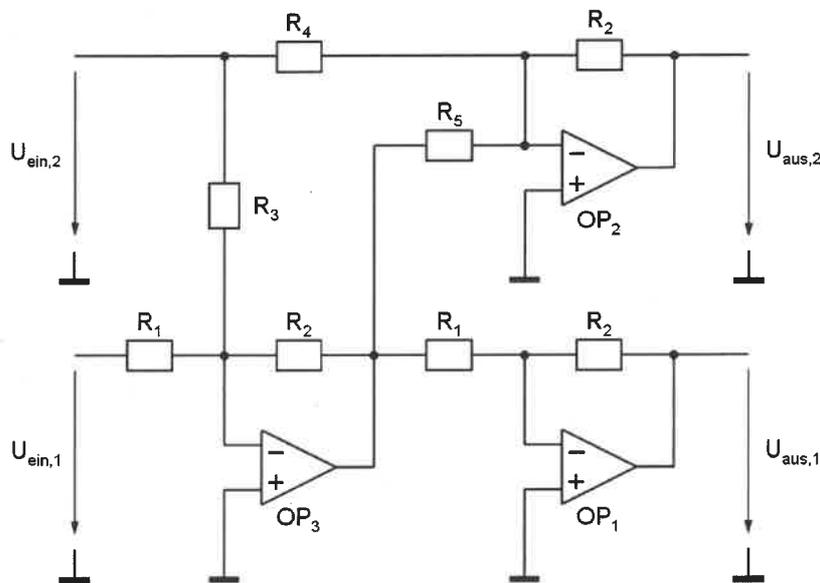


Abbildung 1 zu Aufgabe 3

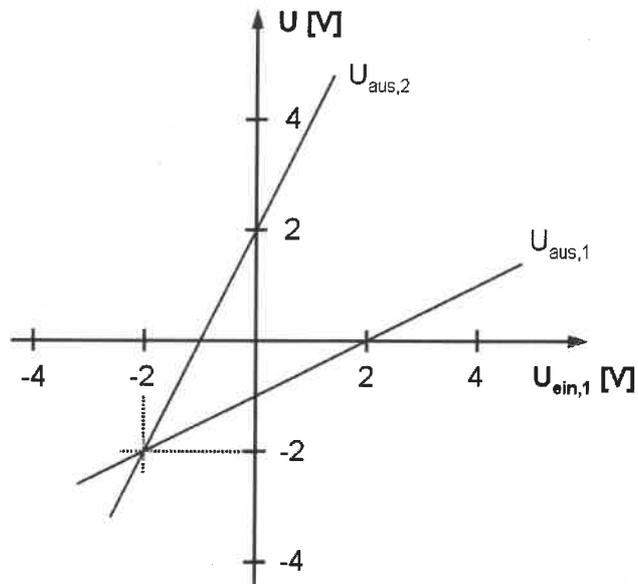


Abbildung 2 zu Aufgabe 3

#### Aufgabe 4:

Die Abbildung unten zeigt einen einfachen Verstärker mit weiteren Schaltungselementen zur Anpassung des Gleichakteingangsspannungsbereiches (bzw. der Eingangs-Common-Mode-Spannung) (z.B. für eine spezielle Applikation, bei der der Gleichakteingangsspannungsbereich eher bei höheren Spannungen liegt). Die Betriebsspannung  $U_{DD}$  beträgt 2.5 V. Technologie- bzw. Transistorparameter sind  $L_{min} = 0.25 \mu\text{m}$ ,  $k_n = 160 \mu\text{A} / \text{V}^2$ ,  $U_{th,n} = 0.6 \text{V}$ ,  $k_p = 64 \mu\text{A} / \text{V}^2$ ,  $U_{th,p} = 0.65 \text{V}$ ,  $\lambda_n = \lambda_p = 0.25 / \text{V}$ . Alle Transistoren haben eine Kanallänge  $L = 0.5 \mu\text{m}$  und werden mit einer effektiven Gatespannung von 150 mV betrieben.

Der Substrateffekt wird bei dieser Aufgabe vernachlässigt.

- Identifizieren und benennen Sie bekannte Teilschaltungen möglichst genau. 4
- Welches ist der invertierende, welches der nicht-invertierende Eingang der Schaltung? Begründen Sie Ihre Aussage dadurch, dass Sie an *jedem* signalführenden Knoten in der Schaltung Pfeilsymbole eintragen. (Ohne Begründung oder Skizze keine Punkte) 2
- Der Drainstrom von T10 soll  $7.2 \mu\text{A}$  betragen. Bestimmen Sie die Weite von T<sub>10</sub> und den Wert des Widerstandes R. 6

*Hinweis: Verwenden Sie bei der Berechnung des Transistorstromes eine Näherungsformel, d.h., vernachlässigen Sie den über den Parameter  $\lambda$  modellierten Effekt der Kanallängenmodulation.*

- Dimensionieren Sie die die Weiten von T<sub>11</sub> und T<sub>12</sub> so, dass durch die entsprechenden Schaltungszweige jeweils ein Strom von  $16.2 \mu\text{A}$  fließt, und dimensionieren Sie die Weite von T<sub>13</sub> so, so dass dessen Drainstrom  $90 \mu\text{A}$  beträgt. Dimensionieren Sie nun auch die Werte aller verbliebenen Transistoren (T<sub>21</sub>, T<sub>22</sub>, T<sub>31</sub>, T<sub>32</sub>, T<sub>41</sub>, und T<sub>42</sub>). 8
- Geben Sie die minimale und die maximale Gleichtakt- (oder Common-Mode-) Eingangsspannung an unter der Bedingung, dass alle Transistoren im Sättigungsbereich betrieben werden sollen. Geben Sie dazu jeweils eine kurze Skizze (oder Erklärung) und die entsprechenden Spannungswerte an. 8

