

# Klausur 2 VL Schaltungstechnik - Musterlösung Sommersemester 2010

## Lösung zu Aufgabe 1

$$a) \quad \bar{y} = x_1 \wedge x_2 \wedge (x_3 \vee x_4 \vee x_5) \quad 2$$

$$y = \overline{x_1 \wedge x_2 \wedge (x_3 \vee x_4 \vee x_5)} \quad 2$$

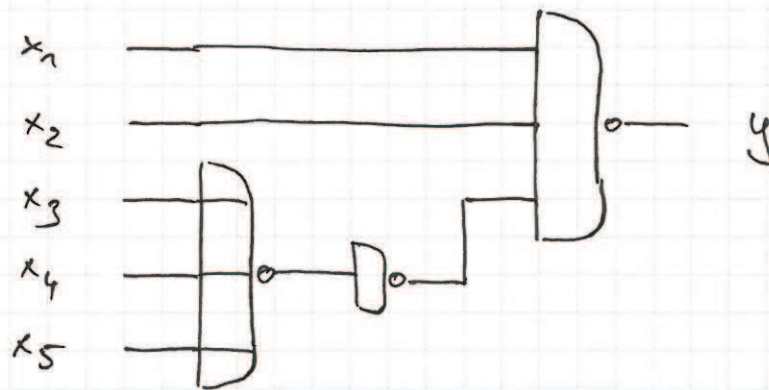
Mit De Morgan auch andere Umformulierungen möglich, die ebenfalls voll anerkannt werden

Wahrheitstabelle:

	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$\bar{y}$	$y$
	0	0	0	0	0	0	1
	1	0	0	0	0	0	1
	0	1	0	0	0	0	1
	1	1	0	0	0	0	1
	0	0	1	0	0	0	1
	1	0	1	0	0	0	1
	0	1	1	0	0	0	1
	1	1	1	0	0	1	0
	0	0	0	1	0	0	1
	1	0	0	1	0	0	1
	0	1	0	1	0	1	0
	1	1	0	1	0	0	1
	0	0	1	1	0	0	1
	1	0	1	1	0	0	1
	0	1	1	1	0	1	0
	1	1	1	1	0	1	0
	0	0	0	0	1	0	1
	1	0	0	0	1	0	1
	0	1	0	0	1	0	1
	1	1	0	0	1	1	0
	0	0	1	1	1	0	1
	1	0	1	1	1	0	1
	0	1	1	1	1	1	0
	1	1	1	1	1	0	1
	1	1	1	1	1	1	0

# Lösung zu Aufgabe 1, Fortsetzung

b)



4

Auch andere Möglichkeiten im Prinzip möglich, die - bei nicht allzu großer Zunahme der Komplexität der Schaltung - ebenfalls mit voller Punktzahl anerkannt werden.

Teilpunktzahlen wenn z.B. richtige Ansätze erkennbar, aber Fehler in Umsetzung (z.B. in Aufgabenteil a) von  $\bar{y}$  nach  $y$ , oder von  $y$  in die Wahrheitstabelle).



