

HAW Hamburg / Department IuE	Datum: 28. 01. 2013
Fachgruppe: Grundlagen	Prüfer: Prof. Dr.-Ing. Kölzer
<b>Klausur: Elektronik 3/ E4b</b>	
Name, Vorname	Matr.Nr:

	Aufgabe 1	Aufgabe 2	Aufgabe 3	Aufgabe 4	Aufgabe 5	Aufgabe 6	Summe	Punktzahl
Punkte	18	14	12	18	20	28	100+	0..15
Erreichte Punkte	14	6,5	0	10,5	11,5	27	69,5	10

**Achtung:** Beginnen Sie bitte jede Aufgabe auf einem neuen Blatt und nummerieren Sie die Blätter. Es werden nur die Lösungen anerkannt, deren Lösungswege eindeutig erkennbar und nachvollziehbar sind.

### Kleine Formelsammlung:

<b>Zweiter mit einer Zeitkonstanten</b> $\tau = RC: U_A(t) = U_\infty + [U_0 - U_\infty] \cdot e^{-\frac{t-t_s}{\tau}}$ Für $t = t_s$ folgt: $t_0 = t_s + \tau \cdot \ln\left(\frac{U_\infty - U_0}{U_\infty - U_A(t_0)}\right)$	<b>CMOS-Logik:</b> $A = f(E_1, \dots, E_n)$ $f_n = \overline{f(E_1, \dots, E_n)}, f_p = f(\overline{E_1}, \dots, \overline{E_n})$
<b>ADU / DAU - Kenngrößen:</b> $U_{LSB} = \frac{U_{FS}}{2^n}, ENOB = \text{ld} \frac{U_{FS}}{U_{LSB,real}}$ Abschätzung von $U_{LSB,real}$ mit dem INLV bzw. DNLV: $U_{LSB,real} = U_{LSB,ideal} + 2 \cdot INLV$ $U_{LSB,real} = U_{LSB,ideal} + DNLV$ Endpunkte-Abgleich beim $\Delta\Sigma$ -ADU: $U_{A,Abgl} = U_A - U_{off} - (U_{gain} - U_{off}) \cdot \frac{U_e}{U_{e,max}}$	<b>Leitungswellenwiderstand <math>Z_L</math>:</b> Verhältnis von hinlaufender bzw. rücklaufender Spannungs- und Stromwelle: $Z_L = \frac{U_{0h}}{I_{0h}} \text{ bzw. } Z_L = -\frac{U_{0r}}{I_{0r}}$

$$\Delta = U_A - U_{A,ideal}$$

$$INLV = U_{A,Abgl} - U_{A,ideal}$$

#### Aufgabe 1: (CMOS - Schaltung - 18 Punkte)

Skizzieren Sie den Logikteil einer CMOS-Schaltung, die die folgende Funktion realisiert (positive Logik vorausgesetzt):

$$Q = (\overline{E_1} \wedge \overline{E_2}) \vee (E_1 \wedge \overline{E_3} \wedge E_4)$$

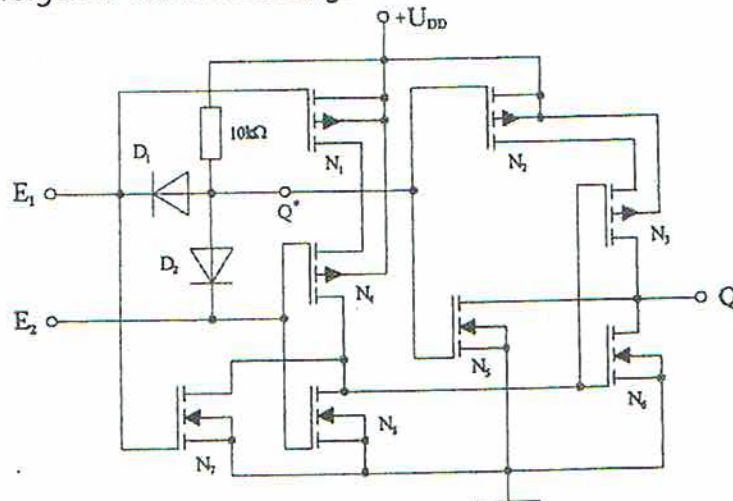
Schließen Sie alle Anschlüsse der N- und P-MOS-Transistoren korrekt an. Nur die nichtinvertierten Signale  $E_1, E_2, E_3, E_4$  können als gegeben angesehen werden.

SS / WS	Semester	Fach	Gezeit
12/13	E4	EL 3	K20

FSK - Klausurensammlung 1/20

## Aufgabe 2: (CMOS-Schaltung - 14 Punkte)

Analysieren Sie die folgende Gatterschaltung:



- Aus welchen Funktionsgruppen besteht die Schaltung?
- Stellen Sie eine Arbeitstabelle ( $E_1$ ,  $E_2$ ,  $N_1 - N_8$ ,  $Q$ ) auf. Welche Verknüpfung realisiert die Schaltung?