*Hinweis: Falls einer der beiden berechneten Werte außerhalb der Betriebsspannungen liegen sollte, geben Sie bitte die jeweilige Betriebsspannung als Grenze an.*

- Geben Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung der gesamten Schaltung an (Formel und Wert). 12

*Hinweise:*

*Berechnen Sie diese bzw. geben Sie diese an mit Hilfe bekannter Näherungs-Formeln. Falls Sie bei Aufgabenteil d) kein Ergebnis erzielt haben, rechnen Sie mit der Weite  $10 \mu\text{m}$  für T<sub>11</sub>, T<sub>12</sub>, T<sub>21</sub> und T<sub>22</sub>, der Weite  $18 \mu\text{m}$  für T<sub>31</sub> und T<sub>32</sub>, und der Weite  $45 \mu\text{m}$  für T<sub>41</sub> und T<sub>32</sub>. Nehmen Sie dabei an, dass die effektive Gatespannung für alle Transistoren nach wie vor 150 mV beträgt.*

Summe: 40

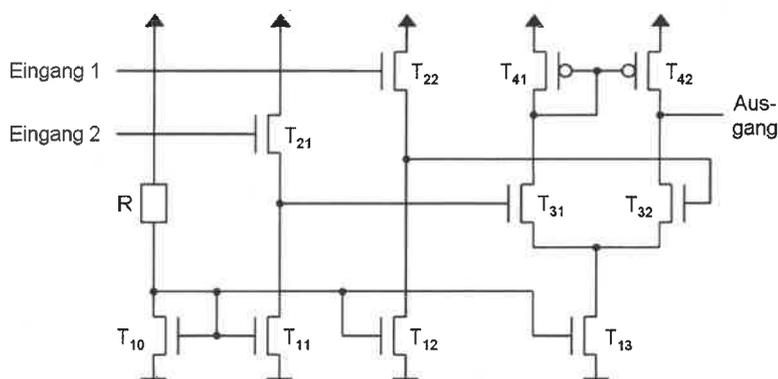


Abbildung zu Aufgabe 4

### Aufgabe 5:

Gegeben ist die unten skizzierte Logik-Schaltung.

- a) Lesen Sie den logischen Ausdruck für  $y$  ab und geben Sie ihn an. 2
- b) Formen mit Hilfe der DeMorgan'schen Gesetze den Ausdruck so um, dass Sie ihn mit Hilfe von insgesamt 3 NAND-Gattern mit jeweils vier Eingängen, einem NAND-Gatter mit drei Eingängen und Invertern realisieren können, und skizzieren Sie die Schaltung. 4

*Hinweis: U.a. soll bei dieser Implementierung die Anzahl der durchlaufenen Gatter deutlich verringert werden.*

- c) Geben Sie für die unten abgebildete Schaltung als auch für die in b) entworfene Schaltung die maximale Anzahl der durchlaufenen Gatter an. 4

*Hinweis: Bedenken Sie dabei, dass ein OR-Gatter in der schaltungstechnischen Umsetzung aus einem NOR-Gatter gefolgt von einem Inverter besteht.*

- d) Skizzieren Sie das NAND-Gatter mit vier Eingängen aus Aufgabenteil b). Nehmen Sie an, dass alle Transistoren die minimale Kanallänge aufweisen und die nMOS-Transistoren eine Weite  $W_0$  haben. 4

Geben Sie einen Näherungswert für die Weite der pMOS-Transistoren an und begründen Sie Ihre Wahl kurz. (Ohne Begründung keine Punkte).

*Hinweis: Gehen Sie hier davon aus, dass die Stromtreibfähigkeit pro Weite für die nMOS-Transistoren zweimal größer ist als für die pMOS-Transistoren..*

**Summe: 12**

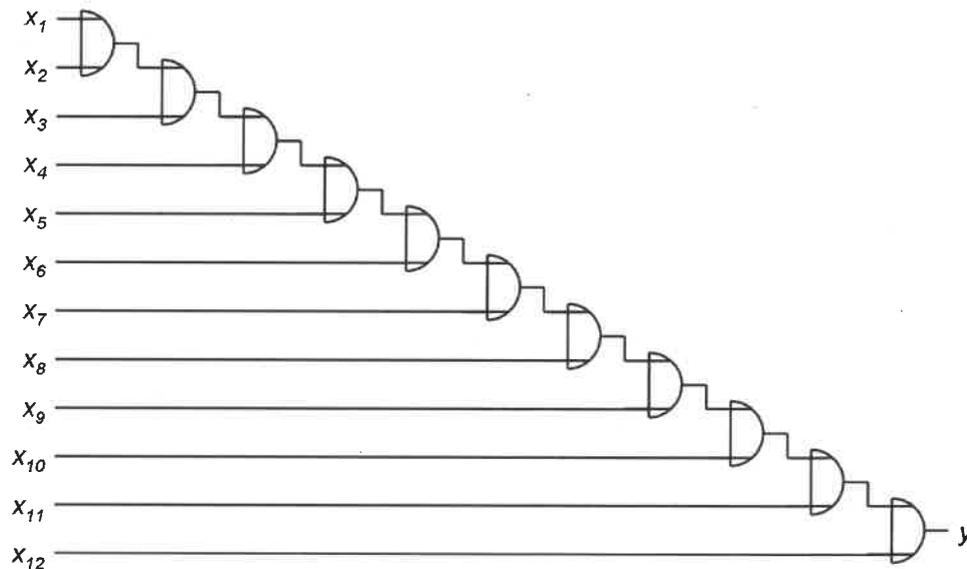


Abbildung zu Aufgabe 5



Musterlösung

zu Aufgabe 1:

a) Funktion:  $x$

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

alles korrekt 4

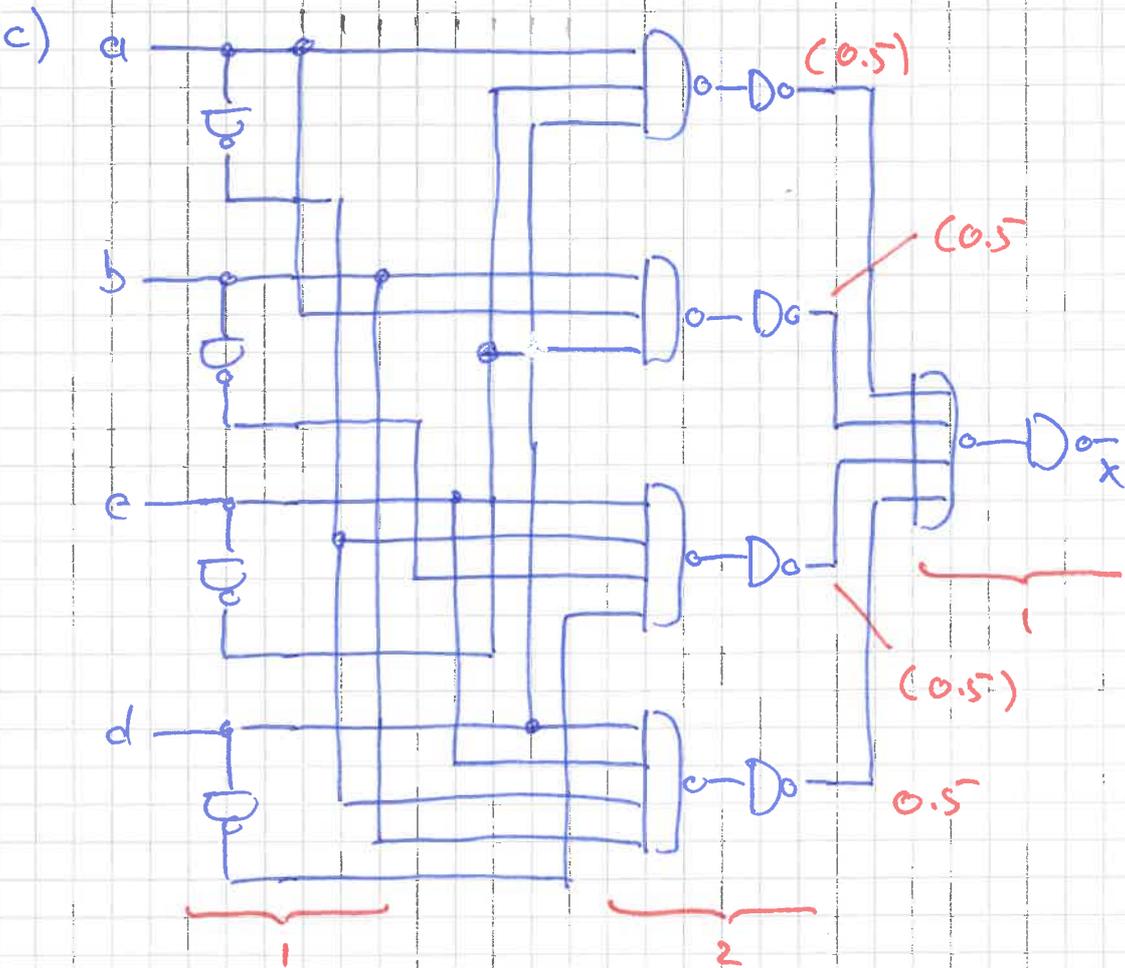
- 1 Fehler 3.5
- 2 Fehler 3
- 3 Fehler 2
- 4 Fehler 1
- ≥ 5 Fehler 0

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

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

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

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



Musterlösung

zu Aufgabe 1c, Fortsetzung:

- nicht gemeinsame Nutzung von Invertieren für  $\bar{a}$  u.  $\bar{c}$
- Änderung NOR  $\rightarrow$  NAND am Ausgang mit De Morgan: zulässig
- Darstellung mit "Wiring by Labeling": zulässig

je - 0.5

d) 9 Inv.:  $9 \cdot 2Tr = 18 Tr.$

2 NAND mit 3 Eingängen:  $2 \cdot 6Tr = 12Tr$

2 NAND mit 4 Eingängen:  $2 \cdot 8Tr = 16Tr$

1 NOR mit 4 Eingängen:  $1 \cdot 8Tr = 8Tr$

$\Rightarrow$  Summe  $Tr = (18 + 12 + 16 + 8) Tr$   
 $= 54 Tr$

2

(Falls Schaltung bereits aussch. mit NANDs realisiert wurde:  $44 Tr$ )

e) 4fach NOR am Ausgang:

Pull-up Pfad muss mit sehr weiten p-FOS Transistoren realisiert werden

2

(Falls Opt. bereits durchgeführt: ebenfalls 2 Punkte)

# TUB Klausur Schaltungstechnik 29.07.2014

## Musterlösung

Zu Aufgabe 1:

f)

Funktion:  $z$

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

alles korrekt

4

1 Fehler

3.5

2 Fehler

3

3 Fehler

2

4 Fehler

1

5 Fehler

0

Möglicher, aber nicht erforderlicher Zwischenschritt / alternative Darstellung:

Funktion: "links":  $\bar{x}$ ; "rechts":  $y$

		a	0	1	1	0
		b	0	0	1	1
c	d					
0	0	11	10	01	11	
1	0	00	11	11	10	
1	1	10	11	11	01	
0	1	11	01	00	11	

