

Aufgabe 1:

Gegeben ist die unten angegebene Schaltung, die eine optimierte Implementierung einer logischen Verknüpfung realisiert.

- a) Ermitteln Sie durch Betrachtung der Pull-Down- oder Pull-Up-Pfade den logischen Ausdruck z , den diese Schaltung in Abhängigkeit der logischen Eingangsvariablen a, b, c, d und e realisiert. 6

Anmerkungen: Jede mögliche Kombination der Eingangsvariablen führt zu definierten Ausgangszuständen. Ferner muss eine maximal mögliche Optimierung des Ausdrucks NICHT durchgeführt werden.

- b) Füllen Sie die angelegte Wahrheitstabelle aus. 4

Anmerkung: Lösungsrelevant ist nur die letzte Spalte mit der Variablen z . Sie müssen nicht, können aber jedoch die freien Spalten zwischen den fünf Eingangsvariablen und der Ausgangsvariablen nutzen, um ggf. zu Ihrer Hilfe dort Zwischenergebnisse anderer Logikausdrücke zu notieren.

- c) Führen Sie eine Umformung des logischen Ausdrucks aus a) mit Hilfe der DeMorganschen Gesetze durch, so dass dieser ausschließlich NAND-Operationen und Inversionen enthält. Setzen Sie auf dieser Basis die Funktion z ausschließlich mit NAND-Gattern (mit einer beliebigen Anzahl von Eingängen) und Invertiern um und skizzieren Sie die sich ergebende Schaltung. 6

- d) Wie viele MOS-Transistoren enthält Ihre in c) skizzierte Schaltung (kurze Begründung oder Angabe der Transistoranzahl pro Gatter in c)). 2

Summe: 18

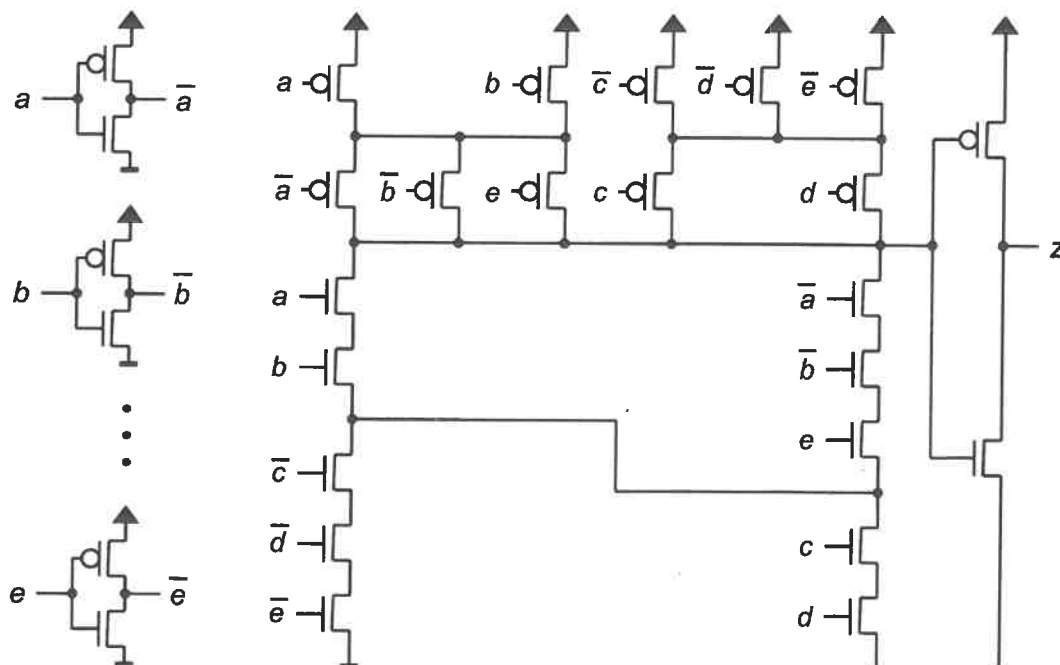


Abbildung zu Aufgabe 1.

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

zu Aufgabe 1:

$$a) z = \underbrace{[(a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge e)]}_1 \wedge \underbrace{[(\bar{c} \wedge \bar{d} \wedge \bar{e}) \vee (c \wedge d)]}_{0.5}$$

b) Lösung s. nächste Seite.

Bewertung:

- Tabelle wird in Bezug auf Lösung aus Aufgabenteil a) bewertet, d.h. Folgefehler ergeben keinen Abzug, sofern Lösung aus a) nicht trivial

- Max. Punktzahl 4
- Abzug pro fehlerhafter Zeile $-\frac{1}{2}$

$$\begin{aligned} c) z &= [(a \wedge b) \vee (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge e)] \wedge [(\bar{c} \wedge \bar{d} \wedge \bar{e}) \vee (c \wedge d)] \\ &= \overline{[(a \wedge b) \wedge (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge e)]} \wedge \overline{[(\bar{c} \wedge \bar{d} \wedge \bar{e}) \wedge (c \wedge d)]} \\ &= \overline{[(a \wedge b) \wedge (\bar{a} \wedge \bar{b} \wedge e)]} \wedge \overline{[(\bar{c} \wedge \bar{d} \wedge \bar{e}) \wedge (c \wedge d)]} \end{aligned}$$