## Aufgabe 3: (DAU, Übertragungskennlinie – 12 Punkte)

An einem 3-Bit-DAU werden folgende maximalen Abweichungen der Analogwerte gemessen, wenn die entsprechenden Bits gesetzt sind:

Bit 2 (MSB)	$- 1/2 U_{LSB}$
Bit 1	$+ 1/4 U_{LSB}$
Bit 0 (LSB)	$+ 1/4 U_{LSB}$

Geben Sie die ideale und reale Übertragungskennlinie dieses DAU an ( $U_A / U_{LSB} = f(x_2, x_1, x_0)$ ) und ermitteln Sie die integrale Nichtlinearität INL und die differentiellen Nichtlinearitäten DNL für diesen DAU. Machen Sie eine Aussage zur Monotonie dieses Wandlers.

## Aufgabe 4: (Bergeron-Methode – 18 Punkte)

Ein TTL-74AS04 –Baustein (Gatter G1) mit den gegebenen Ausgangskennlinien (s. Abbildung 4.2) treibt über eine  $30\Omega$  -Leitung mit einer Signallaufzeit von  $\tau = 3ns$  ein zweites Gatter G2 an, das am Eingang mit einer Schutzdiode versehen ist. Dessen Eingangskennlinie  $U_i$  ergibt sich durch folgende vereinfachte Diodengleichungen:

$$I_D = U_D \cdot \begin{cases} Y_R & \text{für } U_D < 0 \quad (\text{Sperrrichtung}) \\ Y_F & \text{für } U_D \geq 0 \quad (\text{Durchgangsrichtung}) \end{cases}$$

mit  $Y_R = 2mS$  (Leitwert – Einheit in Siemens - in Sperrrichtung) und  $Y_F = 100mS$  (Leitwert in Durchgangsrichtung).

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
21/22	E 4	EL 3	KER
FSR - Klausurensammlung 2/20			



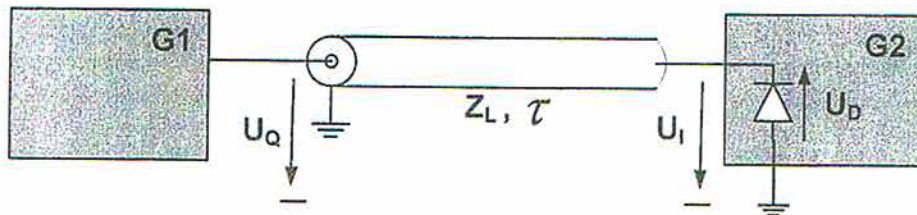


Abbildung 4.1: Zusammenschaltung zweier Gatter über eine Leitung

- Wozu dient die Schutzdiode?
- Zeichnen Sie die Eingangskennlinie  $U_I$  in das Bergeron-Diagramm ein. Beachten Sie die Ausrichtung der Diode.
- Ermitteln Sie mit Hilfe des Bergeron-Verfahrens am Leitungseingang und -ausgang den Übergang  $L \rightarrow H$ . Geben Sie in der vorbereiteten Tabelle die aus der Zeichnung abgelesenen Spannungswerte zu den gegebenen Intervallen an. Gehen Sie davon aus, dass die Umschaltung im Zeitpunkt  $t = 0$  stattfindet.