Falls obiges Diagramm fehlt, Bewertung wie oben

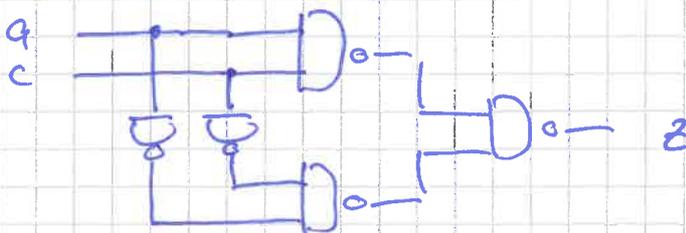
$$z = (a \wedge c) \vee (\bar{a} \wedge \bar{c})$$

2

g)

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

2

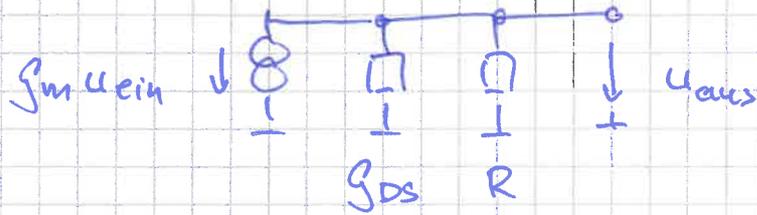


2

Musterlösung

zu Aufgabe 2:

a)



2

b)  $A = -g_m R$

2

[ oder:  $A = -g_m (R \parallel \frac{1}{g_{ds}}) \rightarrow -g_m R$  ]

c) Sättigungsbedingung:

$$|U_{ds}| \geq U_{Geff} \quad (U_{Geff}: \text{Betrag})$$

1

$$|U_{ds}| = U_{DD} - U_{aus}$$

1

$$U_{Geff} = U_{DD} - (U_{ein} + U_{th})$$

1

$\Rightarrow$  Sättigung für

$$U_{DD} - U_{aus} \geq U_{DD} - (U_{ein} + U_{th})$$

$$\Rightarrow U_{aus} \leq U_{ein} + U_{th}$$

1

d)  $I_f = \frac{1}{2} \frac{W}{L} \mu (U_{DD}/2 - U_{th})^2$

2

$$\Rightarrow U = \frac{2 L I_f}{\mu (U_{DD}/2 - U_{th})^2}$$

1

$$= \frac{2 \cdot 0.8 \mu\text{m} \cdot 200 \mu\text{A}}{40 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (1.65 - 0.65)^2 \text{V}^2}$$

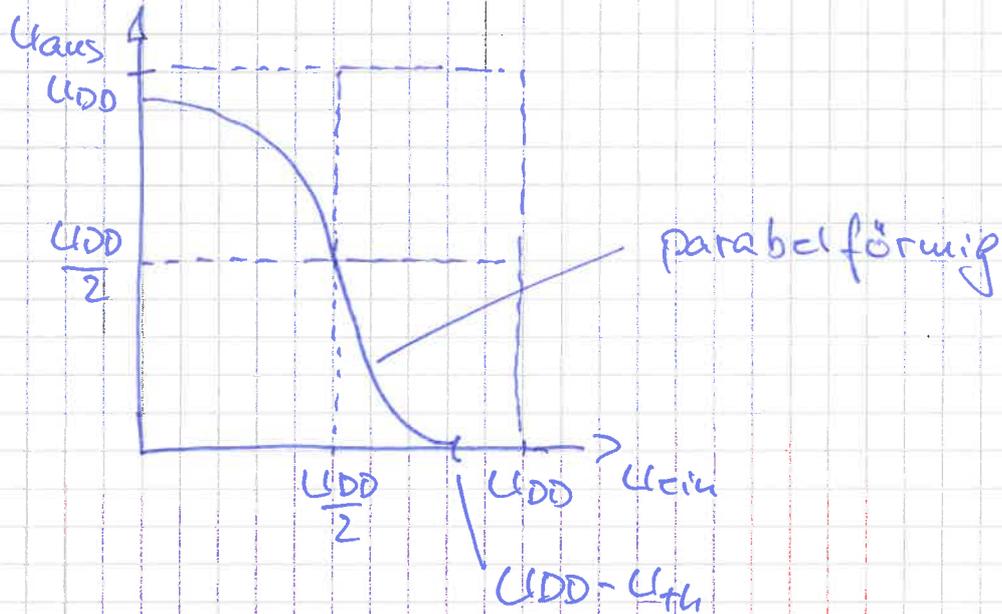
$$= 8 \mu\text{m}$$

1

Meistlösung

zu Aufgabe 2:

e)



- Kennlinie startet für  $U_{ein} = U_{DD}$  bei 0V 1
- Kennlinie erreicht für  $U_{ein} = 0$  nicht  $U_{DD}$  1
- rechter Teil der Kennlinie: parabel-  
förmig (und auch so benannt) 1
- linker Teil der Kennlinie nach links  
hin abflachend 1
- grundsätzlich andere Verläufe 0

$$f) \quad I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} \mu [U_{DD} - (U_{ein} + U_{th})]^2$$

$$g_m = \frac{W}{L} \mu [U_{DD} - (U_{ein} + U_{th})]$$

$$|A| = g_m R = \frac{W}{L} \mu [U_{DD} - (U_{ein} + U_{th})] R$$

TUB Klausur Schaltungstechnik 29.07.2014  
 Musterlösung

Zu Aufgabe 2 f, Fortsetzung:

$\Rightarrow$   $|A|$  nimmt linear mit steigenden  
 Werten von  $U_{\text{eff}}$  ab

$$|A| (U_{\text{eff}} = U_{\text{DD}} - U_{\text{th}}) = 0$$

$$|A| (U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{DD}}}{2}) =$$

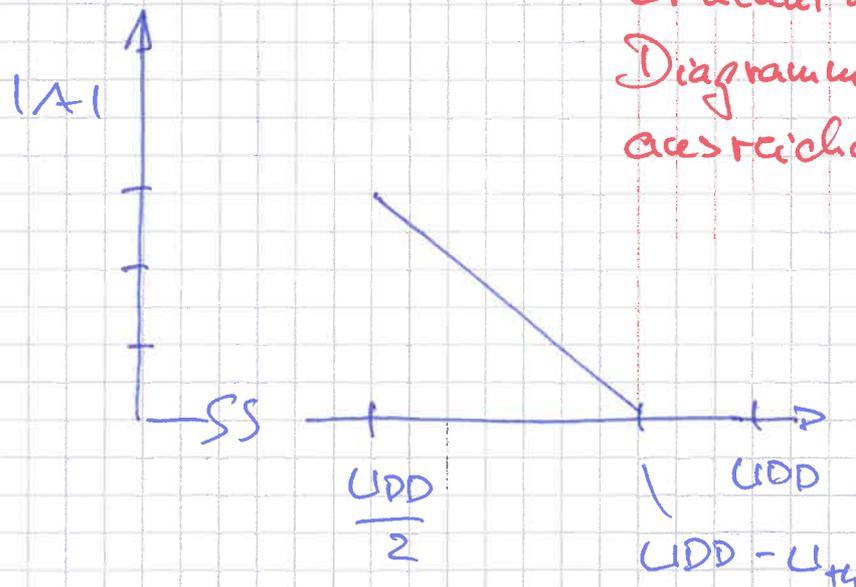
$$= \frac{12 \mu\text{m}}{0.8 \mu\text{m}} \cdot 40 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \left[ 3.3 \text{V} - (1.65 \text{V} + 0.65 \text{V}) \right] \cdot 5 \text{k}\Omega$$

$$= 15 \cdot 40 \cdot 5 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot \text{V} \cdot \frac{\text{k}\Omega}{\text{A}}$$

$$= 3000 \cdot 10^{-3} =$$

$$= 3$$

\* Verwendung dieser  
 Erkenntnisse im  
 Diagramm ist  
 ausreichend



Master Lösung

Zu Aufgabe 2:

g)

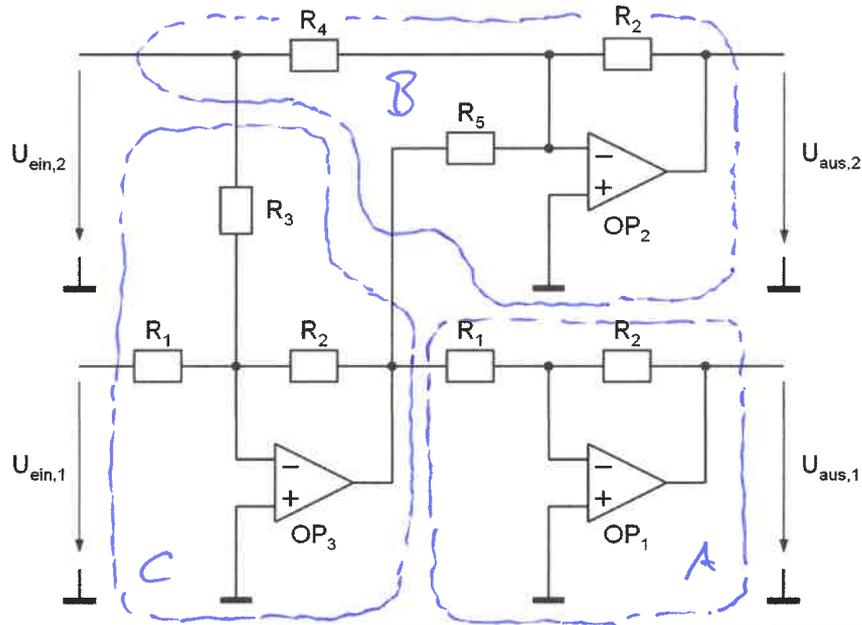


2

Musterlösung

Zu Aufgabe 3:

a)



- A: Invertierender Verst. 1
- B: Invertierender Summierverst. 1.5
- C: Invertierender Summierverst. 1.5

Bemerkung B oder C nur als "Inv. Verst." je - 0.5

b)

$$\begin{aligned}
 U_{\text{aus}}(\text{OP}_3) &= U_{\text{aus},3} && 1 \\
 &= -U_{\text{ein},1} \frac{R_2}{R_1} - U_{\text{ein},2} \frac{R_2}{R_3} && 2 \\
 U_{\text{aus},1} &= -\frac{R_2}{R_1} \cdot U_{\text{aus},3} && 1 \\
 &= U_{\text{ein},1} \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2 + U_{\text{ein},2} \frac{R_2^2}{R_1 R_3} && 1
 \end{aligned}$$