# Klausur 2 VL Schaltungstechnik - Musterlösung Sommersemester 2010

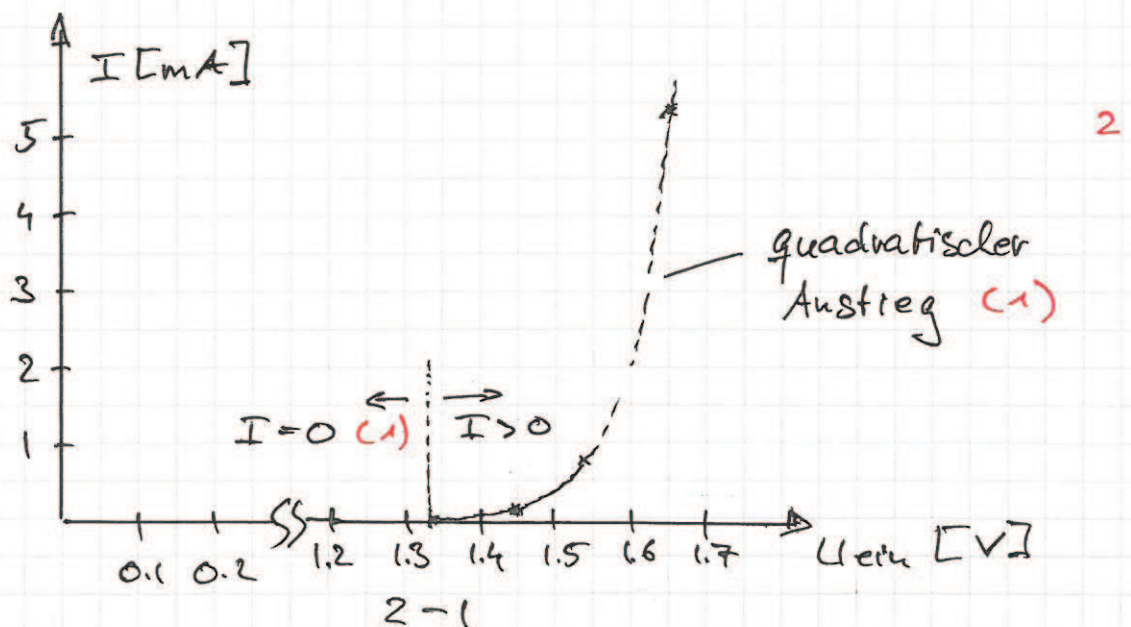
## Lösung zu Aufgabe 2

a)  $U_{\text{ein, min}} = U_{\text{th,n}} + U_{\text{BE}} \quad 1$   
 $= 630 \text{ mV} + 700 \text{ mV} = 1,33 \text{ V} \quad 1$

Angabe des korrekten Wertes allein ergibt bereits volle Punktzahl,  
 (sofern nicht weitere, aber fehlerhafte Angaben zu dessen Her-  
 leitung gemacht sind!)

b)  $I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n (U_{\text{ein}} - U_{\text{th,n}} - U_{\text{BE}})^2 (1 + \beta) \quad 3$   
 Drainstrom  $I_1 =$  Basisstrom  $I_2$   
 Basis- + Kollektorstrom  $I_2$   
 $=$  Emitterstrom  $I_2$

$I (U_{\text{ein}} = \frac{U_{\text{DD}}}{2})$   
 $= \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{1} \cdot 70 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} \left( \frac{3,3 \text{ V}}{2} - 1,33 \text{ V} \right)^2 (1 + 150)$   
 $= \dots$   
 $= 5412 \mu\text{A} = 5,412 \text{ mA} \quad 1$



## Lösung zu Aufgabe 2, Fortsetzung

c) Grundsätzlich gilt:  $U_{\text{aus}} = U_{\text{DD}} - I \cdot R$  1/2

Hier:  $\frac{U_{\text{DD}}}{2} = U_{\text{DD}} - I \cdot R \Rightarrow R = \frac{U_{\text{DD}}}{2I}$  1

Einsetzen:  $R = \frac{1.65 \text{ V}}{5.412 \text{ mA}} \approx 305 \Omega$  1/2

d) Verstärkung =  $g_m (T_1 \text{ mit } T_2) \cdot R$  2

$$I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n (U_{\text{ein}} - U_{\text{th},n} - U_{\text{BE}})^2 (1 + \beta)$$

$$g_{m, \text{ges}} = \frac{\partial I}{\partial U_{\text{ein}}} = \frac{W}{L} k_n (U_{\text{ein}} - U_{\text{th},n} - U_{\text{BE}}) (1 + \beta)$$
 2

$$g_{m, \text{ges}} \left( U_{\text{ein}} = \frac{U_{\text{DD}}}{2} \right)$$

$$= \frac{10}{1} \cdot 70 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (1.65 - 1.33) \text{ V} (1 + 150)$$