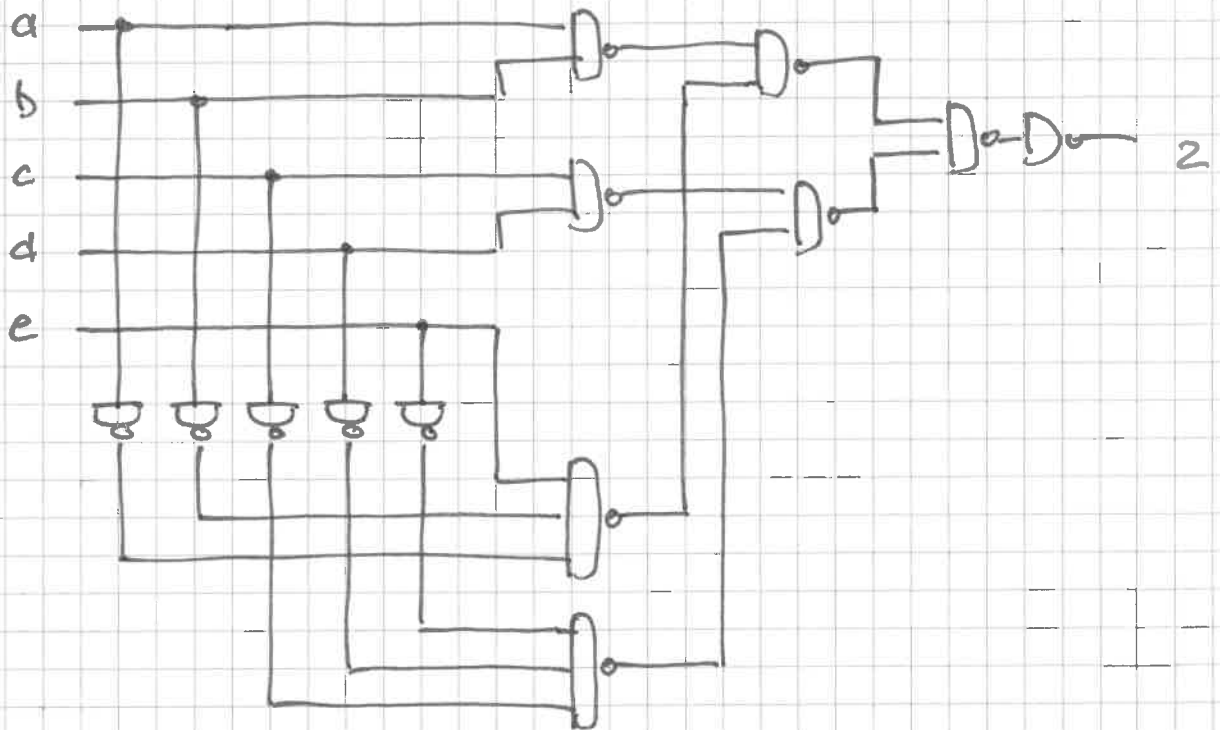
a	b	c	d	e	arb	$\bar{a}\bar{b}ae$	$(ab) \vee (\bar{a}\bar{b}ae)$	$\bar{c}d\bar{a}\bar{e}$	cad	$(\bar{c}d\bar{a}\bar{e}) \vee (cad)$	z
0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0
1	0	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0
0	1	0	0	0	0	0	0	-	0	-	0
1	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1
1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	0	0
1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1

Wahrheitstabelle zu Aufgabe 1.

A1-2

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabenteil c:



- d) 6 Inverter à 2 Tr.
5 2-fach-NANDs à 4 Tr.
2 3-fach-NANDs à 6 Tr. (1)

$$\Rightarrow (6 \cdot 2 + 5 \cdot 4 + 2 \cdot 6) \text{ Transistoren} = 44 \text{ Transistoren} \quad 2$$

Folgefehler: kein Abzug

Aufgabe 2:

Die unten gegebene Abbildung zeigt einen einfachen Differenzverstärker mit differentielltem Ausgang und weiteren Elementen zur Einstellung des Arbeitspunktes der Schaltung. Die Betriebsspannung U_{DD} beträgt 5.0 V. Technologie- bzw. Transistorkenngrößen sind $L_{min} = 0.5 \mu\text{m}$, $k_n = 80 \mu\text{A} / \text{V}^2$, $U_{th,n} = 0.7 \text{V}$. Alle Transistoren haben eine Kanallänge $L = 1.0 \mu\text{m}$.

Die Stufen bestehend aus T_{12} , T_{21} , T_{22} , T_{23} und T_{24} bzw. T_{13} , T_{31} , T_{32} , T_{33} und T_{34} sind in jeder Hinsicht identisch aufgebaut.

- Identifizieren und benennen Sie bekannte Teilschaltungen möglichst genau. 4
- Ausgang A1 wird (willkürlich) als nicht-invertierender Ausgang der Schaltung festgelegt. Welches ist unter dieser Bedingung der invertierende, welches der nicht-invertierende Eingang der Schaltung (Begründung Sie Ihre Aussage dadurch, dass Sie an *jedem* signalführenden Knoten in der Schaltung Pfeilsymbole eintragen; ohne Begründung oder Skizze keine Punkte). 2
- Der Strom I_1 soll $16 \mu\text{A}$ betragen, die effektive Gatespannung von T_{11} soll 200mV sein. Bestimmen Sie die Weite von T_{11} und den Wert des Widerstandes R_1 . 4
Hinweis: Verwenden Sie bei der Berechnung des Transistorstromes eine Näherungsformel, in der die geringe Abhängigkeit des Transistorstromes von dessen Drainspannung (in diesem Arbeitspunkt) vernachlässigt wird.
- Dimensionieren Sie die Weiten von T_{12} und T_{13} so, dass die entsprechenden Ströme I_2 und I_3 jeweils $200 \mu\text{A}$ betragen. 2
- Dimensionieren Sie die Weiten der Transistoren T_{21} , T_{22} , T_{31} und T_{32} so, dass deren effektive Gatespannung ebenfalls 200mV beträgt. 2
- Dimensionieren Sie nun die Weite aller verbliebenen Transistoren derart, dass die Gesamtverstärkung der Schaltung 25 beträgt. 8
Hinweis: Die effektive Gatespannung der Transistoren T_{23} , T_{24} , T_{33} und T_{34} ist NICHT gleich 200mV , sondern größer. Andernfalls könnte mit dieser Schaltung keine Verstärkung erreicht werden.
- Geben Sie die minimale und die maximale Gleichtakt- (oder Common-Mode-) Eingangsspannung an unter der Bedingung, dass alle Transistoren im Sättigungsbereich betrieben werden. 6

Geben Sie dazu jeweils eine kurze Skizze (oder Erklärung) und die entsprechenden Spannungswerte an.

Hinweis: Falls Sie aus Aufgabenteil f) keine Lösung für die effektive Gatespannung der Transistoren T_{23} , T_{24} , T_{33} und T_{34} haben, rechnen Sie hier bitte mit dem Wert 800mV .