Musterlösung

zu Aufgabe 3:

$$\begin{aligned}
 c) \quad U_{\text{aus},2} &= -U_{\text{ein},2} \frac{R_2}{R_4} - U_{\text{aus},3} \frac{R_2}{R_5} && 2 \\
 &= -U_{\text{ein},2} \frac{R_2}{R_4} + \left[ U_{\text{ein},1} \frac{R_2}{R_1} + U_{\text{ein},2} \frac{R_2}{R_3} \right] \frac{R_2}{R_5} && 1 \\
 &= + U_{\text{ein},2} \left( \frac{R_2^2}{R_3 R_5} - \frac{R_2}{R_4} \right) + U_{\text{ein},1} \frac{R_2^2}{R_1 R_5} && 1
 \end{aligned}$$

d) Gegeben:

$$U_{\text{aus},1} = U_{\text{ein},1} \left( \frac{R_2}{R_1} \right)^2 + U_{\text{ein},2} \frac{R_2^2}{R_1 R_3}$$

$$\text{Diagramm: } \Delta U_{\text{aus},1} / \Delta U_{\text{ein},1} = 0.5$$

(= Steigung im Diagramm)

$$\Rightarrow \frac{R_2^2}{R_1^2} = 0.5$$

$$\Rightarrow R_1 = \sqrt{\frac{1}{0.5}} R_2$$

$$= 1.41 \cdot 10 \text{ k}\Omega$$

$$= 14.1 \text{ k}\Omega$$

Ausatz

2

1

1

$$\text{Diagramm: } U_{\text{aus},1} (U_{\text{ein},1} = 0V) = -1V$$

$$\Rightarrow \underbrace{-1V}_{U_{\text{aus},1}} = \underbrace{-1V}_{U_{\text{ein},2}} \frac{R_2^2}{R_1 R_3}$$

Ausatz

2

## Musterlösung

zu Aufgabe 3 d, Fortsetzung

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow R_3 &= R_2^2 / R_1 \\
 &= R_2^2 / (\sqrt{0.5}) R_2 \\
 &= R_2 \sqrt{0.5} \\
 &= 10 \text{ k}\Omega \cdot 0.707 = 7.07 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Ähnliche Vorgehensweise zu U<sub>Aus,2</sub> ergibt:

$$\Delta U_{\text{Aus,2}} / \Delta U_{\text{Aus,1}} = 2$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{R_5} \cdot \frac{R_2}{R_1} = 2$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow R_5 &= R_2 \frac{R_2}{R_1} \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 10 \text{ k}\Omega \sqrt{0.5} \cdot \frac{1}{2} \\
 &= 3.53 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

$$U_{\text{Aus,2}} (U_{\text{Aus,1}} = 0) = 2 \text{ V}$$

$$\Rightarrow 2 \text{ V} = -1 \text{ V} \left( \frac{R_2^2}{R_3 R_5} - \frac{R_2}{R_4} \right)$$

$$\Rightarrow -2 = \frac{1}{\sqrt{0.5} \frac{\sqrt{0.5}}{2}} - \frac{R_2}{R_4}$$

$$\Rightarrow -2 = 4 - \frac{R_2}{R_4}$$

$$\begin{aligned}
 \Rightarrow R_4 &= \frac{1}{6} R_2 \\
 &= 10 \text{ k}\Omega / 6 = 1.67 \text{ k}\Omega
 \end{aligned}$$

Musterlösung

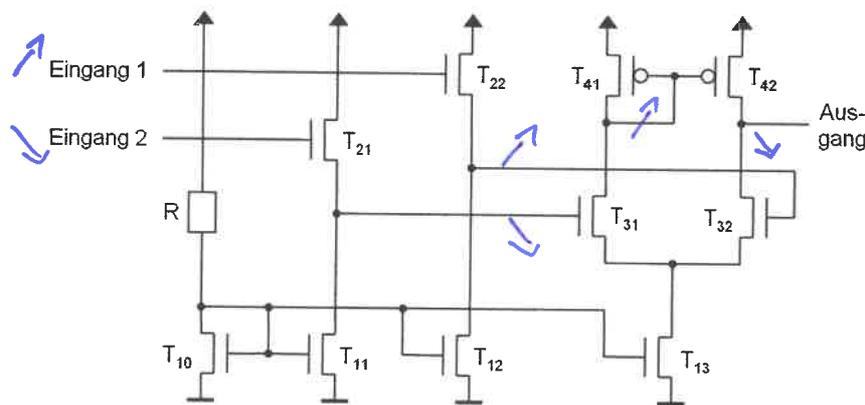
Zu Aufgabe 4:

a)  $T_{10}, T_{11}, T_{12}, T_{13}$ :  
einfacher Stromspiegel

$T_{21}$  mit  $T_{11}, T_{22}$  mit  $T_{12}$ :  
Sourcefolger

$T_{31}, T_{32}, T_{41}, T_{42}$  (mit  $T_{13}$ ):  
Single-ended Differenzstufe  
mit Stromspiegelast

b) Eingang 1: inv. Eingang  
Eingang 2: nicht-inv. Eingang



2

A4/1

TUB Klausur Schaltungstechnik 29.07.2014  
Musterlösung

Zur Aufgabe 4:

$$\begin{aligned} c) \quad R &= \frac{U_{DD} - (U_{th,n} + U_{a,eff})}{I} \\ &= \frac{2.5V - (0.6V + 150mV)}{7.2\mu A} \\ &\approx 248 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} I &= \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{a,eff}^2 \\ \Rightarrow W &= \frac{2 \cdot I \cdot L}{k_n U_{a,eff}^2} \\ &= \frac{2 \cdot 7.2\mu A \cdot 0.5\mu m}{160\mu A/V^2 \cdot (0.05V)^2} \\ &= 2.0\mu m \end{aligned}$$

$$d) \quad W_{11} = W_{12} = W_{10} \cdot \frac{16.2\mu A}{7.2\mu A} = 4.5\mu m$$

$$W_{13} = W_{10} \cdot \frac{90\mu A}{7.2\mu A} = 25\mu m$$

$$W_{21} = W_{22} = W_n (= W_{12}) = 4.5\mu m$$

$$W_{31} = W_{32} = W_{13} \cdot \frac{1}{2} = 12.5\mu m$$

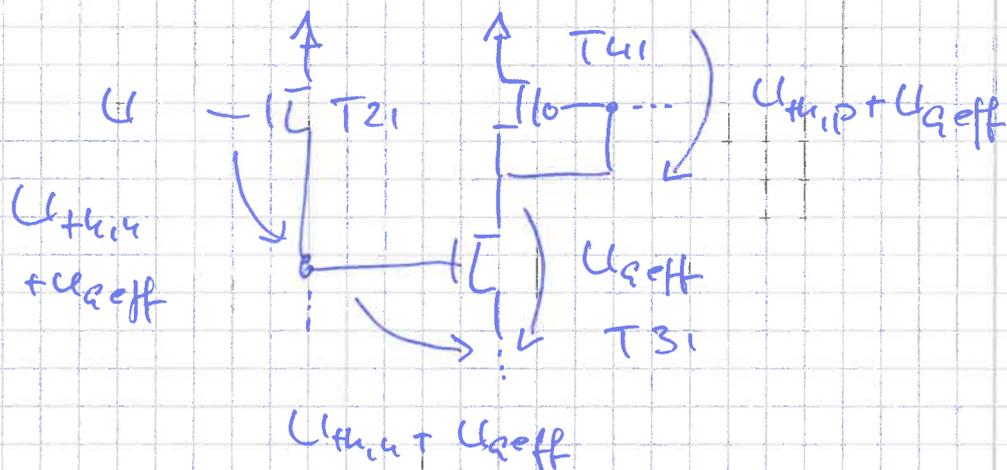
Musterlösung

zu Aufgabe 4 d Fortsetzung

$$W_{41} = W_{42} = W_{31} \frac{k_n}{k_p} \quad (= W_{32} \frac{k_n}{k_p}) \quad 2$$

$$= 12.5 \mu\text{m} \cdot \frac{160}{64} = 31.25 \mu\text{m} \quad 1$$

e) Max. CM-Eingangsspg  $U_{CM,eq,max}$ :



$$U = U_{DD} - (U_{T4p} + U_{Q,eff}) - U_{Q,eff}$$

$$+ (U_{T4,n} + U_{Q,eff}) + (U_{T4,n} + U_{Q,eff})$$

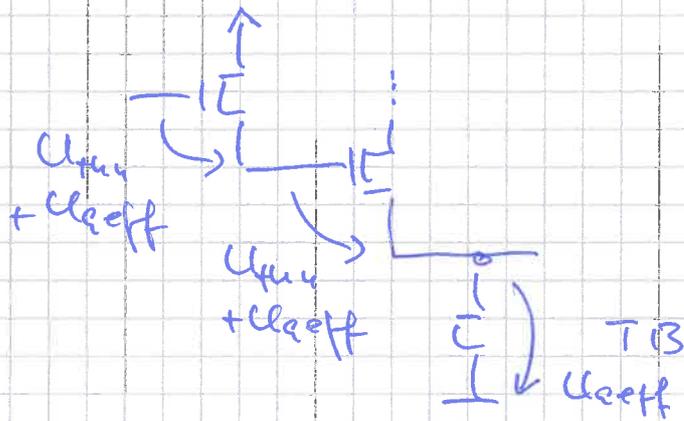
$$= U_{DD} - U_{T4p} + 2 U_{T4,n} > U_{DD} \quad 1$$

$$\Rightarrow U_{CM,eq,max} = U_{DD} = 2.5 \text{ V} \quad 1$$

TUB Klausur Schaltungstechnik 29.07.2014  
 Musterlösung

Zu Aufgabe 4 c, Fortsetzung:

Min. CM-Eingangsspg  $U_{CM, ein, min}$ :



$$\begin{aligned} \Rightarrow U_{CM, ein, min} &= 2 U_{th, n} + 3 U_{Geff} \\ &= 2 \cdot 600 \text{ mV} + 3 \cdot 150 \text{ mV} \\ &= 1.65 \text{ V} \end{aligned}$$

f) Source-Folger:  $A = 1$

Diff-Stufe:  $|A| = g_{m3} / (g_{os3} + g_{os4})$

Summe:  $|A|_{ges} = \frac{g_{m3}}{g_{os3} + g_{os4}}$

Berechne  $g_{m3}$  ( $= g_{m3,1} = g_{m3,2}$ )

$$I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{Geff}^2$$

$$g_m = \frac{W}{L} k_n U_{Geff}$$

TUB Klausur Schaltungstechnik 29.07.2014  
Master Lösung

zu Aufgabe 4f, Fortsetzung:

$$\Rightarrow g_{m3} = \frac{12.5 \mu\text{m}}{0.5 \mu\text{m}} \cdot 160 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \cdot 0.15 \text{V}$$
$$= 600 \mu\text{A/V}$$

Berechne  $g_{os3}$  und  $g_{os4}$

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

$$g_{os} = \frac{\partial I_D}{\partial U_D} = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{\text{eff}}^2 \lambda \frac{L_{\text{eff}}}{L}$$

$$\approx I_D \lambda \frac{L_{\text{eff}}}{L}$$

$$\Rightarrow g_{os3} = 45 \mu\text{A} - 0.25 \frac{1}{\text{V}} \frac{0.25}{0.5}$$
$$= 5.625 \mu\text{A/V}$$

$$g_{os4} = (\text{wie } g_{os3})$$
$$= 5.625 \mu\text{A/V}$$

$$\Rightarrow |A_{g_{os}}| = \frac{600 \mu\text{A/V}}{5.625 \mu\text{A/V} + 5.625 \mu\text{A/V}}$$
$$= \underline{\underline{53.3}}$$

