

# 实验八 TTL 与非门的参数测量

CastleStar14654

实验日期: 2020 年 12 月 7 日 提交日期: 2020 年 12 月 14 日

## 1 实验目的

- 验证与非门的逻辑功能;
- 测量 TTL 与非门参数。

## 2 仪器设备

SS1792F 可跟踪直流稳定电源; KEITHLEY 2110 五位半双显示数字万用表; TDS1012C 数字存储示波器; 面包板。

74LS00 四与非门 1 只; 74LS161 二进制计数器 1 只; 1 kΩ 电阻 1 只; 2.2 kΩ 电位器 1 只。

## 3 实验原理

下面说明一下 TTL 与非门的电压传输特性及主要参数。

**与非门的电压传输特性** 见图 1, 为输出电压  $v_o$  随输入电压  $v_i$  的变化关系。图中相关物理量为输入低电平  $V_{iL}$ , 输入高电平  $V_{iH}$ , 输出低电平  $V_{oL}$ , 输出高电平  $V_{oH}$ , 关门电平  $V_{OFF}$ , 低电平干扰容限  $V_{NL} = V_{OFF} - V_{iL}$ , 高电平干扰容限  $V_{NH} = V_{iH} - V_{ON}$ , 门限电平  $V_T = (V_{ON} + V_{OFF})/2$ 。

电压传输特性描述了与非门的静态特性。 $V_{OFF}$  和  $V_{ON}$  的差值越小, 与非门的电压传输特性越陡直、静态开关性能越好、抗干扰能力越强。

**空载功耗** 是与非门不接外部负载时, 电源电流  $I_c$  与电源电压  $E_c$  的乘积, 可估算电路内耗。通常只测定输入端全开路和全短路时的功耗  $P_{ON}$  和  $P_{OFF}$  (静态功耗)。测  $P_{OFF}$  时, 在输入端全短路后要接地。 $P_{ON}$  测试电路见图 2。

**输入短路电流  $I_{is}$**  指与非门的一个输入端接地, 其余输入端接高电平或开路时, 流向接地端的电流。在实际电路中该电流对前级电路是灌电流负载。测试电路见图 3。

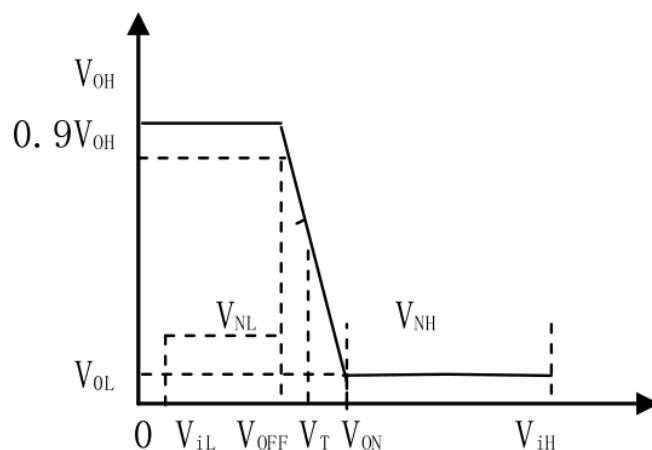


图 1: 与非门的电压传输特性

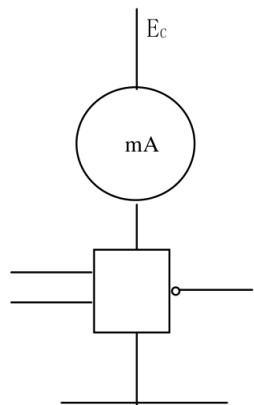


图 2:  $P_{ON}$  的测试电路

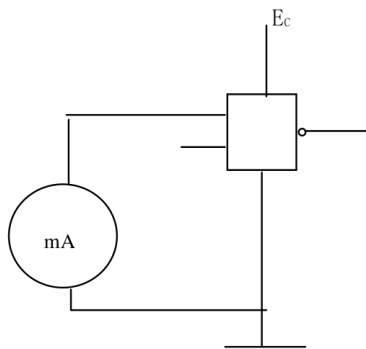


图 3:  $I_{is}$  的测试电路

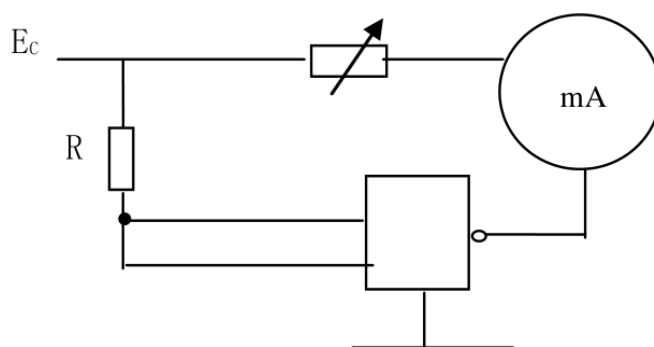


图 4: 扇出系数  $N_c$  的测试电路

**输出低电平  $V_{oL}$  和输出高电平  $V_{oH}$**  分别指在输入为高电平和低电平时，输出端接额定电流负载（相当于八个与非门的  $I_{is}$ ）时与非门的输出电压值。

**扇出系数  $N_c$**  是说明与非门输出端负载能力的参数，表示驱动同类门的数目。测试电路见图 4。测试时，调节  $R_L$ ，使  $V_o = 0.35 \text{ V}$ ，测量  $I_o$  值。 $N_c = I_o / I_{is}$ ，通常对典型电路  $N_c \geq 8$ 。

**平均传输延迟时间  $t_{pd}$**  指与非门的输出信号的延时，如图 5 所示。图中  $t_{rd}$  为导通延迟时间， $t_{fd}$  为截止延迟时间，两者平均值称为与非门的平均传输延迟时间，记作  $t_{pd}$ 。

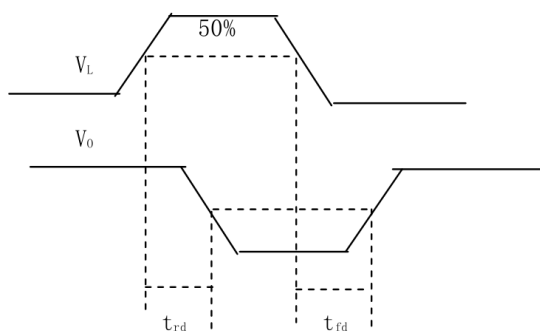


图 5: 延迟时间示意

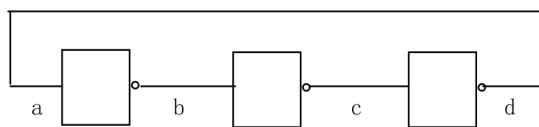


图 6: 环形振荡器

## 4 方法步骤

### 4.1 验证与非门的逻辑功能及基本参数

将电源电压调至 5 V，接好电路检查器件功能是否正常。

1. 各门的输入端全部悬浮，用万用表直流 10 V 档测各输出端（对地）电压。此时，与非门应输出低电平（ $\leq 0.35$  V）。
2. 分别将每个门的输入端接地，用同样方法测各对应输出端电平。此时，其输出应为高电平。
3. 根据原理图测量与非门如下参数：(a) 空载功耗  $P_{ON}$  和  $P_{OFF}$ 、(b) 输入短路电流  $I_{is}$ 、(c) 扇出系数  $N_c$ 。

### 4.2 测量与非门的平均传输延迟时间 $t_{pd}$

1. 利用门电路的延迟效应，用三级与非门组成环形振荡器产生矩形波。电路示意图见图 6。由延迟效应，周期  $T = 6t_{pd}$ 。
2. 用计数电路将上述信号分频。
3. 用双踪示波器分别观测  $C_P, Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, C_y$  各端波形，得到时序波形图。
4. 用  $Q_D$  的输出脉冲参数计算  $t_{pd}$ 。

## 5 数据分析

### 5.1 验证与非门的逻辑功能

**各输入端悬浮时** 四个输出端的电平分别为 0.13646 V, 0.14620 V, 0.15495 V, 0.14631 V，均小于 0.35 V，为低电平。

**分别将每个门的输入端接地** 以仅将输入端  $A_1$  接地为例，得到  $U(Y_1) = 4.4655$  V。其他输入端单独接地得到的对应输出端电平也均在 4.46 V 左右，为高电平。

### 5.2 测量与非门的基本参数

**空载功耗** 测量  $P_{ON}$ 。电源电平  $E_c = 5.0456$  V，电源电流  $I_c = 2.7527$  mA。得到  $P_{ON} = 13.889$  mW。

测量  $P_{OFF}$ ，将所有输入端短路。电源电平  $E_c = 5.0486$  V，电源电流  $I_c = 0.9073$  mA。得到  $P_{ON} = 4.581$  mW。

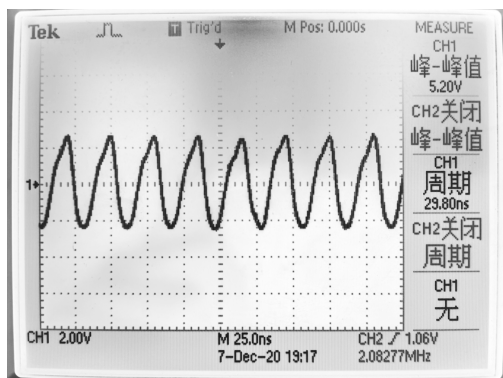
**输入短路电流** 电路图见图 3，测得  $I_{is} = 0.2250$  mA。