Summe: 28

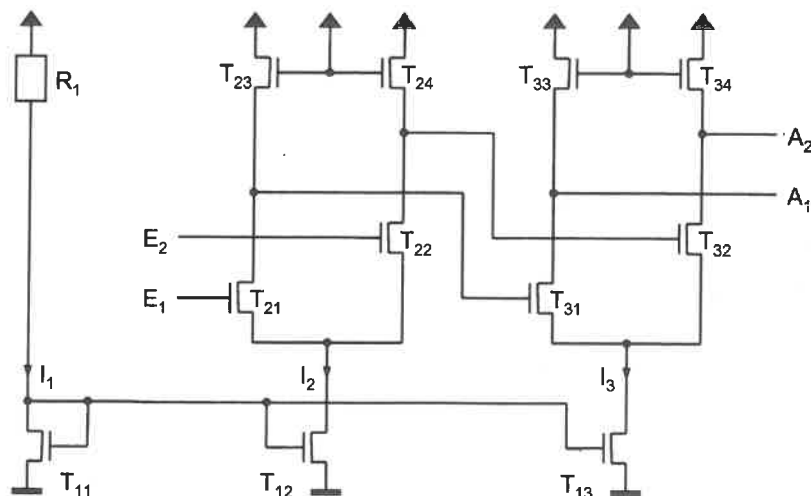
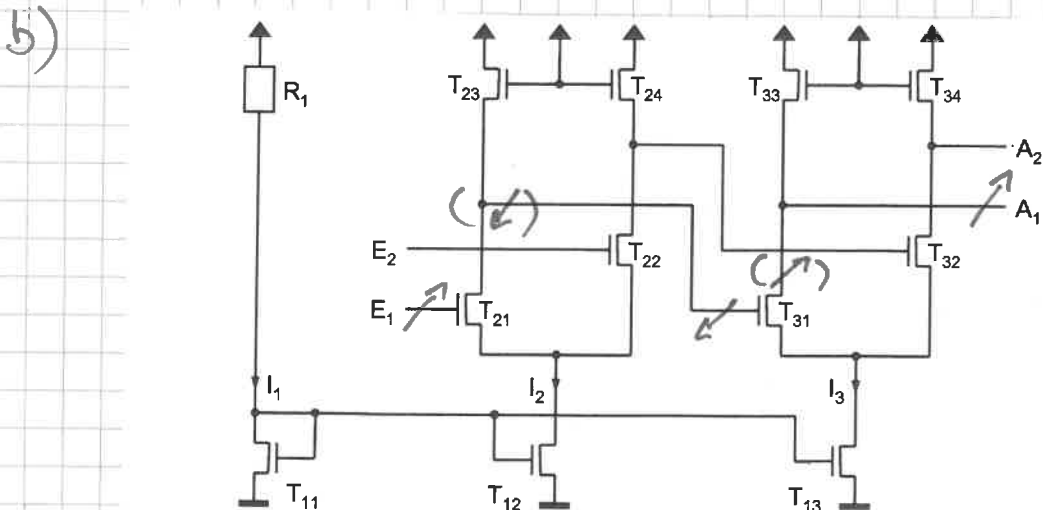


Abbildung zu Aufgabe 2

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

zu Aufgabe 2:

- a) T_{11}, T_{12}, T_{13} : Stromspiegel 1
 $T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{24}$ (T_{12}):
 Diff.-stufe mit nMOS - Eingangstr.
 und nMOS - Diodenlastelementen 1
 $T_{31}, T_{32}, T_{33}, T_{34}$ (T_{13}):
 wie $T_{21}, T_{22}, T_{23}, T_{24}$ (T_{12}) 1



E_1 : nicht-inv. Eingang

E_2 : inv. Eingang

c)

$$I_1 = \frac{U_{DD} - (U_{th} + U_{geff})}{R_1}$$

$$\Rightarrow R_1 = \frac{U_{DD} - (U_{th} + U_{geff})}{I_1}$$

$$= \frac{5V - (0.7V + 0.2V)}{16 \mu A}$$

$$\approx 256 \text{ k}\Omega$$

A2-1

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabenteil 2c:

$$I_1 = \frac{1}{2} \frac{W}{L} k_n U_{\text{eff},1}^2 \quad 1$$

$$\Rightarrow W = \frac{2I_1 L}{k_n U_{\text{eff},1}^2}$$

$$= \frac{2 \cdot 16 \mu\text{A} \cdot 1 \mu\text{m}}{80 \mu\text{A}/\text{V}^2 (0.2\text{V})^2}$$

$$= 10 \mu\text{m} \quad 1$$

$$d) W_{12} = W_{13} = W_{11} \cdot \frac{I_{12}}{I_{11}} \quad 1$$

$$= 10 \mu\text{m} \cdot \frac{200}{16}$$

$$= 125 \mu\text{m} \quad 1$$

$$e) W_{21} = W_{22} = \frac{W_{12}}{2} \quad 1$$

$$= 62.5 \mu\text{m} \quad 1$$

($W_{31} = W_{32}$ ebenso)

f) Berechnung für den Zweig T_{21} / T_{23}
stellvertretend für alle anderen Zweige.
Bestimme U_{eff} und W für T_{23} .

$$|A| = \frac{g_{m21}}{g_{m23}} \cdot \frac{g_{m31}}{g_{m33}} = \left(\frac{g_{m21}}{g_{m23}} \right)^2 \quad 2$$

Klausur: Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabenteil 2 f:

$$I_{21} = \frac{1}{2} \frac{w_{21}}{L} k_n U_{\text{eff},21}^2$$

$$= I_{23} = \frac{1}{2} \frac{w_{23}}{L} k_n U_{\text{eff},23}^2$$

$$\Rightarrow w_{21} U_{\text{eff},21}^2 = w_{23} U_{\text{eff},23}^2 \quad *$$

$$g_{m21} = \frac{\partial I_{21}}{\partial U_{\text{eff},21}}$$

$$= \frac{w_{21}}{L} k_n U_{\text{eff},21}$$

$$g_{m23} = \frac{w_{23}}{L} k_n U_{\text{eff},23}$$

Wegen $|A| = 25 \Rightarrow g_{m21} = 5 g_{m23}$

$$\Rightarrow w_{21} U_{\text{eff},21} = 5 w_{23} U_{\text{eff},23} \quad ** \quad |$$

"*/**" ergibt:

$$U_{\text{eff},21} = \frac{1}{5} U_{\text{eff},23} \quad |$$

$$\Rightarrow U_{\text{eff},23} = 5 U_{\text{eff},21} = 5 \cdot 200 \text{ mV} = 1 \text{ V} \quad |$$

"**" \Rightarrow

$$w_{23} = w_{21} \frac{1}{5} \frac{U_{\text{eff},21}}{U_{\text{eff},23}} \quad |$$

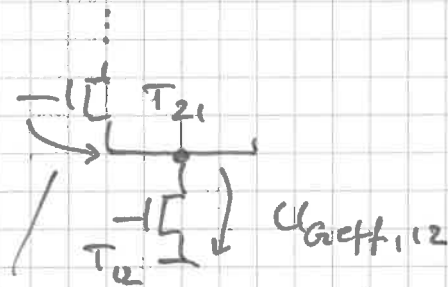
$$= 625 \mu\text{m} \cdot \frac{1}{5} \cdot \frac{0.2}{1}$$

$$= 2.5 \mu\text{m} \quad |$$

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
 Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabe 2:

g) $U_{CM, ein, min}$:



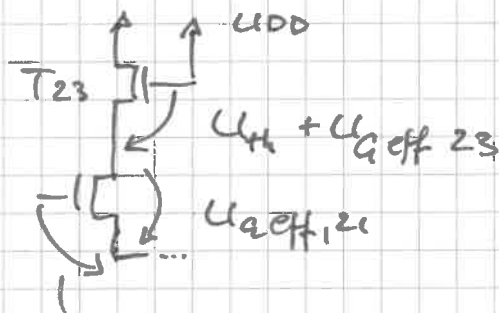
$$U_{th} + U_{aeff,21}$$

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

$$= U_{th} + U_{aeff,21} + U_{aeff,12}$$

$$= 0.7V + 0.2V + 0.2V = 1.1V$$

$U_{CM, ein, max}$:



$$U_{th} + U_{aeff,21}$$

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

$$= U_{DD} - (U_{th} + U_{aeff,23}) - U_{aeff,21} + (U_{th} + U_{aeff,21})$$

$$= U_{DD} - U_{aeff,23}$$

$$= 5V - 1V \quad (5V - 800mV)$$

$$= 4V \quad (4.2V)$$

Aufgabe 3:

Gegeben sind drei logische Funktionen x_1, x_2, x_3 . Dabei ist

- x_1 gegeben durch auf der nächsten Seite angegebene KV-Diagramm,
- x_2 gegeben in Form der auf der nächsten Seite angegebenen Wahrheitstabelle,
- x_3 durch die logische Funktion $x_3 = (a \wedge b \wedge c) \vee (\bar{c} \wedge \bar{d})$.

Gesucht ist die Funktion (und deren Umsetzung auf Gatterebene) $z = (x_1 \vee \bar{x}_2) \wedge x_3$

Gehen Sie wie folgt vor:

- a) Erstellen Sie ein KV-Diagramm mit der Funktion $x_1 \vee \bar{x}_2$. 4
Verwenden Sie dafür eines der vorgefertigten KV-Diagramme auf der Folgeseite (und beschriften Sie dieses mit der jeweils dargestellten Funktion).
Hinweis: Sie können diese Aufgabe in mehreren Schritten lösen, indem Sie z.B. zunächst die Funktion x_2 in ein Diagramm eintragen oder aber auch direkt in einem Schritt.
- b) Erstellen Sie ein KV-Diagramm mit der Funktion x_3 und danach ein KV-Diagramm mit der Funktion z . 4
- c) Lesen Sie aus dem letzten KV-Diagramm die Funktion z ab und vereinfachen Sie diese soweit als möglich. 4
- d) Realisieren Sie die Funktion z ausschließlich durch Verwendung von NAND-Gattern (mit einer beliebigen Anzahl von Eingängen) und von Invertern und skizzieren Sie die Schaltung. Formen Sie zuvor die Funktion z aus Aufgabenteil c) derart um, dass die Funktion nur noch NAND-Operatoren und Inversionen enthält, und geben Sie die Funktion in dieser Form an. 4
- e) Realisieren Sie die Funktion z ausschließlich durch Verwendung von NOR-Gattern (mit einer beliebigen Anzahl von Eingängen) und von Invertern und skizzieren Sie die Schaltung. Formen Sie zuvor die Funktion z aus Aufgabenteil c) derart um, dass die Funktion nur noch NOR-Operatoren und Inversionen enthält, und geben Sie die Funktion in dieser Form an. 4

Summe: 20

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
 Musterlösung und Punkteverteilung

zu Aufgabe 3:

a)

Funktion: \bar{x}_2

		\bar{a}	\bar{a}	a	a
		b	\bar{b}	\bar{b}	b
\bar{c}	d	0	1	0	0
\bar{c}	\bar{d}	0	1	0	1
c	\bar{d}	0	0	0	0
c	d	0	0	0	1

Funktion:

$x_1 \vee \bar{x}_2$

		\bar{a}	\bar{a}	a	a
		b	\bar{b}	\bar{b}	b
\bar{c}	d	1	1	1	1
\bar{c}	\bar{d}	0	1	1	1
c	\bar{d}	0	1	1	1
c	d	0	0	0	1

Bewertet wird nur das finale Diagramm für $x_1 \vee \bar{x}_2$. (Das erste Diagramm dient ggf. nur zur Hilfe)

- alles korrekt 4
- 1 Fehler 3,5
- 2 Fehler 3
- 3 Fehler 2
- 4 Fehler 1
- > 4 Fehler 0

Fortsetzung Aufgabe 3:

b)

Funktion: x_3

		\bar{a}	\bar{a}	a	a
		b	\bar{b}	\bar{b}	b
\bar{c}	d	0	0	0	0
\bar{c}	\bar{d}	1	1	1	1
c	\bar{d}	0	0	0	1
c	d	0	0	0	1

Funktion: $(x_1 \vee \bar{x}_2) \wedge x_3$

		\bar{a}	\bar{a}	a	a
		b	\bar{b}	\bar{b}	b
\bar{c}	d	0	0	0	0
\bar{c}	\bar{d}	0	1	1	1
c	\bar{d}	0	0	0	1
c	d	0	0	0	1

Bewertung wie bei Aufgabenteil a) (max 4)
 Folgefehler bei der Übernahme der Fkt.
 $(x_1 \vee \bar{x}_2)$ werden nicht mit Punktabzug
 bewertet, es sei denn die Lösung aus a)
 ist offensichtlich trivial.

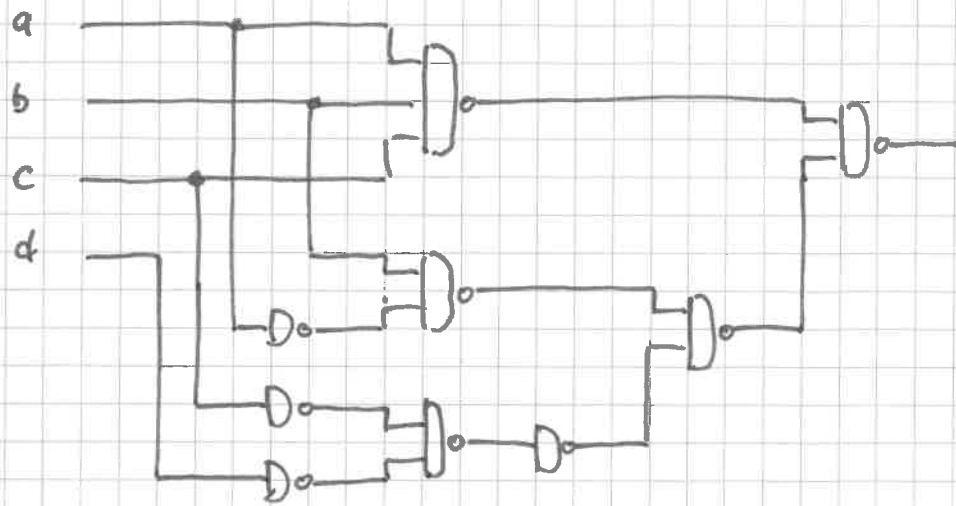
$$\begin{aligned} c) \quad z &= (\bar{b} \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) \vee (a \wedge b \wedge c) \vee (a \wedge \bar{c} \wedge \bar{d}) & 2 \\ &= (a \wedge b \wedge c) \vee [(a \vee \bar{b}) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})] & 2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d) \quad z &= \overline{(a \wedge b \wedge c)} \vee \overline{(\bar{a} \wedge b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})} \\ &= \overline{(a \wedge b \wedge c)} \vee \overline{(\bar{a} \wedge b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})} \\ &= \overline{(a \wedge b \wedge c)} \wedge \overline{(\bar{a} \wedge b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})} & 2 \end{aligned}$$