$$= \dots$$

$$= 33824 \mu\text{A/V}$$

$$0.34 \text{ A/V}$$
 1

Also: Verstärkung

$$= g_{m, \text{ges}} \cdot R$$

$$= 0.34 \text{ A/V} \cdot 305 \Omega$$

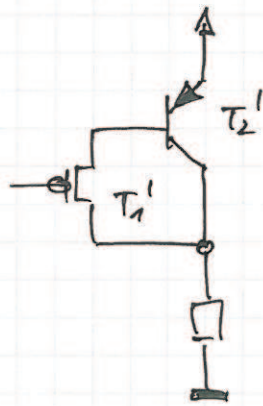
$$= 10.37$$

$$\approx 10$$
 1



# Lösung zu Aufgabe 2, Fortsetzung

e)



pnp : 1  
 p-MOS : 1  
 korrekte Verlastung  
 inklusive UDD u.  
 Masse : 2

f) Betragsmäßig gleiche Rechnung wie bei b) u. c), nur andere Werte für  $\beta$  und  $k_p$ ,  $w$  jetzt Parameter.

D.h.:

$$I = \frac{1}{2} \frac{w}{L} k_p \left( \frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} - U_{BE} \right)^2 (1 + \beta) \quad 2$$

$$\Rightarrow w = 2 I \frac{L}{k_p \left( \frac{U_{DD}}{2} - U_{th,p} - U_{BE} \right)^2 (1 + \beta)} \quad 1$$

$$= \frac{2 \cdot 5.412 \text{ mA} \cdot 1 \mu\text{m}}{31 \frac{\mu\text{A}}{\text{V}^2} (1.65 - 0.78 - 0.7)^2 \text{ V}^2 (1 + 100)}$$

= ...

$$= 119.62 \mu\text{m}$$

$$\approx 120 \mu\text{m} \quad 1$$

## Lösung zu Aufgabe 2, Anmerkungen

- i) Aufgabenteil d) kann auch gelöst werden, indem  $U_{aus}$  als Funktion von  $U_{ein}$ ,  $R_1$  und den Transistor Kenngrößen geschrieben wird und die Verstärkung als

$$\left| \frac{\partial U_{aus}}{\partial U_{ein}} \right|$$

Berechnet wird.

- ii) Die Verwendung des Wertes  $32 \mu A/V^2$  für die Transistor konstante  $k_p$  in Aufgabenteil f) statt  $31 \mu A/V^2$  führt zu

$$W = 115.88 \mu m \approx 116 \mu m$$



Klausur 2 VL Schaltungstechnik - Musterlösung  
Sommersemester 2010

Lösung zu Aufgabe 3

a)  $T_{11}, T_{12}, T_{13}$ :

Stromspiegel (mit Eingang am Drain ( $T_{13}$ ))

1

$T_{21}, T_{22}, T_{23}$ :

Stromspiegel

1

$T_{31}, T_{32}, T_{41}, T_{42}$ , (mit Stromquelle)  $T_{13}$ :

Differenzstufe mit Diodenlastelementen

1

$T_{51}$  bzw  $T_{52}$  (mit Stromquellen)  $T_{22}, T_{23}$ :

Sourcefolger

1

b) 
$$R = \frac{U_{DD} - U_{th,n} - U_{Geff,n}}{I}$$

1

$$= \frac{5.0V - 0.65V - 0.2V}{32 \mu A}$$

$$= 129,69 \text{ k}\Omega \approx 130 \text{ k}\Omega$$

1

c) 
$$I(T_{11}) = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{Geff,n}^2$$

2

$$\Rightarrow W = \frac{2 I \cdot L}{k_n U_{Geff,n}^2}$$

1

$$= \frac{2 \cdot 32 \mu A \cdot 1.5 \mu m}{80 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 0.04V^2}$$

$$= 30 \mu m$$

1

## Lösung zu Aufgabe 3, Fortsetzung

d)  $T_{12}$ : trivial

→ gleiche Weite wie  $T_{11}$

$$\Rightarrow W(T_{12}) = 30 \mu\text{m} \quad 1$$

$T_{21}$ :

$$\begin{aligned} I(T_{12}) &= \frac{1}{2} \frac{W(T_{12})}{L} k_n U_{\text{Geff},n}^2 \\ &= \frac{1}{2} \frac{W(T_{21})}{L} k_p U_{\text{Geff},p}^2 = I(T_{21}) \quad 1 \end{aligned}$$