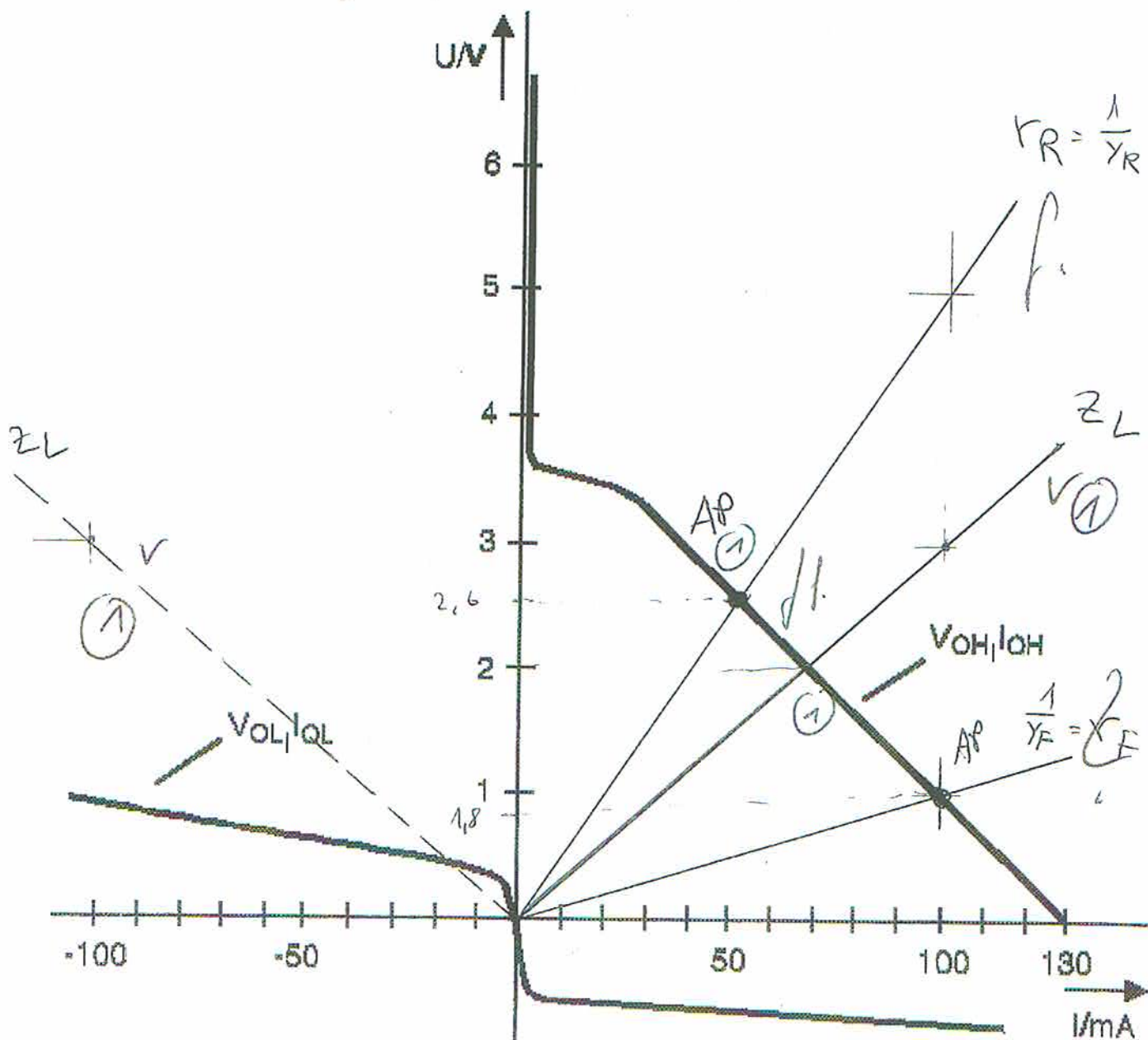


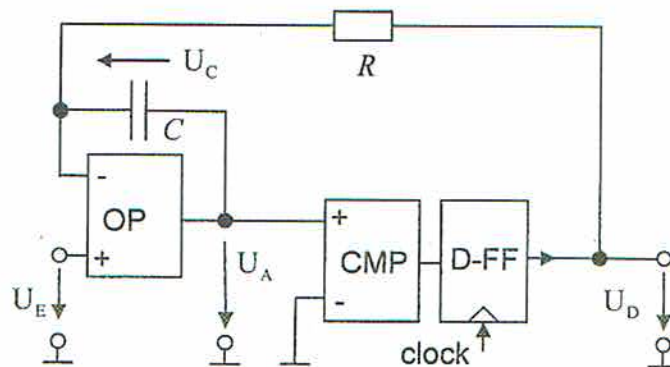
Abbildung 4.2: Bergeron-Diagramm

	Übergang L → H	
t	$U_0 / V$	$U_1 / V$
$t < 0$ (!!)	0	0 ✓
$0 \leq t < \tau$	2 ✓	2,6 ✓
$\tau \leq t < 2\tau$	2 ✓	1,8
$2\tau \leq t < 3\tau$	2	2,6
$3\tau \leq t < 4\tau$	2	1,8

2,5

### Aufgabe 5: (Sigma-Delta-ADU, Fehleranalyse - 20 Punkte)

Gegeben ist der Analogteil einer Sigma-Delta-ADU-Schaltung.  $U_D$  wird synchron mit der ansteigenden Flanke des Taktsignals gesetzt ( $U_{FS} = 5V$ ).



Im Labor wird die Schaltung getestet. Dazu wird der Mittelwert des Ausgangssignals  $U_D$  als Funktion der Eingangsspannung  $U_E$  gemessen. Mit Hilfe der folgenden Tabelle wurde die Messung protokolliert.

$U_E / V$	0	0,25	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$\bar{U}_D / V$	0,002	0,251	0,498	0,751	1,004	1,503	1,999	2,497	2,998	3,500	4,001	4,498	4,999

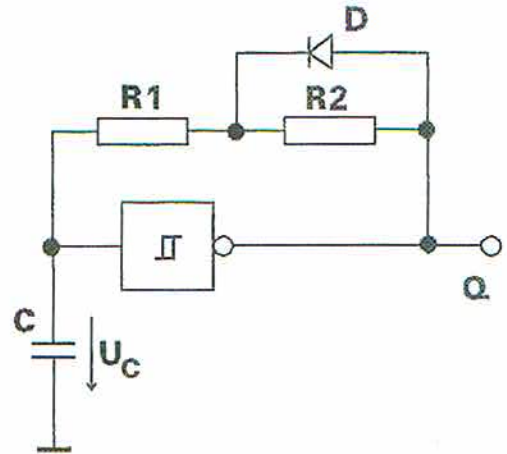
- Bestimmen Sie ohne vorhergehende Korrekturmaßnahmen die sich ergebenden Offset- und Verstärkungsfehler (Angaben in Volt).
- Korrigieren Sie nun mit einem einfachen Endpunkt-Abgleich den Offset- und Verstärkungsfehler. Geben Sie die dazugehörigen Werte für  $U_{D,kor}$  an.
- Ermitteln Sie aus  $U_{D,kor}$  den verbleibenden integralen Linearitätsfehler **INL** (Angaben in Volt).
- Schätzen Sie die effektive Bitanzahl **ENOB** aus dem **INL** ab.

WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KZR
FSR - Klausurensammlung 9/20			



### Aufgabe 6: (Kippschaltung – 28 Punkte)

Die hier abgebildete astabile Kippschaltung soll näher analysiert werden. Bei dem benutzten Schmitt-Trigger handelt es sich um einen CMOS-Baustein **SN74HC14** mit  $U_{QH} = 4,9V$  und  $U_{QL} = 0,1V$  sowie den beiden Schwellspannungen  $U_{S1} = 1,75V$  und  $U_{S2} = 2,75V$  (bei 5 V Betriebsspannung). Die Werte für die Widerstände sind mit  $R1 = 22\text{ k}\Omega$  und  $R2 = 47\text{ k}\Omega$  vorgegeben. Die Kapazität hat einen Wert von  $C = 2nF$ . Die Diode D ist mit der Fluss-Spannung  $U_{F0} = 0,7V$  und dem Bahnwiderstand  $r_{DF} = 100\Omega$  zu berücksichtigen.

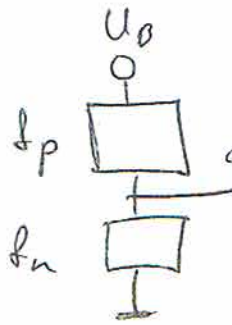


- Berechnen Sie für eine Periode  $T$  den genauen zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung  $U_C$  der astabilen Kippschaltung. Stellen Sie Ihr Ergebnis anhand von qualitativ richtigen Signal-Zeit-Diagrammen für  $U_C$  und  $U_Q$  graphisch dar.
- Bestimmen Sie die Frequenz des periodischen Ausgangssignals  $U_Q$ . Wie groß ist das Tastverhältnis  $v_T = T_D / T$ ?
- Bestimmen Sie nun den Widerstandswert für  $R2$  neu (Die Werte von  $R1$  und  $C$  bleiben erhalten!) unter der Randbedingung, dass nun ein Tastverhältnis von  $v_T = 0,5$  erreicht werden soll. Wie groß ist nun die Frequenz des Ausgangssignals?

WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KZR

FSR - Klausurensammlung 512G

# Aufgabe 1)



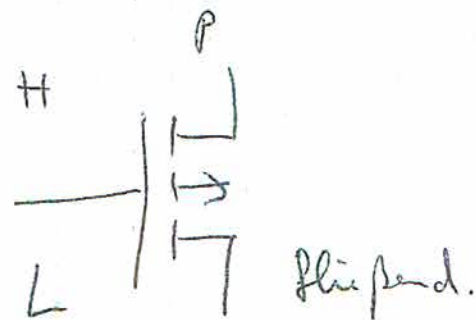
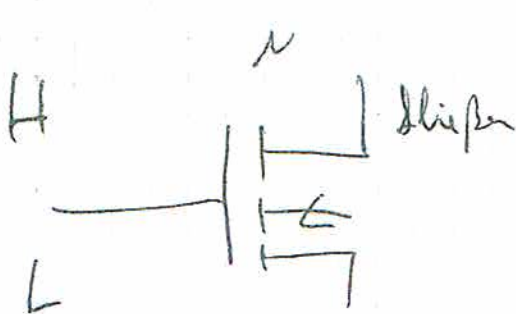
$$Q = (\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (E_1 \wedge \bar{E}_3 \wedge E_4)$$

$$I_n = \bar{Q} = \overline{(\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (E_1 \wedge \bar{E}_3 \wedge E_4)}$$