('Abschreibefehler' von Zeile zu Zeile $-\frac{1}{2}$)

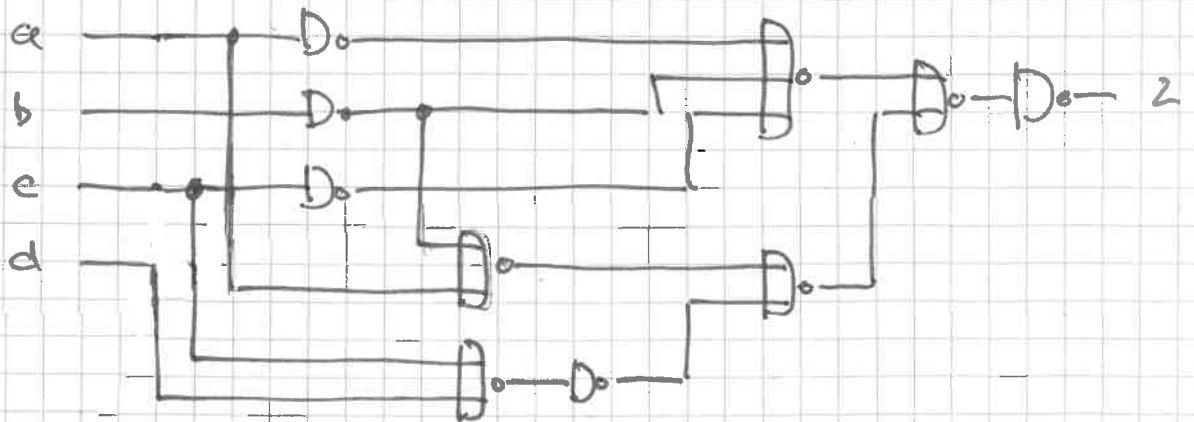
Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
 Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabenteil 3d!



2

$$\begin{aligned}
 e) \quad z &= (a \wedge b \wedge c) \vee [(a \vee b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})] \\
 &= \overline{(\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c})} \vee \overline{[(a \vee b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})]} \\
 &= \overline{(\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c})} \vee \overline{[(a \vee b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})]} \\
 &= \overline{(\bar{a} \vee \bar{b} \vee \bar{c})} \vee \overline{[(a \vee b) \wedge (\bar{c} \wedge \bar{d})]}
 \end{aligned}$$



Aufgabe 4:

Die unten stehende Abbildung I zeigt eine Schaltung, die bei richtiger Dimensionierung eine spannungsgesteuerte Stromquelle darstellt, d.h., der Strom I_L durch das Lastelement (R_L) ist nur eine Funktion der Eingangsspannung U_{ein} und hängt nicht vom Wert R_L des Lastwiderstandes ab.

Die Betriebsspannung U_{DD} beträgt 10 V. Die positive Betriebsspannung des Operationsverstärkers OP_1 ist ebenfalls U_{DD} , die negative Betriebsspannung liegt auf Massepotential (d.h. ist = 0 V). Der ein- und ausgangsseitige Aussteuerbereich des Operationsverstärkers soll mit den durch die Betriebsspannungen gesetzten Grenzen identisch sein. Der Bipolar-Transistor T_1 hat eine Stromverstärkung β . Der Emitter-Basis-Spannungsabfall wird als konstant angenommen und soll $U_{EB} = 650 \text{ mV}$ betragen.

Der Spannungsabfall am Lastelement kann in allen Fällen als derart gering angenommen werden, dass das Lastelement die Funktion der Schaltung nicht beeinflusst.

Machen Sie sich zunächst mit der grundsätzlichen Arbeitsweise der Schaltung vertraut.

Hinweis: Denken Sie daran, dass der Operationsverstärker den Transistor T_1 immer so anzusteuern bestrebt ist, dass sich an den Eingängen des Operationsverstärkers eine Differenzeingangsspannung von 0 einstellt.

- Geben Sie I_L als Funktion von U_{ein} und β an (exakte Lösung, keine Näherung!). 6
 - Die idealisierte Funktion $I_{L,ideal}(U_{ein})$ erhält man für $\beta \rightarrow \infty$. Berechnen Sie den relativen Fehler (d.h., die relative Abweichung) von I_L von $I_{L,ideal}$ (Formel) und skizzieren Sie den relativen Fehler für $\beta = 40 \dots 250$ (Diagramm mit quantitativen Werten). 4
 - Um den in Aufgabenteil b) diskutierten Fehler zu verringern, wird T_1 durch eine Darlington-Schaltung aus zwei Bipolar-Transistoren ersetzt. Skizzieren Sie die Schaltung. 4
 - Welchen maximalen Strom können Sie der Schaltung aus c) für $R_1 = 10 \Omega$ entnehmen? 4
- Vernachlässigen Sie bei dieser Betrachtung den Fehler durch die endliche Stromverstärkung der Bipolar-Transistoren.
- Um den Zusammenhang zwischen Strom I_L und Eingangsspannung so zu gestalten, dass I_L der Eingangsspannung (nun mit U_{ein}' bezeichnet) direkt proportional ist und dass $I_L(U_{ein}' = 0) = 0$ gilt, wird den bislang diskutierten Schaltungen die in Abbildung II gezeigte Schaltung vorgeschaltet (d.h., der Ausgang von OP_2 wird mit dem Eingang der bisherigen Schaltung verbunden). 6

Berechnen Sie $U_2(U_{ein}')$ und geben Sie damit $I_L(U_{ein}')$ für $R_1 = 20 \Omega$ an.

Vernachlässigen Sie auch hier den Fehler durch die endliche Stromverstärkung des oder der verwendeten Bipolar-Transistoren.