$$\text{Mit } U_{\text{Geff},n} = U_{\text{Geff},p} \Rightarrow$$

$$W(T_{21}) = W(T_{12}) \frac{k_n}{k_p} \quad 1$$

$$= 30 \mu\text{m} \cdot \frac{80}{32} = 75 \mu\text{m} \quad 1$$

e) |Verstärkung| =  $g_m(T_{31}, T_{32}) / g_m(T_{41}, T_{42}) \quad 2$

f)  $I(T_{13}) = 2 I(T_{11})$

$$\Rightarrow W(T_{13}) = 2 W(T_{11}) = 60 \mu\text{m} \quad 1$$

$$I(T_{31}) = I(T_{32}) = I(T_{11})$$

und  $U_{\text{Geff}}$  für diese Tr. identisch

$$\Rightarrow W(T_{31}) = W(T_{32}) = W(T_{13}) = 30 \mu\text{m} \quad 1$$

$$I(T_{31}) = \frac{1}{2} \frac{W(T_{31})}{L} k_n U_{\text{Geff}}^2(T_{31})$$

$$I(T_{41}) = \frac{1}{2} \frac{W(T_{41})}{L} k_p U_{\text{Geff}}^2(T_{41})$$

$$\Rightarrow W(T_{31}) k_n U_{\text{Geff}}^2(T_{31}) = W(T_{41}) k_p U_{\text{Geff}}^2(T_{41}) \quad (*) \quad 1$$



Lösung zu Aufgabe 3, Fortsetzung

$$g_m(T_{31}) = \frac{w(T_{31})}{L} k_n U_{\text{eff}}(T_{31})$$

$$g_m(T_{41}) = \frac{w(T_{41})}{L} k_p U_{\text{eff}}(T_{41})$$

$$g_m(T_{31}) \stackrel{!}{=} 4 \cdot g_m(T_{41}) \quad (\text{s. c.})$$

$$\Rightarrow w(T_{31}) k_n U_{\text{eff}}(T_{31}) \quad (**)$$

$$= 4 w(T_{41}) k_p U_{\text{eff}}(T_{41})$$

Teile "\*" durch "\*\*"

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}(T_{31}) = \frac{1}{4} U_{\text{eff}}(T_{41})$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff}}(T_{41}) = 4 U_{\text{eff}}(T_{31})$$

$$= 4 \cdot 200 \text{ mV}$$

$$= 800 \text{ mV}$$

$$(*) \Rightarrow w(T_{41}) = w(T_{31}) \frac{k_n U_{\text{eff}}^2(T_{31})}{k_p U_{\text{eff}}^2(T_{41})}$$

$$= 30 \mu\text{m} \frac{80}{30} \cdot \left[ \frac{200}{800} \right]^2$$

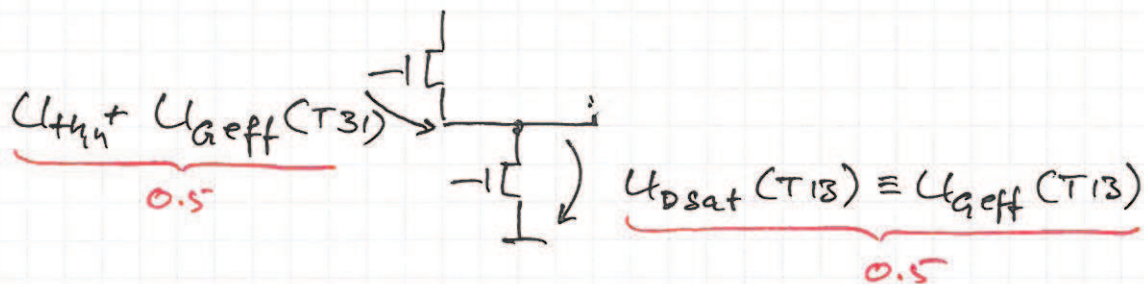
$$= 30 \mu\text{m} \cdot \frac{80}{30 \cdot 16}$$

$$= 5 \mu\text{m}$$

# Lösung zu Aufgabe 3, Fortsetzung

g) Unterer Wert:

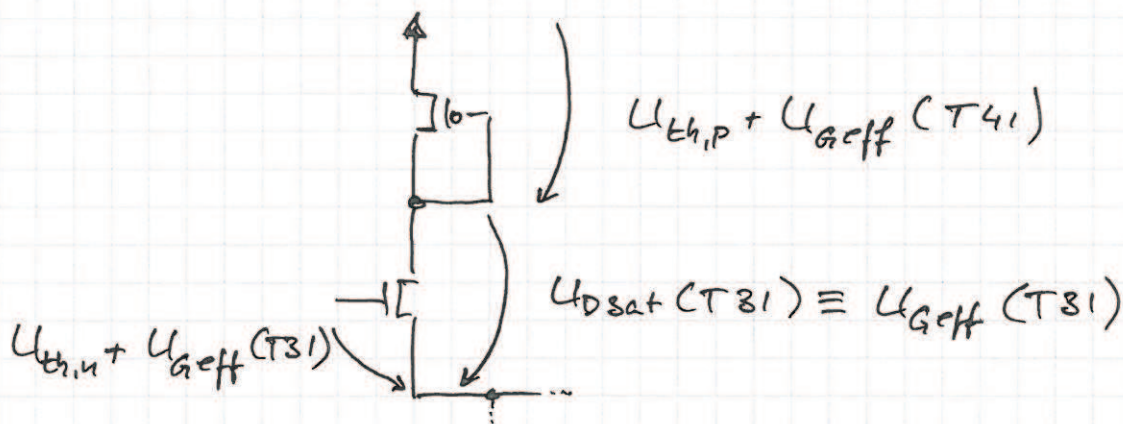
Bild m. Zählweise 1



$$\begin{aligned}
 \Rightarrow U_{CM, \text{ein}, \text{min}} &= 2 U_{\text{geff},n} + U_{\text{th},n} \quad (1) \\
 &= 400 \text{ mV} + 650 \text{ mV} \\
 &= 1,05 \text{ V}
 \end{aligned}$$

Oberer Wert:

Bild m. Zählweise 1



$$\begin{aligned}
 \Rightarrow U_{CM, \text{em}, \text{max}} &= U_{DD} - (U_{\text{th},p} + U_{\text{geff}}(T4)) - U_{\text{geff}}(T3) \\
 &\quad + (U_{\text{th},n} + U_{\text{geff}}(T3)) \\
 &= U_{DD} - U_{\text{th},p} - U_{\text{geff}}(T4) + U_{\text{th},n} \\
 &= 5 \text{ V} - 0.8 \text{ V} - 0.8 \text{ V} + 0.65 \text{ V} \\
 &= 4,05 \text{ V}
 \end{aligned}$$



# Lösung zu Aufgabe 3, Fortsetzung

h) Alle Transistoren (d.h. T22, T23, T51, T52)

$$I = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_p U_{G,eff}^2$$

$$W = \frac{2 I \cdot L}{k_p U_{G,eff}^2}$$

$$= \frac{2 \cdot 160 \mu A \cdot 1.5 \mu m}{30 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 0.04 V^2}$$

$$= 400 \mu m$$

1

1

i)  $U_{CM,aus}$

$$= U_G(TS1) + U_{G,eff}(TS1) + U_{Eh,P}$$

$$\downarrow$$

$$U_D(T41)$$

$$U_{DD} - U_{G,eff}(T41) - U_{Eh,P}$$

$$= U_{DD} - U_{G,eff}(T41) + U_{G,eff}(TS1)$$

$$= 5V - 800 mV + 200 mV$$

$$= 4.4 V$$

1

0.5

0.5

1

1

j) Source-Folger!

$$\Rightarrow r_{out} = \left[ \frac{1}{g_m(TS1)} \parallel \frac{1}{g_m(TS2)} \right]$$