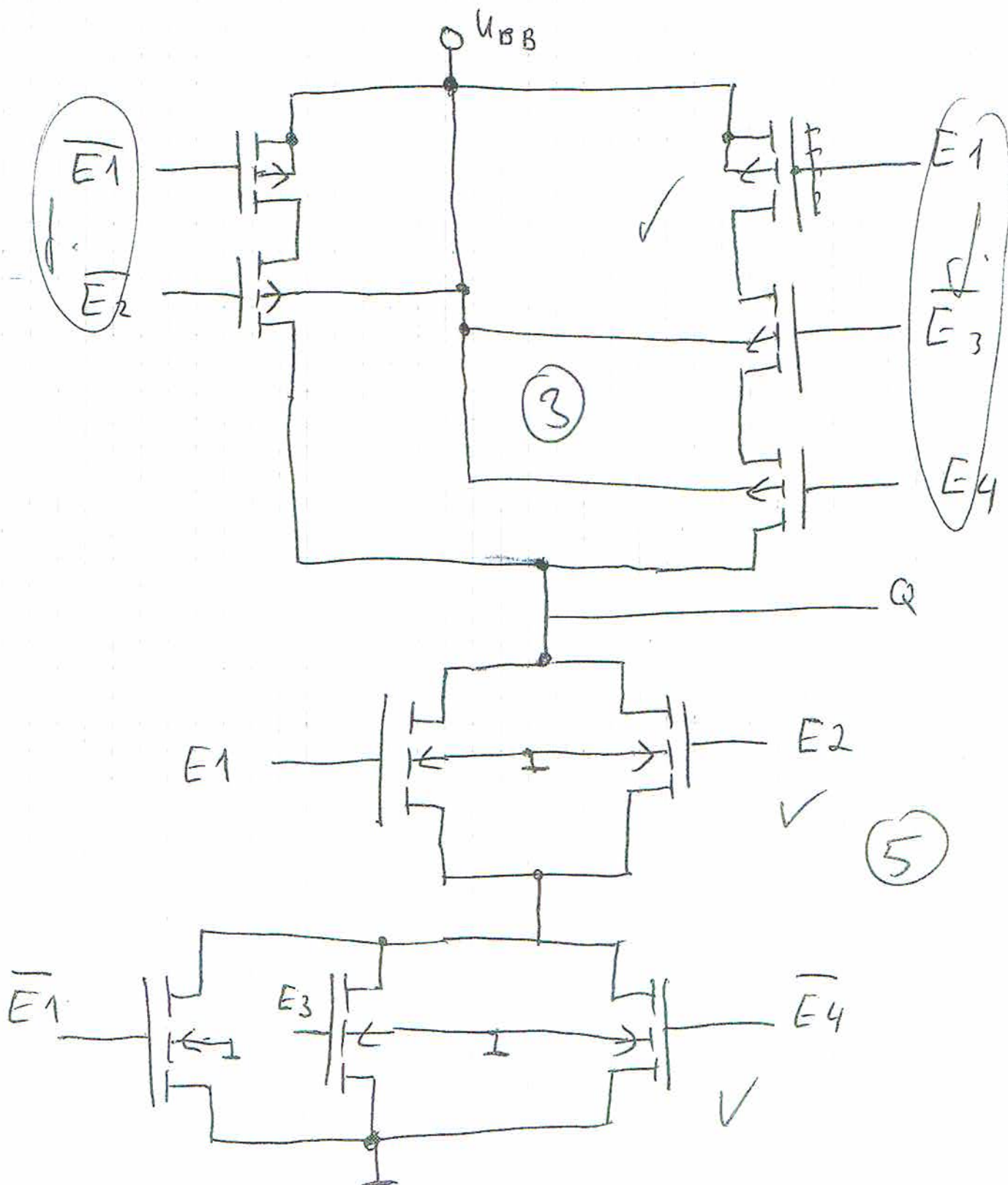
$$I_n = (E_1 \vee E_2) \wedge (\bar{E}_1 \vee E_3 \vee \bar{E}_4) \quad \checkmark (4)$$

$$I_p = \bar{Q} = \overline{(\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (E_1 \wedge \bar{E}_3 \wedge E_4)}$$

$$I_p = (\bar{E}_1 \wedge \bar{E}_2) \vee (E_1 \wedge \bar{E}_3 \wedge E_4) \quad \checkmark (2)$$



zu Aufgabe 1)



# Aufgabe 2)

a) Die Funktionsgruppen besteht aus

4 CMOS-INVERTERN ✓ (2)

P-MOS	N-MOS
$N_1$	$N_5$
$N_2$	$N_6$
$N_3$	$N_7$
$N_4$	$N_8$ ✓

d. 1/2

b)

Lösungsweg 2

$E_1$	$E_2$	$N_1$	$N_2$	$N_3$	$N_4$	$N_5$	$N_6$	$N_7$	$N_8$	Q
0	0	L	<del>L</del>		L			S	S	0
0	1	L	<del>L</del>		S			S	L	1
1	0	S	<del>L</del>		L			L	S	1
1	1	S ✓	<del>L</del>		S ✓			L ✓	L ✓	0 ✓

(2)

$L \hat{=}$  Leitet

$S =$  spendet

hoch?

XOR - Verknüpfung realisiert die Schaltung... (2)

$$(\overline{E_1} \wedge E_2) \vee (E_1 \wedge \overline{E_2})$$

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	K2R

FSR - Klausurensammlung 8/20

(3)



Aufg. 3)

0	0	0
0	0	1
0	1	0
0	1	1
1	0	0
1	0	1
1	1	0
1	1	1

$$U_A = -U_{LSB} \cdot \frac{1}{2} + \frac{1}{4} U_{LSB} + \frac{1}{4} U_{LSB} \quad 2$$

$$U_{A, ideal} = \frac{U_{FS}}{2^n} = \frac{U_{FS}}{2^3} = \frac{U_A}{8}$$

$$U_{A, ideal} = \frac{1}{8} U_A \quad \int$$

$$U_{A, Abgl.}: U_A - U_{off} - (U_{gain} - U_{off}) \frac{U_{LSB}}{2^n} \times 2$$

$$I_{NL} = U_{A, Abgl.} - U_{A, ideal}$$

$$= U_A - U_{off} - (U_{gain} - U_{off}) \frac{U_{LSB}}{2^n} - \frac{1}{8} U_A \quad 2$$

$$I_{NL} = \frac{7}{8} U_A - \dots$$

$$|DNL| = \left| \frac{7}{8} U_A \right|$$

WS	Semester	Fach	Ordnung
21/22	E4	EL3	K2R

FSR - Klausurensammlung 9/20

4

# Aufgabe 4)

a) Schutzdiode dienen zum Sperren  $\perp$   
und durchlassrichten.