**扇出系数**  $V_o = 0.35$  V 时， $I_o = 7.7388$  mA。得到  $N_c = 34.39$ 。

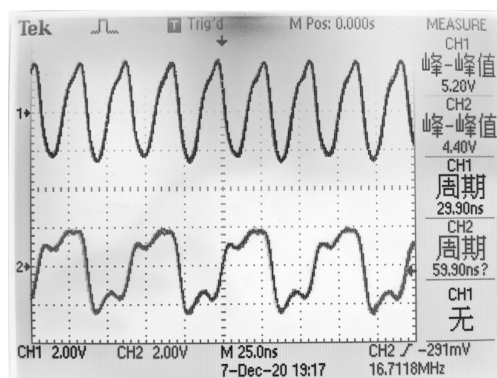
### 5.3 测量与非门的平均传输延迟时间 $t_{pd}$

$C_P, Q_A, Q_B, Q_C, Q_D, C_y$  各端波形见图 7。各图中均有  $C_P$  波形作为参考。

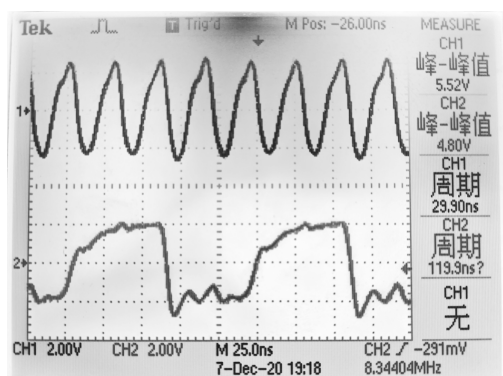
根据  $Q_D$  的周期为  $T_D = 478.8$  ns，可以得到震荡波的周期为  $T = \frac{T_D}{2^4} = 29.93$  ns。因此，平均传输延迟时间  $t_{pd} = \frac{T}{6} = 4.988$  ns。



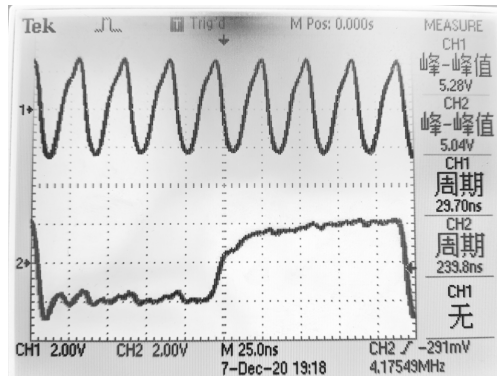
(a)  $C_P$



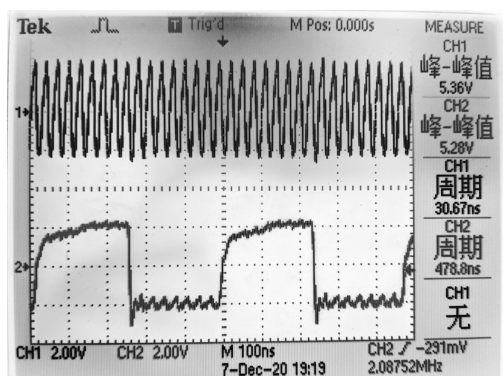
(b)  $Q_A$



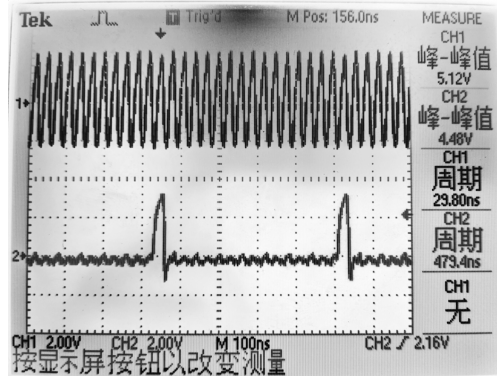
(c)  $Q_B$



(d)  $Q_C$



(e)  $Q_D$



(f)  $C_y$

图 7: 时序波形图

## 6 思考题

1. 测量与非门空载功耗便于估算实际电路的内耗。同时，实际电路工作时也并不是总是处于导通状态，空载功耗的计入能更好反映工作状态。

与非门功耗与信号频率有关，是因为在信号动态变化时，输出端的两个三极管会出现短暂的同时导通，从而相比稳态功耗增加。这一功耗会随信号频率的上升而增加。

2. 噪声容限与输入电压、环境温度等有关。
3. 一级与非门组成直耦反馈环路理论上可以形成  $T = 2t_{pd}$  的震荡，但其周期短、难以观测。  
偶数个与非门组成环路时，注意到，信号经过单个与非门，等效于延迟  $t_{pd}$  后反相。若环路为偶数个与非门，则信号传输一圈后值不变，从而系统处于一个稳态，不会产生震荡。