1

Lösung zu Aufgabe 3, Fortsetzung

$$I(CTS1) = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_p U_{Geff}^2(CTS1)$$

$$g_m(CTS1) = \frac{W}{L} k_p U_{Geff}(CTS1)$$

$$\Rightarrow r_{out} = \frac{L}{W k_p U_{Geff}(CTS1)}$$

$$= \frac{1.5 \mu m}{400 \mu m \cdot 30 \frac{\mu A}{V^2} \cdot 0.2 V}$$

$$= 625 \Omega$$

2

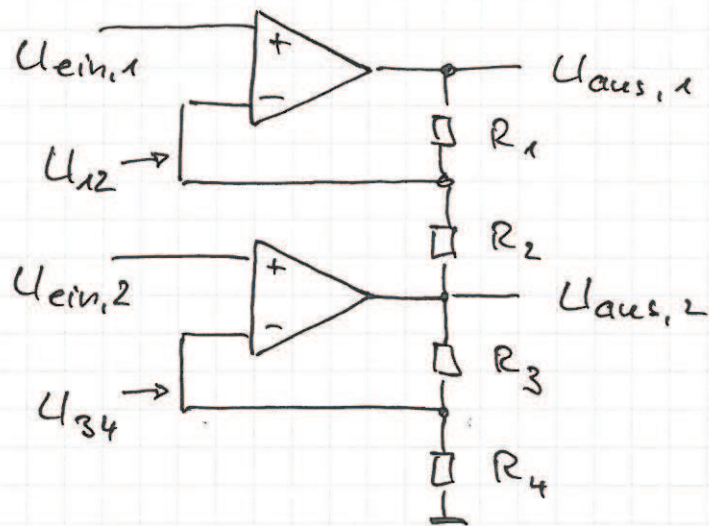
1



Klausur 2 VL Schaltungstechnik – Musterlösung  
Sommersemester 2010

Lösung zu Aufgabe 4):

Skizze:



a) Beginne mit  $U_{aus,2}$ :

$$\text{Wegen } U_{ein,2} \equiv U_{34} \Rightarrow U_{aus,2} \cdot \frac{R_4}{R_3 + R_4} = U_{ein,2} \quad 1.5$$

$$\begin{aligned} \Rightarrow U_{aus,2} &= U_{ein,2} \cdot \frac{R_3 + R_4}{R_4} \\ &= U_{ein,2} \cdot \left[ 1 + \frac{R_3}{R_4} \right] \quad 1 \end{aligned}$$

Berechnung  $U_{aus,1}$ :

Wegen  $U_{ein,1} \equiv U_{12}$

$$\Rightarrow U_{aus,2} + (U_{aus,1} - U_{aus,2}) \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{ein,1} \quad 1.5$$

$$\Rightarrow U_{aus,1} = U_{ein,1} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{aus,2} \frac{R_1}{R_2} \quad 1$$

Ergebnis für  $U_{aus,2}$  einsetzen:

$$U_{aus,1} = U_{ein,1} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{ein,2} \frac{R_1}{R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_4} \quad 1$$

# Lösung zu Aufgabe 4 - Fortsetzung

$$b) U_{\text{aus},1} = U_{\text{ein},1} \frac{R_1 + R_2}{R_2} - U_{\text{ein},2} \frac{R_1}{R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_4}$$

$$\stackrel{!}{=} 2 (U_{\text{ein},1} - U_{\text{ein},2})$$

$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\frac{R_1 + R_2}{R_2} \stackrel{!}{=} 2 \Rightarrow R_2 = 10 \text{ k}\Omega \quad 0.5 + 0.5$$

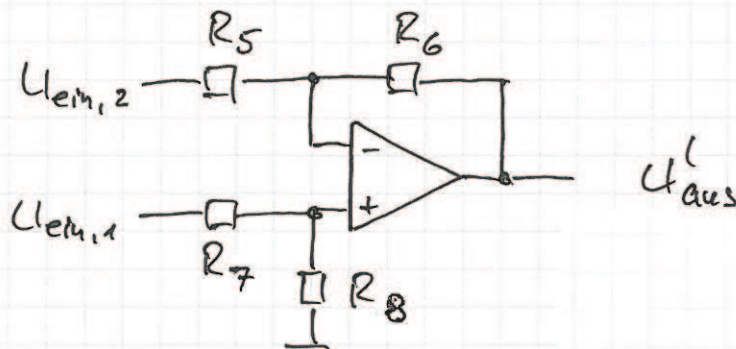
$$- \frac{R_1}{R_2} \frac{R_3 + R_4}{R_4} = - \frac{R_3 + R_4}{R_4} \stackrel{!}{=} -2$$

$$\Rightarrow R_3 = R_4 \quad 0.5$$

$$\Rightarrow \text{Wähle z.B. } R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega \quad 0.5$$