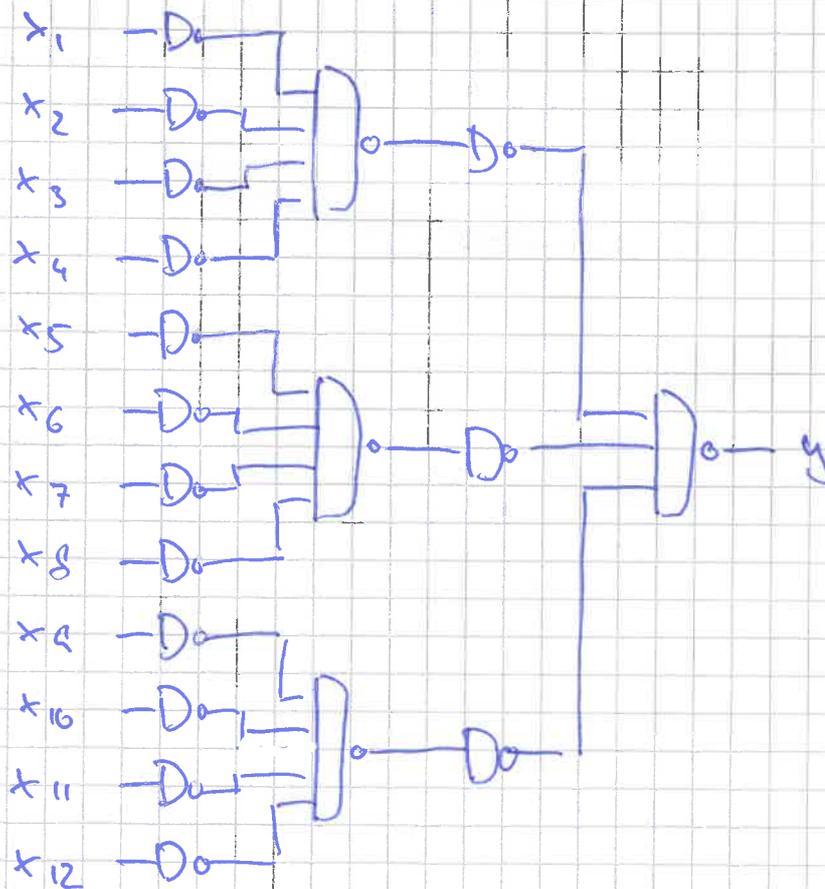
Musterlösung

Zu Aufgabe 5:

a)  $y = x_1 \vee x_2 \vee x_3 \dots \vee x_{11} \vee x_{12}$  2

b)  $y = (\overline{x_1} \wedge \overline{x_2} \wedge \overline{x_3} \wedge \overline{x_4}) \vee \dots \vee (\overline{x_9} \wedge \overline{x_{10}} \wedge \overline{x_{11}} \wedge \overline{x_{12}})$  1

$= \overline{x_1} \wedge \overline{x_2} \wedge \overline{x_3} \wedge \overline{x_4} \wedge \dots \wedge \overline{x_9} \wedge \overline{x_{10}} \wedge \overline{x_{11}} \wedge \overline{x_{12}}$  1



c) Original Schaltung:

max 11 NOR + 11 Inverter  $\rightarrow$  22 Gatter 1

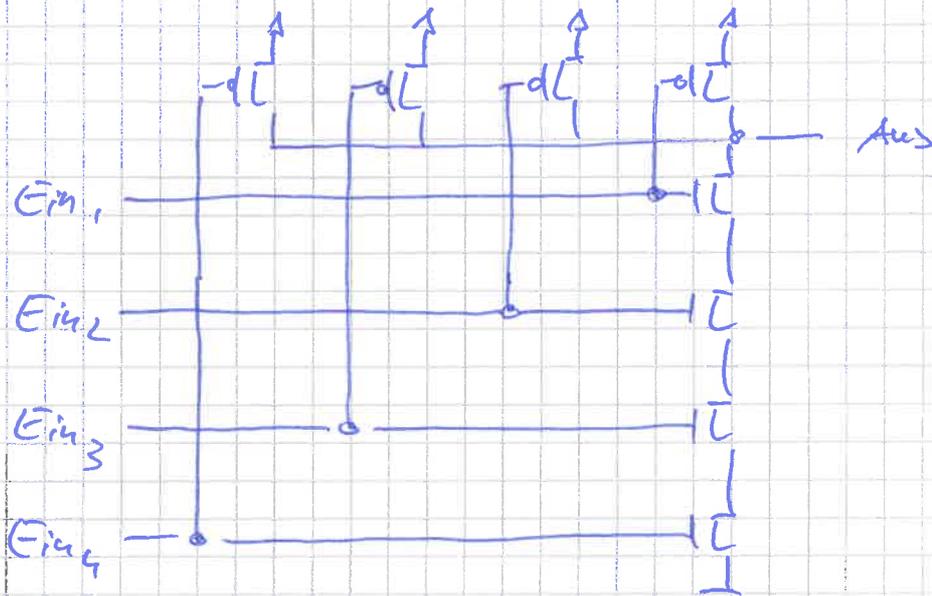
Schaltung aus b)

max 2 Inverter + 2 NAND  $\rightarrow$  4 Gatter 1

Musterlösung

zu Aufgabe 5:

d)



2

$$n\text{-TOS} : k_n W_0 / 4 L_{min}$$

Stromtreibfähigkeit pull-down-Pfad:

$$\sim k_n W_0 / 4 L_{min}$$

min Stromtreibfähigkeit pull-up-Pfad:

$$\sim k_p W_p / L_{min}$$

$$k_p W_p / L_{min} \stackrel{!}{=} k_n W_0 / 4 L_{min}$$

$$\Rightarrow W_p = \frac{k_n}{k_p} W_0 / 4 = \frac{1}{2} W_0$$