

電子情報工学実験報告
実験 6 IC のスイッチング速度

報告者：5D-25 永安 佑希允
共同実験者：林直輝，吉澤泰士
指導教官：弘畑教官

実験日：1999 年 6 月 26 日

1 目的

代表的な TTL-IC である SN7404 のスイッチング速度を測定し，標準的な IC の立ち上がり時の遅延時間 (t_{dr}) と立ち下がり時の遅延時間 (t_{df}) についての理解を深める。

2 原理

基本的な IC 回路である NOT 回路 (極性反転回路) の入出力特性を図 1 に示す。但し，入力信号は理想矩形パルスであると仮定する。

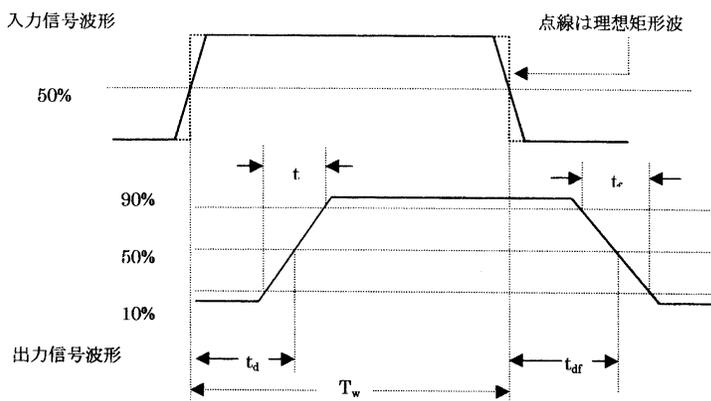


図 1: IC の入出力特性

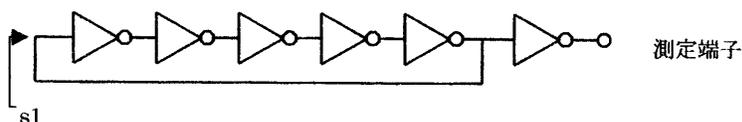
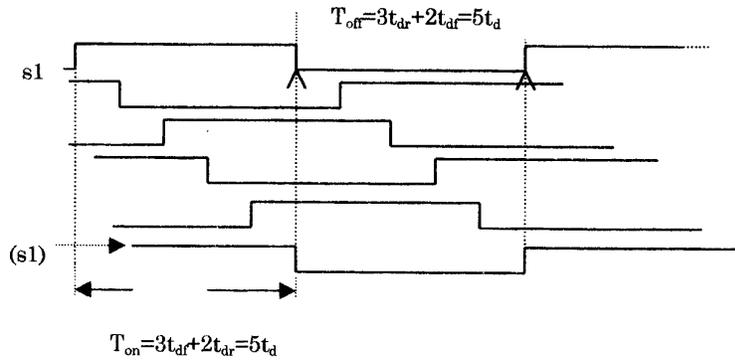


図 2: 測定回路

この図のように一般に NOT,NAND,NOR 回路などの IC ゲート回路では入力波形に対して出力波形は入力の立ち上がり時と，立ち下がり時にそれぞれ t_{dr},t_{df} ns の遅延を生じる。この遅延時間は，飽和型のスイッチング素子である TTL ゲート回路内のいくつかのトランジスタが飽和状態から遮断状態へと (あるいはその逆に) 状態を遷移し安定状態になるのに要する時間が主なものである。その他に回路内外の配線間の静電容量なども影響を及ぼすが，これは回路の配線状況によって変化する。

この遅延時間は，一般に伝搬遅延時間 (propagation delay time : t_d) と呼ばれ， t_d によって定義されている。この他にゲート回路のパルスの応答特性を示す量として t_r,t_f がある。

回路設計時には使用する IC の伝搬遅延時間を調べ確認する必要があるが，伝搬遅延時間は数ナノ秒であり，理想矩形パルスを用いた測定回路の作成は困難な場合が多い。この場合，図 2 のような回路を



(すべての回路の $t_{dr}=t_{df}=t_d$ と仮定した場合のタイミングチャート)

$$T=T_{on}+T_{off}=10t_d \quad \text{故に } t_d=T/10$$

図 3: 測定回路

構成して伝搬遅延時間を測定することができる。この図は NOT 回路を奇数段接続し最終出力 (s1) を入力端に帰還させた回路である。

さて、この回路で確実に測定できる時間は、繰り返し周期 T 、またかなりの精度で測定できるものは T_{on}, T_{off} である。今 T, T_{on}, T_{off} ($T = T_{on} + T_{off}$) の値を測定し得たとする。図 3 のタイミングチャートから明らかなように、全ての回路の t_{dr}, t_{df} はそれぞれ等しいと仮定してこれを解くと、

$$T_{on} = 3t_{df} + 2t_{dr} \quad (1)$$

$$T_{off} = 2t_{df} + 3t_{dr} \quad (2)$$

$$t_{df} = \frac{3T_{on} - 2T_{off}}{5} \quad (3)$$

$$t_{dr} = \frac{3T_{off} - 2T_{on}}{5} \quad (4)$$

また、更に $t_{dr} = t_{df} = t_d$ と仮定すると、

$$t_d = \frac{T}{10} \quad (5)$$

3 測定データの評価

一般に、製造される IC 素子の各種の特性値は最大値、代表値、最小値が指定されているが、ある場合には実際に使用する IC の特性を実測し、現実に使用する IC の特性値の最小値、最大値、平均値、平均値からの広がり具合を知る必要が生じることがある。

n 個の素子を測定して得られた値 (基本データ) が x_1, x_2, \dots, x_n とするとき, 平均値

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

このデータの広がりの状況は標準偏差より推測する。標準偏差は,

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - a)^2}{n}} \quad (7)$$

4 実験と計算

多数の回路の T, T_{on} を測定し t_{df}, t_{dr}, t_d を求める。また, それらの平均値と標準偏差を求める。各項目間の関連は,

$$T_{off} = T_{on} + T \quad (8)$$

$$t_{df} = \frac{3T_{on} - 2T_{off}}{5} = T_{on} - 0.4T \quad (9)$$

$$t_{dr} = \frac{3T_{off} - 2T_{on}}{5} = 0.6T - T_{on} \quad (10)$$

$$t_d = \frac{T}{10} \quad (11)$$

となっており, まとめると表 1 のような結果を得た。

	T	T_{on}	t_{df}	t_{dr}	t_d
飯田	47.8	22.5	3.38	6.18	4.78
加藤	35.5	17.0	2.80	4.30	3.55
ソウザ	46.6	22.1	3.46	5.86	4.66
高塩	47.5	22.0	3.00	6.50	4.75
佐々木	45.5	20.6	2.40	6.70	4.55
石川	28.9	14.6	3.04	2.74	2.89
吉村	35.8	16.6	2.28	4.88	3.58
内田	47.9	28.8	9.64	-0.06	4.79
長谷川	49.0	22.9	3.30	6.50	4.90
助川	35.7	17.2	2.92	4.22	3.57
坂口	48.1	22.6	3.36	6.26	4.81
土井	47.4	22.1	3.14	6.34	4.74
安藤	36.0	16.7	2.30	4.90	3.60
木植	48.3	23.0	3.68	5.98	4.83
小池	35.6	16.0	1.76	5.36	3.56
寺門	46.7	21.5	2.82	6.52	4.67
黒澤	46.7	21.8	3.12	6.22	4.67
高山	47.9	22.8	3.64	5.94	4.79
大原	45.6	20.9	2.66	6.46	4.56
園部	35.8	16.8	2.48	4.68	3.58
弓野	36.0	17.2	2.80	4.40	3.60
高橋	36.0	17.2	2.80	4.40	3.60
佐藤	47.1	22.9	4.06	5.36	4.71
田口	34.2	17.8	4.12	2.72	3.42
管野	40.9	26.2	9.84	-1.66	4.09
小室	47.3	23.2	4.28	5.18	4.73
飛田	47.0	23.6	4.80	4.60	4.70
菊地	35.5	18.1	3.90	3.20	3.55
平均値	42.2	20.5	3.64	4.81	4.22
標準偏差	6.21	3.42	1.85	1.98	0.62

表 1: 実験結果