(Kurzangabe  $R_1 = R_2$  und  $R_3 = R_4$  und z.B.  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 10 \text{ k}\Omega$  genügt für volle Punktzahl, da Formel aus a) bekannt ist)

c) Beispiel:



$$U'_{\text{aus}} = U_{\text{ein},1} \frac{R_8}{R_7 + R_8} \frac{R_5 + R_6}{R_5} - U_{\text{ein},2} \frac{R_6}{R_5}$$



## Lösung zu Aufgabe 4 - Fortsetzung

Wähle z.B.  $R_5 = R_0$

$$\Rightarrow R_6 = 2R_0$$

$$\Rightarrow \frac{R_8}{R_7 + R_8} \cdot \frac{3}{1} \stackrel{!}{=} 2$$

$$\Rightarrow R_8 = 2R_7$$

Wähle z.B.  $R_7 = R_0$

$$R_8 = 2R_0$$

mit z.B.  $R_0 = 10 \text{ k}\Omega$

Punkte: korrekte Schaltung  $\rightarrow 2$

korrekte Dimensionierung  $\rightarrow 2$

Anmerkung: Es gibt weitere Alternativen,  
s. Vorlesung und Übung.

d) Keinen.

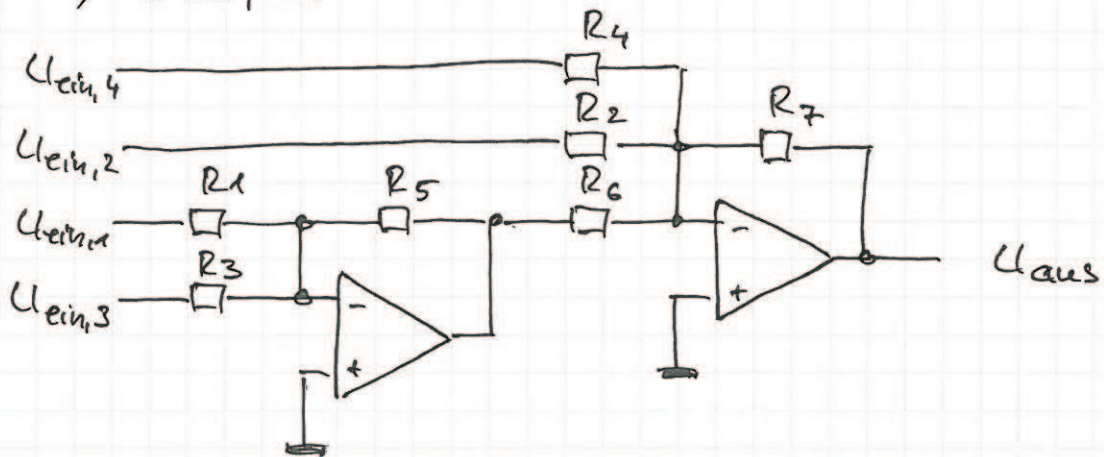
2

Grund: Die Werte der Spannungen an den  
Spannungsteilerabgriffen von  $R_1, R_2$  bzw.  $R_3, R_4$   
werden nicht verändert.

2

# Lösung zu Aufgabe 4 - Fortsetzung

e) Beispiel:



$$U_{aus} = -\frac{R_7}{R_2} U_{ein,2} - \frac{R_7}{R_4} U_{ein,4} - \frac{R_7}{R_6} \left[ -\frac{R_5}{R_1} U_{ein,1} - \frac{R_5}{R_3} U_{ein,3} \right]$$

$$\Rightarrow \frac{R_7}{R_4} = 8$$

$$\frac{R_7}{R_2} = 2$$

$$\frac{R_7}{R_6} \frac{R_5}{R_1} = 1$$

$$\frac{R_7}{R_6} \frac{R_5}{R_3} = 4$$

z.B.:  $R_7 = 10 \text{ k}\Omega \Rightarrow R_4 = 1,25 \text{ k}\Omega$   
 $R_2 = 5 \text{ k}\Omega$

