Hardwarepraktikum WS 1998/99

Versuch 1

TTL-Schaltkreise

Gruppe 01:
Karsten Petersen, 19164
Marion Riedel, 19259
Tino Schwarze, 19304

Chemnitz, den 30. November 1998

Aufgabe 1

≫ Leiten Sie die Formeln (9) und (10) aus den Versuchsunterlagen her!

Bei der Zusammenschaltung von Open-collector-Ausgängen muß ein Widerstand (R) zur Wahrung der Pegel eingebaut werden. Dieser Widerstand hat die Aufgabe, bei H-Pegel (das ist, wenn alle Ausgangs-Transistoren der OC-Ausgänge sperren) die Spannung zumindest auf U_{OH} zu heben, gleichzeitig darf er aber nicht zu klein sein, sonst würde er bei L-Pegel zuviel Strom durchlassen. Dies könnten die Ausgangstransistoren nicht mehr schaffen, was entweder „nur“ zu einem Anstieg der Spannung über U_{OL}, oder aber zu einer Zerstörung der Ausgangstransistoren führen würde.

Schaltung:

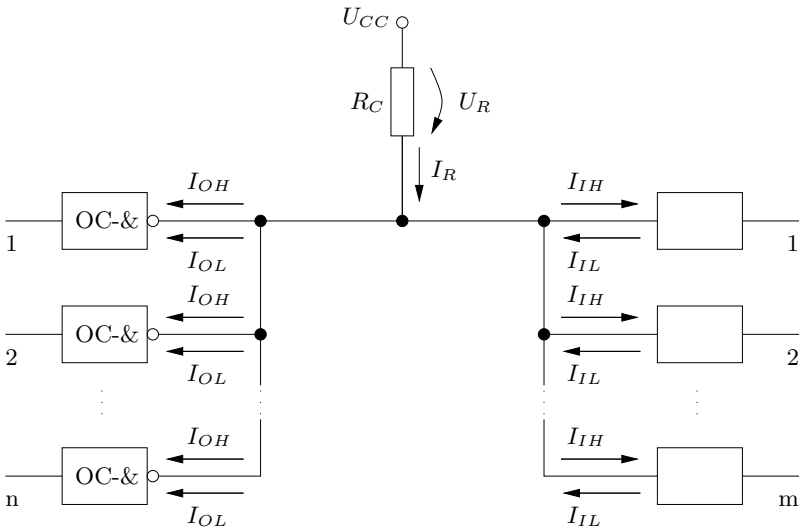


Abbildung 1: Wired-AND mit Open-collector-Ausgängen

H-Pegel

Beim H-Pegel fließt durch jeden der Ausgänge ein geringer Leckstrom (technisch bedingt) vom maximal I_{OH} ab, außerdem zieht jeder der Eingänge einen Strom von maximal I_{IH}. Der Widerstand muß also mindestens die Summe dieser Ströme liefern, und dies bei einer Spannung von mindestens U_{OH}. Das

Ohmsche Gesetz sagt aus, daß die Größe des Widerstandes direkt dem Ergebnis der Division von über ihm abfallender Spannung durch den durch ihn hindurchfließenden Strom entspricht:

$$R = \frac{U_R}{I_R} \tag{1}$$

Die Spannung ist in unserem Falle mindestens U_{OH}; dies entspricht der Versorgungsspannung (U_{CC}) abzüglich der über dem Widerstand abfallenden Spannung. Aus der Sicht des Widerstandes ausgedrückt:

$$U_R \leq U_{CC} - U_{OH} \tag{2}$$

Der Strom I_R ergibt sich aus der Summe der zu den Ein- und den Ausgängen abfließenden Ströme, also:

$$I_R \geq n \cdot I_{OH} + m \cdot I_{IH} \tag{3}$$

Werden nun (2) und (3) in (1) eingesetzt ergibt sich die Ungleichung:

$$R \leq \frac{U_{CC} - U_{OH}}{n \cdot I_{OH} + m \cdot I_{IH}} \tag{4}$$

L-Pegel

Beim L-Pegel kann jeder der auf L liegenden Ausgänge maximal einen Strom von I_{OL} aufnehmen, und jeder Eingang gibt maximal einen Strom von I_{IL} ab. Der Extremfall wäre also, wenn nur einer der Ausgänge auf L-Pegel liegt. Der Widerstand darf nun nur so groß sein, daß die Summe der von den Eingängen und vom Widerstand gelieferten Ströme geringer als I_{OL} ist:

$$I_{OL} \geq I_R + m \cdot I_{IL}$$

oder umgeformt:

$$I_R \leq I_{OL} - m \cdot I_{IL} \tag{5}$$

Für die Spannung gilt, daß diese nicht über U_{OL} steigen darf, daher gilt für die über dem Widerstand abfallende Spannung:

$$U_R \geq U_{CC} - U_{OL} \tag{6}$$

Setzt man nun (5) und (6) in (1) ein, erhält man:

$$R \geq \frac{U_{CC} - U_{OL}}{I_{OL} - m \cdot I_{IL}} \tag{7}$$

Die Formeln (4) und (7) entsprechen nun den im Skript vorgegebenen.

Aufgabe 2

≫ Entwerfen und realisieren Sie unter ausschließlicher Verwendung von Negatoren mit Open-collector-Ausgang die BOOLEsche Funktion:

$$y = f(a, b, c, d) = (a \vee b) \wedge (c \vee d)$$

Da für die Realisierung der Funktion nur Negatoren und – durch deren Zusammenschaltung – UND-Verknüpfungen zur Verfügung stehen, muß die Gleichung so umgeformt werden, daß nur noch Negation und Konjunktion als Operatoren darin vorkommen. Dies geschieht durch doppeltes Negieren und die Anwendung der Morganschen Gesetze:

$$\begin{aligned} y &= (a \vee b) \wedge (c \vee d) \\ y &= \overline{\overline{(a \vee b) \wedge (c \vee d)}} \\ y &= (\overline{\overline{a} \wedge \overline{b}}) \wedge (\overline{\overline{c} \wedge \overline{d}}) \end{aligned}$$

Daraus ergibt sich der Schaltplan:

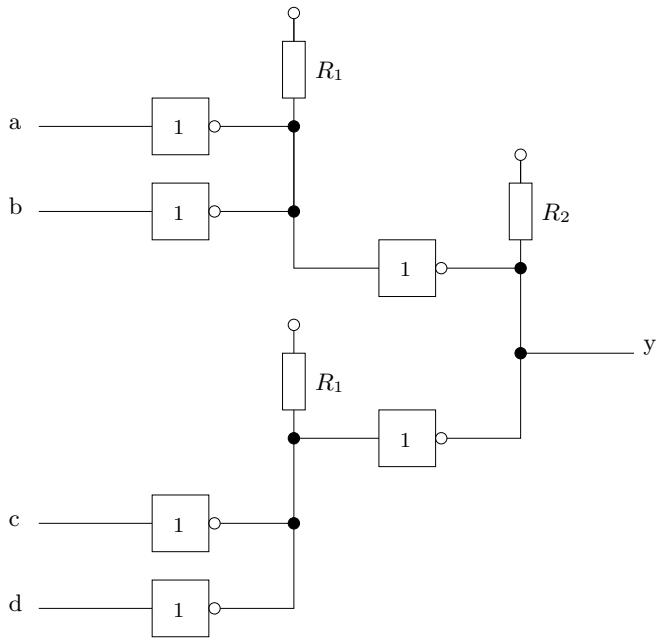


Abbildung 2: Realisierung der logischen Funktion

Die Korrektheit der Umformung – und damit der Schaltung – läßt sich anhand der Wahrheitstabelle nachweisen:

a	b	c	d	$a \vee b$	$c \vee d$	$\overline{\overline{a} \wedge \overline{b}}$	$\overline{\overline{c} \wedge \overline{d}}$	$(a \vee b) \wedge (c \vee d)$	$(\overline{\overline{a} \wedge \overline{b}}) \wedge (\overline{\overline{c} \wedge \overline{d}})$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	1	0	1	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
0	0	1	1	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	0	0	0	1	0	1	0	0	0
1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
1	0	1	0	1	1	1	1	1	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Zur Berechnung der Kollektorwiderstände verwenden wir die in Aufgabe 1 hergeleiteten Formeln (unter Beachtung von $F_{LA} \geq 4$). Als Ergebnisse erhalten wir:

$$\begin{aligned} R_1 &\leq 4{,}815\,\mathrm{k\Omega} \\ R_1 &\geq 0{,}319\,\mathrm{k\Omega} \\ R_2 &\leq 3{,}939\,\mathrm{k\Omega} \\ R_2 &\geq 0{,}479\,\mathrm{k\Omega} \end{aligned}$$

In beiden Fällen (R_1 und R_2) genügt ein 1,8 kΩ-Widerstand den Bedingungen.

Durchführung

Die Ergebnisse der praktischen Umsetzung der Schaltung stimmten genau mit den theoretisch vorhergesagten überein. Der Versuch verlief erfolgreich.

Aufgabe 3

Teilaufgabe 1

≫ Analysieren Sie die Funktionsweise der Schaltung!

Wahrheitstabelle für ein NAND-Gatter:

a	b	x
H	H	L
H	L	H
L	H	H
L	L	H

Zur Analyse der Funktionsweise der Schaltung müssen wir eine Fallunterscheidung durchführen:

$E = L$-Pegel

Liegt E auf L-Pegel, so kann sich der Kondensator C über die Diode D nach E entladen, dies geschieht aufgrund der geringen Widerstände von C und D praktisch schlagartig. Der über den Widerstand R heranfließende Strom nimmt denselben Weg. Außerdem zieht der L-Pegel den Ausgang A durch das rechte NAND auf H-Pegel.

$E = H$-Pegel (schon längere Zeit)

Der Kondensator ist bereits über den Widerstand R voll aufgeladen worden. Da D nun aufgrund des H-Pegels an E sperrt, kann er sich auch nicht dorthin entladen. Das links liegende NAND liest an diesem Eingang also einen H-Pegel. Zusammen mit dem auf H liegenden E ergibt dies ein L an seinem Ausgang, was wiederum das rechts liegende NAND veranlaßt, seinen Ausgang auf H zu halten. A liegt also wie beim ersten Fall auch auf H-Pegel.

E wechselt von L- auf H-Pegel

Die bisher noch durchlässige Diode D sperrt, der über R heranfließende Strom füllt nun mehr oder weniger langsam den Kondensator C. Solange die Spannung, auf die er geladen wurde, noch unterhalb von U_{OL} liegt, liest das linke NAND noch ein L und gibt an seinem Ausgang daher zusammen mit dem auf H liegenden E ein H aus, woraus wiederum das rechte NAND ein L an

seinem Ausgang macht. Sobald nun aber die Spannung in C über U_{OL} steigt, ändert sich dies; ab einem bestimmten Wert, spätestens aber bei U_{OH}, liest das linke NAND ein H, woraus es an seinem Ausgang dann ein L macht, was dann das rechte NAND dazu veranlasst, A auf H zu setzen.

Zusammenfassung

Die Schaltung besitzt einen stabilen und einen temporären Zustand. Solange E auf L liegt, ist die Schaltung stabil, und an ihrem Ausgang A liegt ein H. Sobald nun aber E einen LH-Wechsel durchmacht, geht die Schaltung in ihren temporären Zustand über, zieht vorübergehend A auf L, um ihn dann nach einer durch die Werte von R, C sowie den Schaltpunkten des linken NAND's vorgegebenen Zeit wieder auf H zu ziehen und gleichzeitig wieder in ihren stabilen Zustand zurückzukehren.

Teilaufgabe 2

≫ Nehmen Sie die Signalverläufe an den Meßpunkten MP1 bis MP4 oszillographisch auf!

Nachdem wir die Pegel an MP1 bis MP4 an den Eingang des Oszillographen angelegt hatten, erhielten wir die Anzeigen aus Abbildung 3.

Teilaufgabe 3

≫ Nehmen Sie die Abhängigkeit $t = f(R)$ mit C als Parameter auf und stellen Sie sie grafisch dar.

Für t lasen wir am Oszillographen folgende Werte ab:

	t in μs		
R in kΩ	$C = 1\,\text{nF}$	$C = 10\,\text{nF}$	$C = 100\,\text{nF}$
0,33	0,1	0,4	(3)
1,1	0,2	1,5	14
3,3	0,4	4	37
5,1	0,6	5,2	52
10	0,8	7,5	75
33	1,15	11	110
∞	1,6	12	130

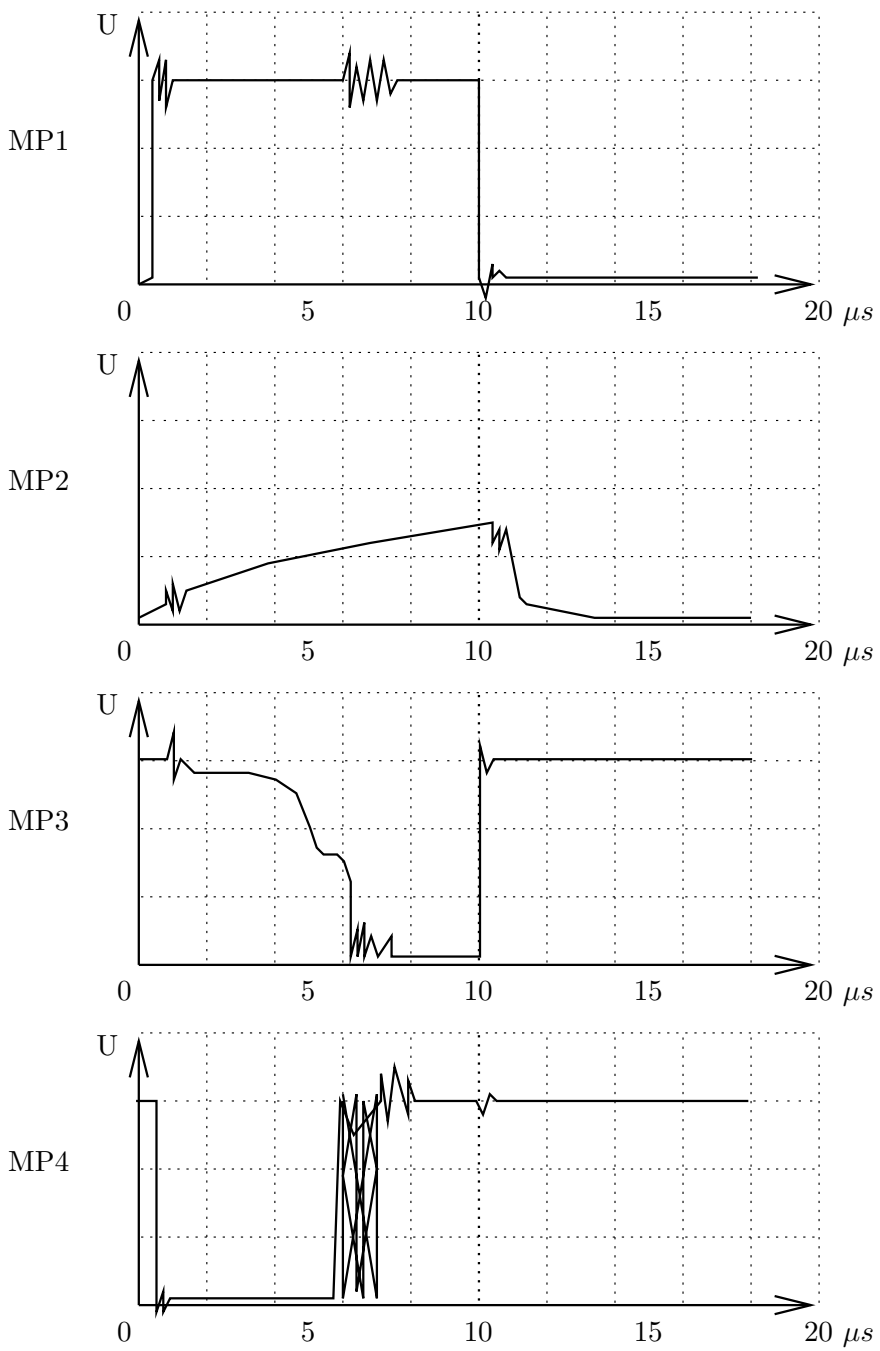


Abbildung 3: Anzeige des Oszillographen

Die grafische Darstellung erfolgt im Anhang des Protokolls.

Der Versuch verlief – unter Berücksichtigung gewisser Ungenauigkeiten beim Ablesen – erfolgreich.

Teilaufgabe 4

≫ Leiten Sie aus den Meßwerten eine Näherungsformel für $t = f(R, C)$ ab!

An den gemessenen Werten läßt sich ein Zusammenhang mit R und C feststellen. Wir nehmen an, daß t proportional zu dem Produkt $R \cdot C$ ist. Daraus ergibt sich dann die (vorgegebene) Formel:

$$t = k \cdot C \cdot \frac{R \cdot R_\infty}{R + R_\infty}$$

mit R_∞ als Innenwiderstand der Gatter und k als Proportionalitätsfaktor.

Um k und R_∞ zu bestimmen, setzen wir nun für zwei verschiedene Widerstände (wir nehmen $R = 1{,}1\,\mathrm{k\Omega}$ und $R = 33\,\mathrm{k\Omega}$, um die Abweichungen möglichst gering zu halten) und je alle drei C-Werte die gemessenen Zeiten ein. Um die Berechnung zu vereinfachen, substituieren wir $l = k \cdot R_\infty$:

Für $C = 1\,\mathrm{nF}$ ergeben sich folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} 0{,}2\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 1{,}1\,\mathrm{k\Omega}}{(1{,}1\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 1\,\mathrm{nF}} \\ 1{,}15\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 33\,\mathrm{k\Omega}}{(33\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 1\,\mathrm{nF}} \end{aligned}$$

$$\text{Lösung:} \qquad l = 1{,}375\,\mathrm{k\Omega} \qquad R_\infty = 6{,}464\,\mathrm{k\Omega}$$

Für $C = 10\,\mathrm{nF}$ ergeben sich folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} 1{,}5\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 1{,}1\,\mathrm{k\Omega}}{(1{,}1\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 10\,\mathrm{nF}} \\ 11\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 33\,\mathrm{k\Omega}}{(33\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 10\,\mathrm{nF}} \end{aligned}$$

Lösung: $l = 1{,}407\,\mathrm{k\Omega}$ $R_\infty = 9{,}221\,\mathrm{k\Omega}$

Für $C = 100\,\mathrm{nF}$ ergeben sich folgende Gleichungen:

$$\begin{aligned} 14\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 1{,}1\,\mathrm{k\Omega}}{(1{,}1\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 100\,\mathrm{nF}} \\ 110\,\mu\mathrm{s} &= \frac{l \cdot 33\,\mathrm{k\Omega}}{(33\,\mathrm{k\Omega} + R_\infty) \cdot 100\,\mathrm{nF}} \end{aligned}$$

Lösung: $l = 1{,}441\,\mathrm{k\Omega}$ $R_\infty = 10{,}219\,\mathrm{k\Omega}$

Als Mittelwerte ergeben sich daraus:

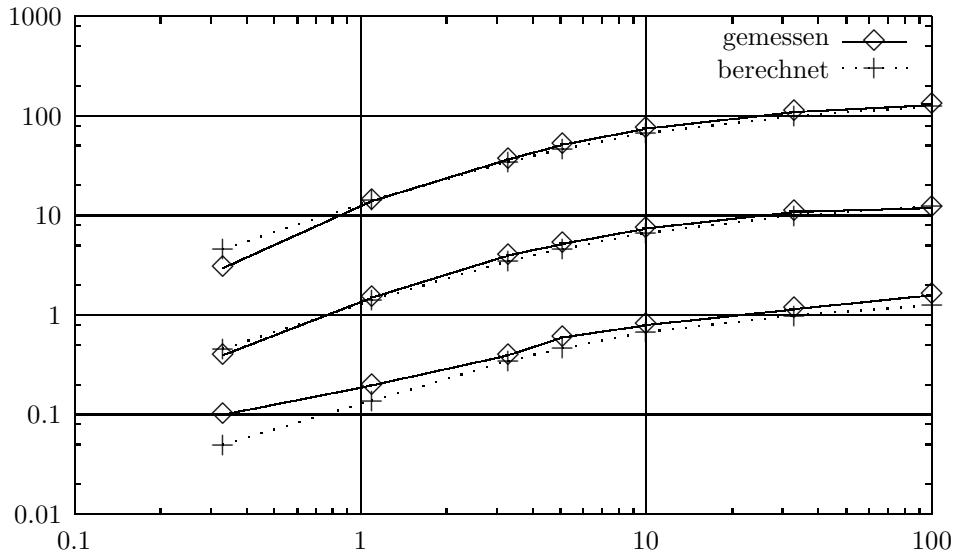
$$l = 1{,}261\,\mathrm{k\Omega} \quad \text{und} \quad R_\infty = 8{,}635\,\mathrm{k\Omega}$$

Damit kommen wir auf folgende Näherungsformel (wir behalten die Vereinfachung durch die Substitution bei):

$$\boxed{t[\mu\mathrm{s}] = 1{,}261 \cdot C[\mathrm{nF}] \cdot \frac{R[\mathrm{k\Omega}]}{R[\mathrm{k\Omega}] + 8{,}635}}$$

Wir stellen nun die mit der Formel berechneten Werte den gemessenen gegenüber:

R in kΩ	t in µs					
	$C = 1\,\mathrm{nF}$		$C = 10\,\mathrm{nF}$		$C = 100\,\mathrm{nF}$	
	gem.	ber.	gem.	ber.	gem.	ber.
0,33	0,1	0,05	0,4	0,46	(3)	4,64
1,1	0,2	0,14	1,5	1,43	14	14,25
3,3	0,4	0,35	4	3,49	37	34,87
5,1	0,6	0,47	5,2	4,68	52	46,82
10	0,8	0,68	7,5	6,77	75	67,67
33	1,15	1,00	11	10,00	110	99,95
∞	1,6	1,26	12	12,61	130	126,10

Die berechneten Werte sind zusätzlich zu den gemessenen im angehängten Diagramm eingetragen.

Anhang: Diagramm zu Aufgabe 3