Schutzdiode wird als  $r_{\text{Diode}}$  angegeben!

$$Y_R = 2 \text{ mS} \rightarrow r_R = 500 \Omega \checkmark \quad (4)$$

$$Y_F = 100 \text{ mS} \rightarrow r_F = 10 \Omega \checkmark$$

Aufgabe 5)

$u_E$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$u_A$	0,002	0,251	0,498	0,751	1,004	1,503	1,999	2,497	2,998	3,500	4,001	4,498	4,5
$u_{A,ideal}$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4,0	4,5	5
$\Delta[V]$	0,002	0,001	0,002	0,001	0,004	0,003	-0,001	-0,003	-0,002	0	0,001	0,002	-0,002
$u_{D,ker}$	0	0,249	0,496	0,749	1,002	1,501	1,997	2,496	2,997	3,4987	4,497	4,973	5,0
$u_{NL}$	0	-0,001	-0,004	-0,001	0,002	0,001	-0,003	-0,004	-0,003	0	-0,003	-0,003	-0,003

$(u_{LSB,ideal} = 0,25V !!)$   
 $(u_{LSB,ideal} = 0,5V !!)$   
 $(u_{LSB,ideal} = 0,75V !!)$

$$\Delta[V] = u_A - u_{A,ideal}$$

$$u_{A,Abgl.} = u_A - u_{off} - (u_{gain} - u_{off}) \cdot \frac{u_e}{u_{e,max}} = u_{D,ker} ; I_{NL} = u_{D,ker} - u_e$$



zu Aufgabe 5)

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KZR
FSR - Klausurensammlung 12/20			

a) Offsetfehler :  $0,002 \text{ V}$  ✓ (1)

Verstärkungsfehler :  $-0,001 \text{ V}$  (V) (2)

b)

$$U_{A, \text{Abgl}} = U_A - U_{\text{off}} - (U_{\text{gain}} - U_{\text{off}}) \cdot \frac{U_E}{U_{E, \text{max}}}$$

$$= 0,002 \text{ V} - (-0,001 \text{ V} - 0,002 \text{ V})$$

(2) //

c)

$$INL = U_{D, \text{kon}} - U_E$$

$$|INL| = 0,004 \text{ V } U_{LSB} \text{ ?}$$

(1)

d)  $U_{LSB, \text{ideal}} = 0,25 \text{ V}$  f. wie?

$$U_{LSB, \text{real}} = 0,25 \text{ V} + 2 \cdot |0,004| \text{ V}$$

$$ENOB = \log_2 \left( \frac{U_{FS}}{U_{LSB, \text{real}}} \right) = \log_2 \left( \frac{5 \text{ V}}{0,258 \text{ V}} \right)$$

$$ENOB = 4,276$$

aber bei  $v_{in}$  0 bis 1 V  
 $U_E$  !!!

7

zu Aufgabe 5)

WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KZR
FSR - Klausurensammlung 13/20			

d)  $U_{LSB, ideal} = 0,5V$

$$U_{LSB, real} = 0,5V + 2 \cdot |0,004V|$$

$$U_{LSB, real} = 0,508$$

$$ENOB = \log_2 \left( \frac{5V}{0,508V} \right)$$

$$ENOB = 3,299 \approx 3,3$$

# Aufgabe 6)

WS	Semester	Fach	Dozent
21/23	E4	EL3	KER
PSK - Klausurensammlung 14/20			

Geg:

$$U_{AH} = 4,9V$$

$$U_{AL} = 0,1V$$

$$U_{S1} = 1,75V$$

$$U_{S2} = 2,75V$$

$$R_1 = 22k\Omega$$

$$R_2 = 47k\Omega$$

$$C = 2\mu F$$

$$U_{F0} = 0,7V$$

$$r_{DF} = 100\Omega$$

a) Ges:  $\tau$

$$\text{L\u00f6s:} \quad \tau_p = \tau_p \cdot \ln \left( \frac{U_{\infty} - U_0}{U_{\infty} - U_A(t_0)} \right) \quad \checkmark$$

$$\text{Entladen:} \quad \tau_D = \tau_D \cdot \ln \left( \frac{U_{\infty} - U_0}{U_{\infty} - U_A(t_0)} \right) \quad \checkmark$$

$$\tau_p = R_{ges} \cdot C \rightarrow R_{ges} = R_1 + (R_2 \parallel r_{DF}) \quad \checkmark$$

$$= R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{DF}}}$$

$$\tau_p = 22,1k\Omega \cdot 2\mu F$$

$$\tau_p = 44,2 \mu s \quad \checkmark \quad \underline{\underline{R_{ges} = 22,1 k\Omega}}$$

$$\tau_D = R_{ges} \cdot C$$

$$R_{ges} = R_1 + R_2$$

$$R_{ges} = 69k\Omega$$

ohne  
Diode,  
weil  
Sperrung!!

$$\tau_D = 138 \mu s \quad \checkmark$$



zu Aufgabe 6)