Wähle z.B.  $R_6 = R_7 = 10 \text{ k}\Omega$

$$R_5 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$\Rightarrow R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_3 = 2,5 \text{ k}\Omega$$

Punkte: korrekte Schaltung  $\rightarrow 2$   
 korrekte Dimensionierung  $\rightarrow 2$



Klausur 2 VL Schaltungstechnik - Musterlösung  
Sommersemester 2010

Lösung zu Aufgabe 5

a) Einfacher Ansatz: Karnaugh-Diagramm  
mit  $\bar{y}_1$  und  $y_2$  ( $\bar{y}_1, y_2$ )

		$x_1$	0	0	1	1
		$x_2$	0	1	1	0
$x_3$	$x_4$					
0	0		0,0	0,0	1,1	1,1
0	1		1,0	0,1	0,1	0,1
1	1		1,1	0,1	0,1	0,0
1	0		1,0	0,1	0,1	0,0

2

Also  $z = \bar{y}_1 \vee y_2$

		$x_1$	0	0	1	1
		$x_2$	0	1	1	0
$x_3$	$x_4$					
0	0		0	0	1	1
0	1		1	1	1	1
1	1		1	1	1	0
1	0		1	1	1	0

2

Betrachte  $\bar{z}$ :

$$\bar{z} = [\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4] \vee [x_3 \wedge x_1 \wedge \bar{x}_2]$$

2

Lösung zu Aufgabe 5, Fortsetzung

$$\Rightarrow Z = \overline{[\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4] \vee [x_3 \wedge x_1 \wedge \bar{x}_2]}$$

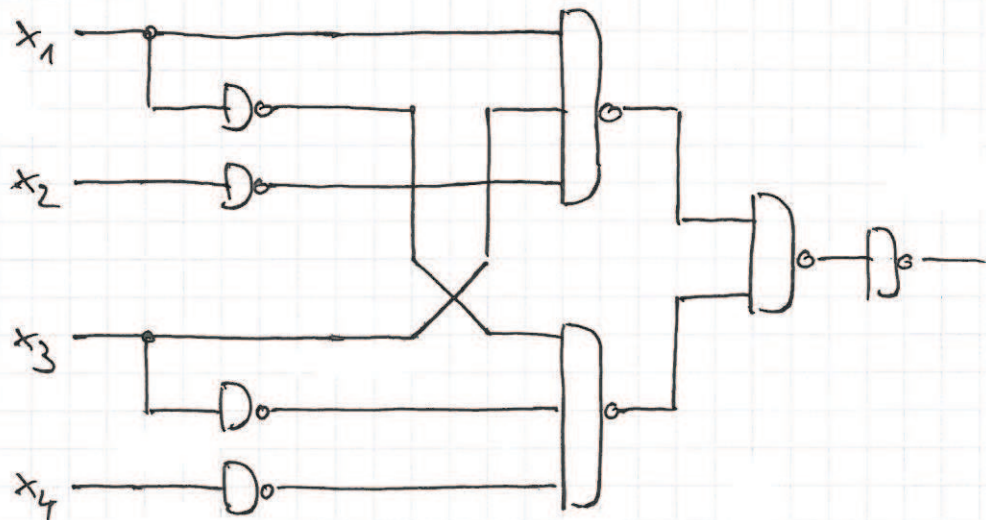
2

b) Z umformen zu

$$Z = \overline{[\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4] \wedge [x_3 \wedge x_1 \wedge \bar{x}_2]}$$

$$= \overline{[\bar{x}_1 \wedge \bar{x}_3 \wedge \bar{x}_4] \wedge [x_1 \wedge \bar{x}_2 \wedge x_3]}$$

2



2



$$\Rightarrow \text{Summe Transistoren} = 26$$

2

Anmerkung: Alternative Lösungen und auch Lösungswege werden, sofern korrekt und in der Schaltungsausführung nicht übermäßig komplex, mit voller Punktzahl anerkannt.