Summe: 24

Abbildung I:

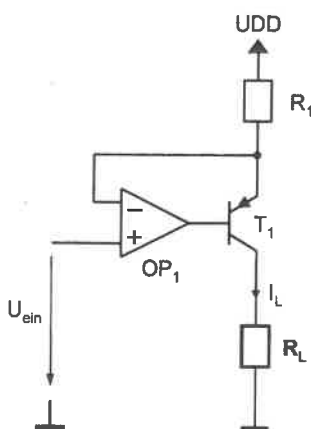
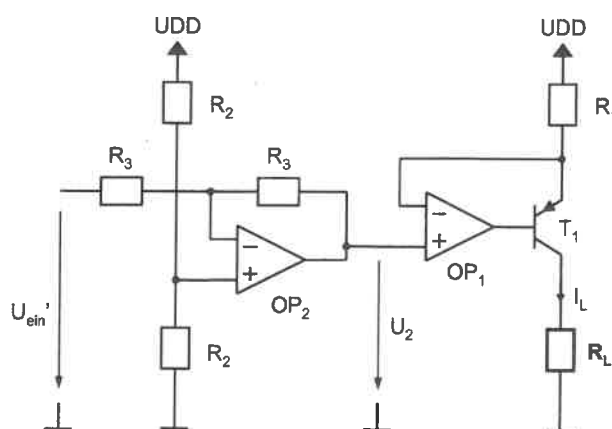


Abbildung II:



Abbildungen zu Aufgabe 4

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2018
Musterlösung und Punkteverteilung

zu Aufgabe 4:

$$a) I(R_1) = \frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1} \quad 1$$

$$= I_E \quad 1$$

$$I_L = I_C \quad 1$$

$$I_E = (\beta + 1) I_B$$

$$I_C = \beta I_B$$

$$\Rightarrow I_C = \frac{\beta}{\beta + 1} I_E \quad 1$$

$$\Rightarrow I_L = \frac{\beta}{\beta + 1} \frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1} \quad 2$$

Volle Punktzahl auch dann, wenn nicht alle Schritte ausgeschrieben sind und Endergebnis korrekt.

$$b) I_{L,ideal} = \frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1} \quad 1$$

$$\frac{I_L - I_{L,ideal}}{I_{L,ideal}}$$

$$= \frac{\frac{\beta}{\beta + 1} \frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1} - \frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1}}{\frac{U_{DD} - U_{CEin}}{R_1}}$$

$$= \frac{\beta}{\beta + 1} - 1$$

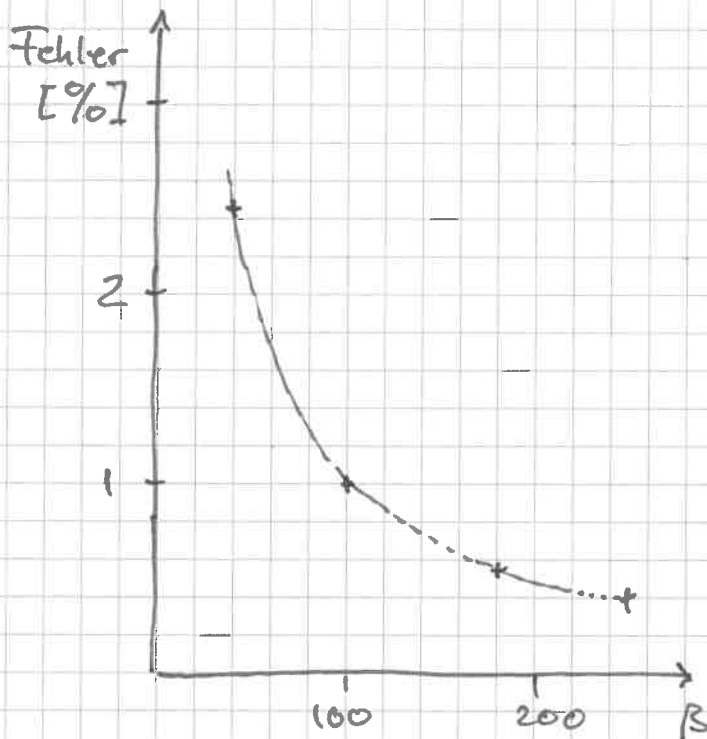
Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabenteil 4.b):

$$\epsilon = \frac{1}{\beta + 1}$$

Wähle einige (> 2) Stützpunkte f. Diagramm:

β	$1/(\beta + 1)$
40	2.44 %
100	0.99 %
180	0.55 %
250	0.40 %



Bewertung:

Es wird nur das Diagramm bewertet.

Tabelle nicht notwendig.

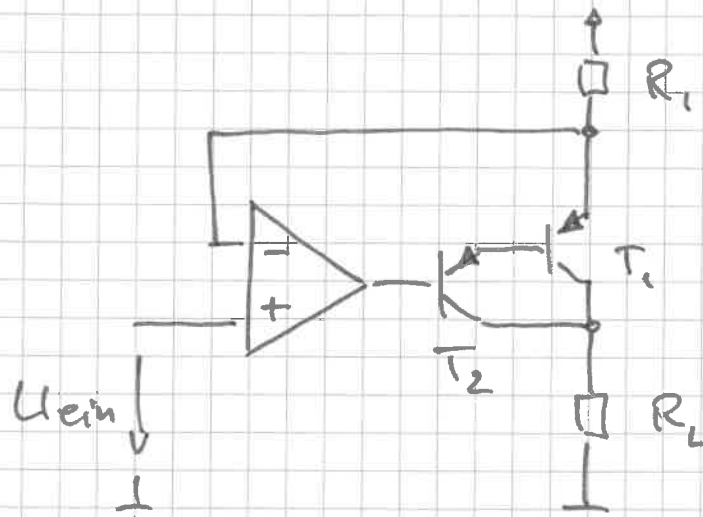
- Quantitative Werte für $\beta = 40$ u. 250 (1)

- Verlauf (1)

A4-2

Fortsetzung Aufgabe 4:

c)



4

Achtung: Falls jemand eine kompl. Darlington-Schaltung zeigt, wird diese auch anerkannt.

→ Auswirkung auf Aufgabenteil d)

d) Min. Ausgangsspannung OP: 0V 1

Min. E-Spannung T_1 : $2 \cdot 650 \text{ mV} = 1.3 \text{ V}$ 1

$$\Rightarrow I_{\max} = \frac{U_{DD} - 2U_{BE}}{R_1} \quad 1$$

$$= \frac{10 \text{ V} - 1.3 \text{ V}}{10 \text{ } \Omega}$$

$$= 870 \text{ mA} \quad 1$$

Volle Punktzahl auch nur bei Angabe der Formel(n), sofern daraus Verständnis hervorgeht.

Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013

Musterlösung und Punkteverteilung

Fortsetzung Aufgabe 4:

$$e) U_+(OP_2) = U_{DD} / 2$$

$$U_-(OP_2) = U_{ein} + \frac{U_2 - U_{ein}}{2} = \frac{U_{ein} + U_2}{2}$$

$$U_+(OP_2) = U_-(OP_2)$$

$$\Rightarrow \frac{U_2}{2} = \frac{U_{DD}}{2} - \frac{U_{ein}}{2}$$

$$\Rightarrow U_2 = U_{DD} - U_{ein}$$

$$\text{(oder: } U_2 = 10V - U_{ein} \text{)}$$

Volle Punktzahl auch bei Ausschl.

Ausgabe der letzten Formel (dies bei Interesse bekannt sein kann)

$$I_L = \frac{U_{DD} - U_2}{R_1}$$

$$= \frac{U_{DD} - (U_{DD} - U_{ein})}{R_1}$$

$$= \frac{U_{ein}}{R_1}$$

$$= U_{ein} / 20 \Omega$$

Aufgabe 5:

In der unten stehenden Abbildung ist eine einfache Verstärkerschaltung gezeigt, in der die nMOS-Transistoren T_1 und T_2 für die eigentliche Funktion der Verstärkung zuständig sind und der pMOS-Transistor T_0 als Stromquelle arbeitet, um den Arbeitspunkt der beiden Transistoren festzulegen.

- Zeichnen Sie ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung. 4
 - Berechnen Sie die Kleinsignal-Verstärkung der Schaltung. Geben Sie zunächst eine allgemeingültige und exakte Formel an und dann eine Näherung unter der Bedingung, dass T_1 und T_2 in Sättigung betrieben werden. 6
 - Verwenden Sie für die weiteren Berechnungen folgende Technologieparameter: 8
 $L_{min} = 0.35 \mu\text{m}$, $k_n = 140 \mu\text{A/V}^2$, $k_p = 60 \mu\text{A/V}^2$, $U_{th,n} = 600 \text{ mV}$, $U_{th,p} = 700 \text{ mV}$, $U_{DD} = 3.3 \text{ V}$.
 Ferner soll für die Längen der Transistoren T_1 und T_2 $L(T_1) = L(T_2) = 2 L_{min}$ gewählt werden.
 Bestimmen Sie die Weiten der Transistoren T_1 und T_2 derart, dass für $I_0 = 250 \mu\text{A}$ Ein- und Ausgangsspannung beide den Wert 1 V haben bzw. annehmen ($U_{ein} = U_{aus} = 1 \text{ V}$) und dass die Verstärkung der Schaltung 5 beträgt.
- Hinweise:
 Zur Identifikation der Arbeitspunkte von T_1 und T_2 beachten Sie, dass für beide Transistoren gilt $U_{Drain} = U_{Gate}$.
 Bei der Berechnung der Weiten der Transistoren ist es hilfreich, zunächst die Gesamtweite der Transistoren T_1 und T_2 , d.h. $W_1 + W_2$, zu betrachten.
- Skizzieren Sie (Diagramm mit quantitativen Angaben) die Verstärkung als Funktion der Weite W_2 normiert auf die Gesamtweite $W_1 + W_2$ beider Transistoren für $W_2 / (W_1 + W_2) = 10 \dots 90 \%$. 4
 - Verwenden Sie die gleichen Technologieparameter wie in Aufgabenteil c), ferner $L(T_1) = L(T_2) = 2 L_{min}$, $W(T_1) = 9 \mu\text{m}$, $W(T_2) = 3 \mu\text{m}$, $I_0 = 300 \mu\text{A}$, und bestimmen Sie U_{aus} ($U_{ein} = 0 \text{ V}$). 4
 - Skizzieren Sie eine (Ihnen bekannte) Schaltung, die die Spannungsquelle U_0 durch reale Bauelemente (Transistoren und ggf. auch Widerstände) ersetzt, welche mit / zwischen den Spannungen U_{DD} und Massepotential = 0 V betrieben werden, so dass T_0 als reale Stromquelle arbeiten kann. 4

Summe: 30

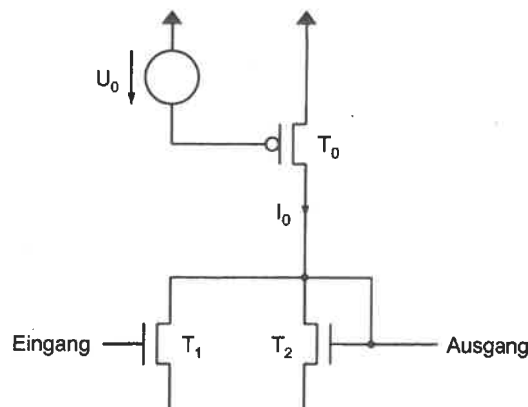
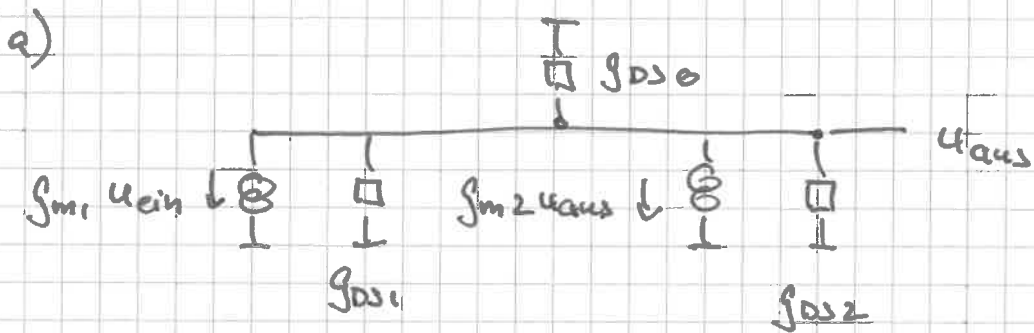


Abbildung zu Aufgabe 5.

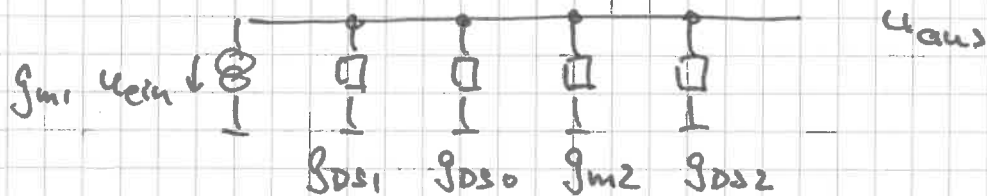
Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013

Musterlösung und Punktezuweisung

zu Aufgabe 5.



ODER (besser, aber gleiche Punktzahl)



b) $0 = g_{m1} U_{ein} + (g_{DS1} + g_{DS0} + g_{m2} + g_{DS2}) U_{aus}$ 2

$\Rightarrow \frac{U_{aus}}{U_{ein}} = - \frac{g_{m1}}{g_{DS1} + g_{DS0} + g_{m2} + g_{DS2}}$ 1

T_1 u. T_2 in Sättigung $\Rightarrow g_{m2} \gg g_{DS2}$ 2

$\Rightarrow \frac{U_{aus}}{U_{ein}} \approx - \frac{g_{m1}}{g_{m2}}$ 1

c) Wg. $U_{ein} = U_{aus} = U_{G1} = U_{G2} = U_{D1} = U_{D2}$ gilt:

$I_0 = \frac{1}{2} \frac{W_1 + W_2}{2 L_{min}} k_n (U_{ein} - U_{th,n})^2$ 2

$\Rightarrow W_1 + W_2 = \frac{4 I_0 L_{min}}{k_n (U_{ein} - U_{th,n})^2}$ 1

Fortsetzung Aufgabenteil 5c:

$$= \frac{4 \cdot 250 \mu\text{A} \cdot 0.35 \mu\text{m}}{140 \mu\text{A}/\text{V}^2 \cdot (0.4\text{V})^2}$$

$$= 15.625 \mu\text{m} \approx 15.6 \mu\text{m} \quad 1$$

Betrachte Verstärkung:

$$\left| \frac{u_{\text{aus}}}{u_{\text{ein}}} \right| = \frac{g_{m1}}{g_{m2}} = \frac{\frac{w_1}{L} k_n U_{\text{eff}}}{\frac{w_2}{L} k_n U_{\text{eff}}} = \frac{w_1}{w_2} \quad 2$$

$$\left| \frac{u_{\text{aus}}}{u_{\text{ein}}} \right| = 5 \Rightarrow w_1 = 5 w_2 \quad 1$$

$$\Rightarrow w_2 = 15.6 \mu\text{m} / 6 = 2.6 \mu\text{m} \quad 0.5$$

$$w_1 = 5 w_2 = 13 \mu\text{m} \quad 0.5$$

d) Wähle z.B. > 2 (!) Stützpunkte und

Berechne Verstärkung

$$\frac{w_2}{w_1 + w_2} \quad \left| \frac{u_{\text{aus}}}{u_{\text{ein}}} \right| = \frac{w_1}{w_2} = \frac{w_{\text{ges}} - w_2}{w_2} = \frac{1}{\frac{w_2}{w_1 + w_2}} - 1$$

10%

9

50%

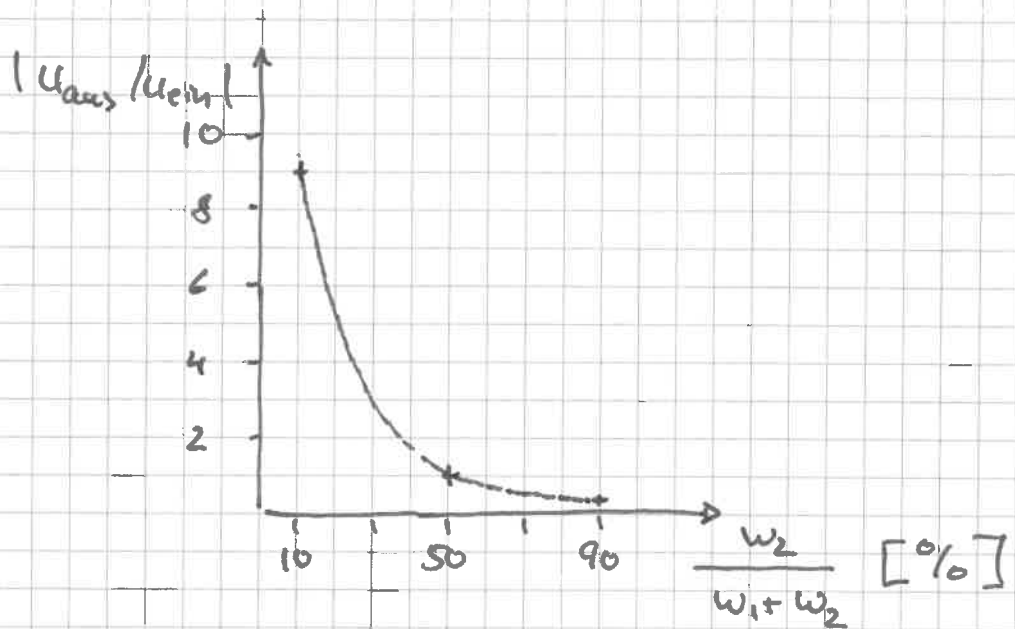
1

90%

$\frac{1}{9}$ (= 0.11)

Klausur Schaltungstechnik
Musterlösung und Punktezuweisung

Fortsetzung Aufgabenteil 5a):



Bewertungskriterien:

- Quantitative Werte an Bereichs enden je 0.5
- quantitativer Wert bei $w_1 = w_2$ 1
(Bereichsmitte)
- Verlauf 2

Korrektes Diagramm ohne Angabe
von Rechnung ergibt volle Punktzahl

c) Wg. $U_{aus} = U_G(T_2)$ und da T_1 wg-
 $U_{ein} = U_G(T_1) = 0$ stromlos ist folgt:

$$I_0 = \frac{1}{2} k_u \frac{w_2}{L} (U_{aus} - U_{ein})^2 \quad 2$$

$$\Rightarrow U_{aus} = U_{ein} + \sqrt{\frac{2 I_0 L}{k_u w_2}} \quad 1$$

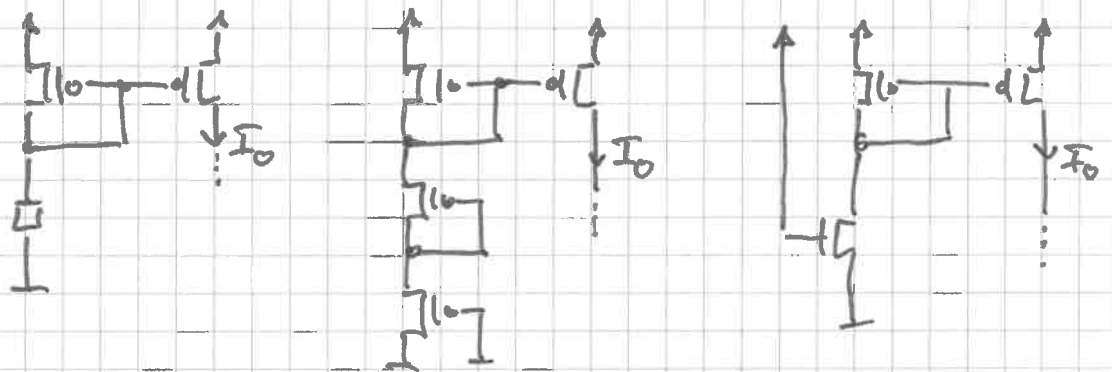
Klausur Schaltungstechnik 11.10.2013
 Musterlösung und Punktezuweisung

Fortsetzung Aufgabenteil 5c:

$$\Rightarrow U_{\text{aus}} = 600 \text{ mV} + \sqrt{\frac{2 \cdot 300 \mu\text{A} \cdot 0.7 \mu\text{m}}{140 \mu\text{A/V}^2 \cdot 3 \mu\text{m}}}$$

$$= 1.6 \text{ V}$$

f) Beispiele:



Bewertungskriterien:

- Erweiterung I_0 zu Stromspiegel 2
- korrekt angeschlossenes Element 2

an Stromspiegelergang gegen Masse

(Achtung: Stromquelle gegen

Masse zählt NICHT gemäß

Aufgabenstellung)