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KER
FSR - Klausurensammlung 15/20			

a)

$$\tau_p = \tau_p \cdot \ln \left( \frac{U_{\infty} - U_0}{U_{\infty} - U_A(t_0)} \right)$$

$$U_{\infty} = 4,2 \text{ V} = U_{OH} - U_{FO} = 4,9 \text{ V} - 0,7 \text{ V}$$

$$U_0 = 1,75 \text{ V} \quad \text{Anfangsspannung} \quad /$$

$$U_A(t_0) = 2,75 \text{ V} \quad \text{Endspannung} \quad /$$

$$\tau_p = 44,2 \mu\text{s} \cdot \ln \left( \frac{4,2 \text{ V} - 1,75 \text{ V}}{4,2 \text{ V} - 2,75 \text{ V}} \right) \quad \checkmark$$

$$\tau_p = 23,18 \mu\text{s} \quad \checkmark$$

$$\tau_D = \tau_0^{(138,1)} \cdot \ln \left( \frac{0,1 \text{ V} - 2,75 \text{ V}}{0,1 \text{ V} - 1,75 \text{ V}} \right) \quad \checkmark$$

$$\tau_D = 65,38 \mu\text{s} \quad \checkmark$$

(12)

$$T = \tau_p + \tau_D = 88,56 \mu\text{s} \rightarrow f = \frac{1}{T} = 11,29 \text{ kHz}$$

(1)

(1) ✓

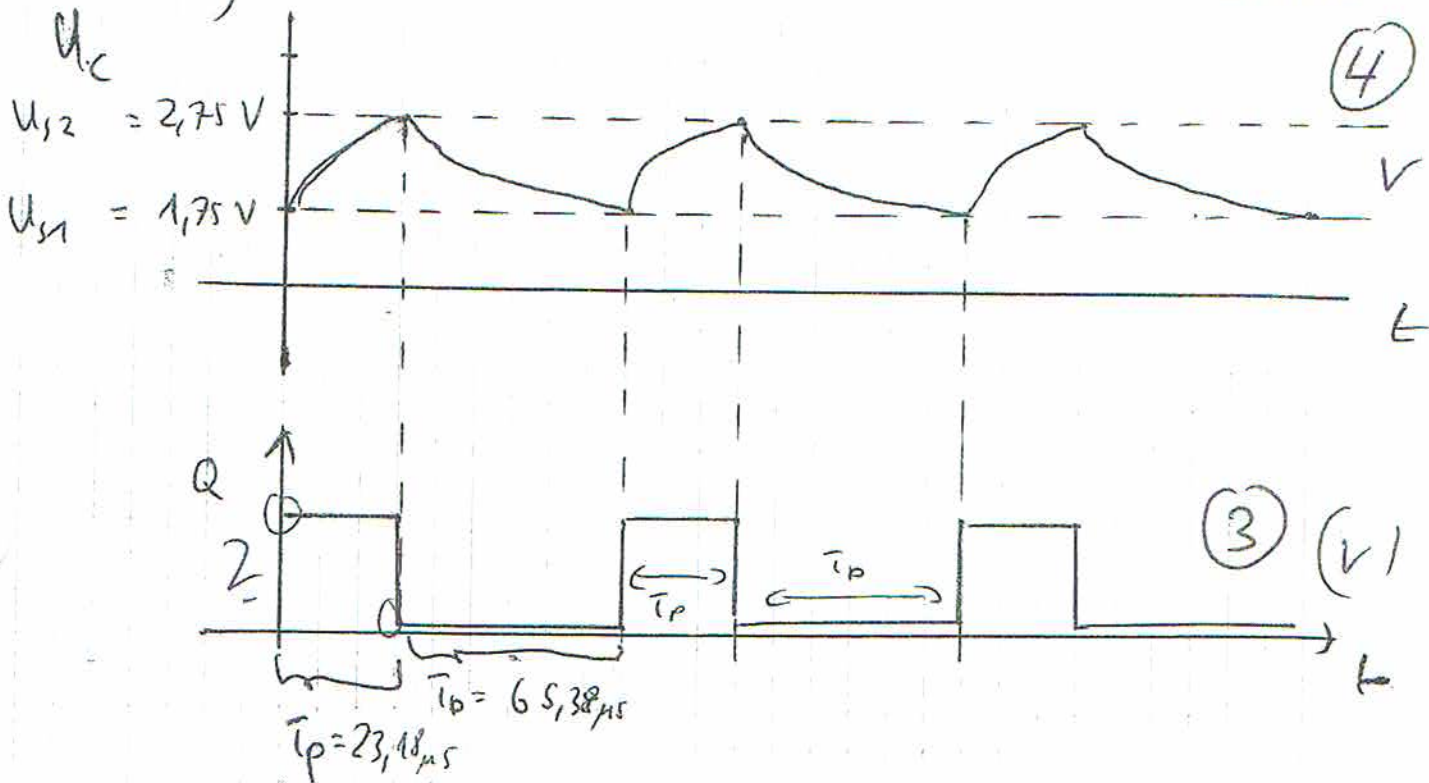


(10)

zu Aufg. 6)

WS	Semester	Fach	Doren
12/13	E4	EL3	KER
FSR - Klausuren Sammlung 16/20			

a)



b)

$$\bar{T} = \bar{T}_p + \bar{T}_b = 88,56 \mu\text{s}$$

$$f = \frac{1}{\bar{T}} = 11,29 \text{ kHz}$$

$$V_T = \frac{\bar{T}_b}{\bar{T}} = \frac{65,38 \mu\text{s}}{88,56 \mu\text{s}} = 0,738 \rightarrow 73,8 \%$$

m Aufgabe 6)

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KER

FSR - Klausurensammlung 17/20

$$c) \quad V_T = \frac{1}{2} = 0,5 = \frac{\bar{T}_0}{T} \Rightarrow \bar{T}_p = \bar{T}_0$$

$$\bar{T}_p = \bar{T}_0 \quad \checkmark \quad (1)$$

$$\tilde{z}_p \cdot h(\cdot) = \tilde{z}_0 \cdot h(\cdot) \quad \checkmark \quad (1)$$

$$R_{ges,p} \cdot h(\cdot) = R_{ges,0} \cdot h(\cdot)$$

$$\left( R_1 + \frac{R_2 \cdot r_{DF}}{R_2 + r_{DF}} \right) h(\cdot) = (R_1 + R_2) h(\cdot) \quad | h(\cdot)$$

$$R_1 + \frac{R_2 \cdot r_{DF}}{R_2 + r_{DF}}$$

$$= R_1 \cdot 0,9032645394 + R_2 \cdot 0,9032645394$$

Wah!

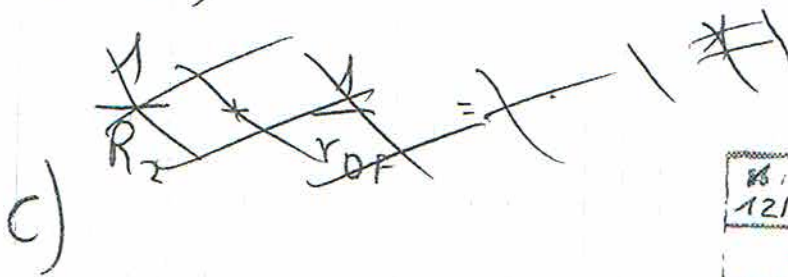
$$\frac{R_1 + R_2 \cdot r_{DF}}{R_2 + r_{DF}} = R_1 \cdot 0,5 + R_2 \cdot 0,5 - R_1$$

$$\frac{1}{R_2} + \frac{1}{r_{DF}} =$$

(12)



zu 6)



SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	KZR
FSR - Klausurensammlung 18/2			

$$R_2 \cdot r_{DF} = (R_1 \cdot 0,9 + R_2 \cdot 0,9 - R_1) / (R_2 + r_{DF})$$

$$R_2 \cdot r_{DF} = \frac{R_1 R_2 0,9}{R_2} + \frac{R_2^2 0,9}{R_2} - \frac{R_1 R_2}{R_2} +$$

$$\frac{R_1 R_2 0,9}{R_2} + \frac{R_2 \cdot 0,9 \cdot r_{DF}}{R_2} - R_1 r_{DF}$$

$$\underline{R_2 r_{DF}} = \underline{R_1 R_2 0,9} - R_2^2 \cdot 0,9 + \underline{R_1 R_2}$$

$$- \underline{r_{DF} R_2 0,9} = \underline{R_2 0} \cdot r_{DF} R_1 0,9 + R_1 r_{DF}$$

$$\underline{R_2} \cdot \underline{r_{DF}}$$

$$- 0,9 \cdot R^2 + R_2 (r_{DF} - R_1 \cdot 0,9 + R_1 - 0,9 \cdot r_{DF})$$

$$- r_{DF} R_1 \cdot 0,9 + R_1 r_{DF} = 0$$

$$R_2^2 + R_2 \frac{(r_{DF} - R_1 0,9 + R_1 - 0,9 \cdot r_{DF})}{0,9}$$

$$+ r_{DF} \cdot R_1 + R_1 r_{DF} \frac{1}{0,9} = 0$$

(13) l.

zu 6)

$$R_2^2 - 2373,97 R_2 + 236,323,36 = 0$$

$$R_{1,2} = \frac{\frac{2373,97}{2}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{2373,97}{2}\right)^2 + 236,323,36}$$

$$= 1186,98 \Omega \quad 1282,42 \Omega$$

$$R_2 = \underline{2464,98 \Omega}$$

$$R_2 = 2469,65 \Omega$$

$$R_2 = \underline{2,47 \text{ k}\Omega}$$

②

$$\Rightarrow T_D = (R_1 + R_2) \cdot C \cdot \ln( )$$

$$T_D = 23,18 \mu s$$

$$T_D = T_P = 23,18 \mu s$$

$$\frac{1}{T_D + T_P} = f = \underline{21,56 \text{ kHz}} \quad \checkmark \quad \textcircled{2}$$

m 6)  
c)

Test:

SS / WS	Semester	Fach	Dozent
12/13	E4	EL3	UER

FSR - Klausurensammlung 20120

$$\bar{T}_p = \left( R_1 + \frac{1}{\frac{1}{R_L} + \frac{1}{C}} \right) \cdot C \ln(\quad)$$

$$\bar{T}_p \approx 23,83 \mu s$$

---

Strom: