

# 现代电子电路基础及实验

## TTL 与非门的参数测量

北京大学物理学院



2019 年 4 月 14 日

### 目录

1	实验目的	1
2	实验原理	1
2.1	电压传输特性及干扰能力	1
2.2	空载功耗	2
2.3	输入短路电流 ( $I_{is}$ )	3
2.4	输入交叉漏电流 ( $I_{iH}$ )	3
2.5	输出低电平 $V_{oL}$ 和输出高电平 $V_{oH}$	3
2.6	扇出系数 $N_c$	4
2.7	平均传输延迟时间 $t_{pd}$	5
3	实验器材	5
4	实验内容与方法	6
4.1	验证与非门的逻辑功能	6
4.2	测量与非门的平均传输延迟时间 $t_{pd}$	6
5	实验数据	7
6	思考题	10

## 1 实验目的

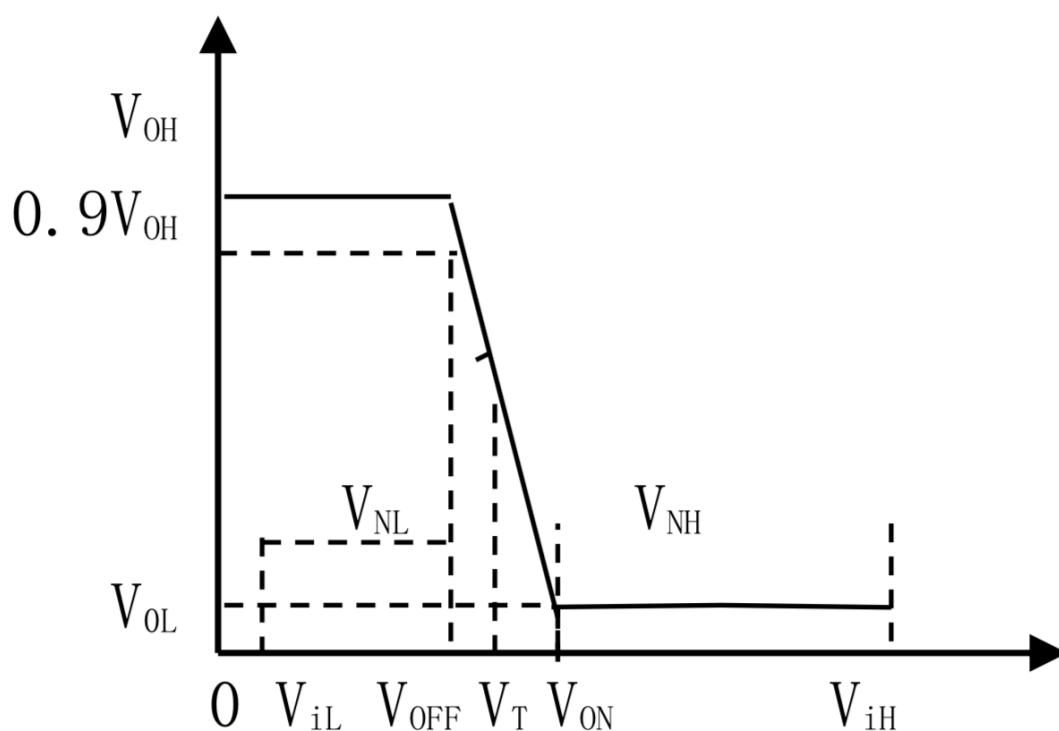
- 了解 TTL 与非门参数的意义和使用注意事项
- 学习 TTL 非门参数的测量方法

## 2 实验原理

TTL 与非门的电压传输特性及主要参数。

### 2.1 电压传输特性及干扰能力

与非门的输出电压  $V_o$  随输入电压  $V_i$  的变化关系，称为电压传输特性。如下图所示。



各参数的意义为：

- $V_{iL}$ —输入低电压
- $V_{iH}$ —输入高电平
- $V_{oL}$ —输出低电平

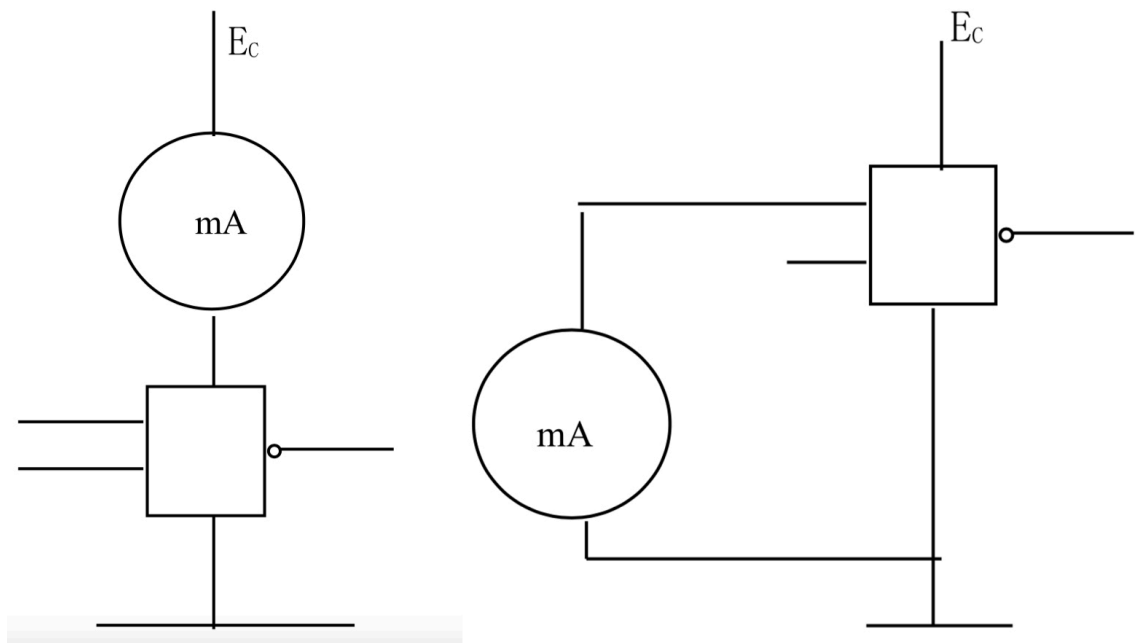
- $V_{oH}$ —输出高电平
- $V_{OFF}$ —关门电平
- $V_{NL}$ —低电平干扰容限，是保证与非门输出为高电平 ( $\geq 0.9V_{oH}$ ) 的最大允许干扰电压，其值  $V_{NL} = V_{OFF} - V_{iL}$
- $V_{NH}$ —高电平干扰容限，是保证与非门输出为低电平 ( $V_{oL}$ ) 的最大允许干扰电压，其值  $V_{NH} = V_{iH} - V_{ON}$
- $V_T$ —门限电平，其值为  $V_T = \frac{V_{ON} + V_{OFF}}{2}$

电平传输特性描述了与非门的静态特性， $V_{OFF}$  和  $V_{ON}$  的差值愈小，则表明与非门的电压传输特性愈陡直，静态开关性能愈好，其抗干扰能力愈强。

## 2.2 空载功耗

空载功耗是与非门不接外部负载时，电源电流  $I_0$  与电源电压  $E_0$  的乘积，它是估算电路内耗的参量。通常只测定静态功耗即在输入端全开路和全短路时的功耗  $P_{ON}$  和  $P_{OFF}$ ，前者为空载导通功率，后者为空载截止功率。注意： $P_{OFF}$  输入端全短路后要接地。使用时应注意：

- $P_{ON} > P_{OFF}$
- 有载功耗大于空载功耗
- 动态功耗大于静态功耗，且动态功耗随工作频率升高而增大

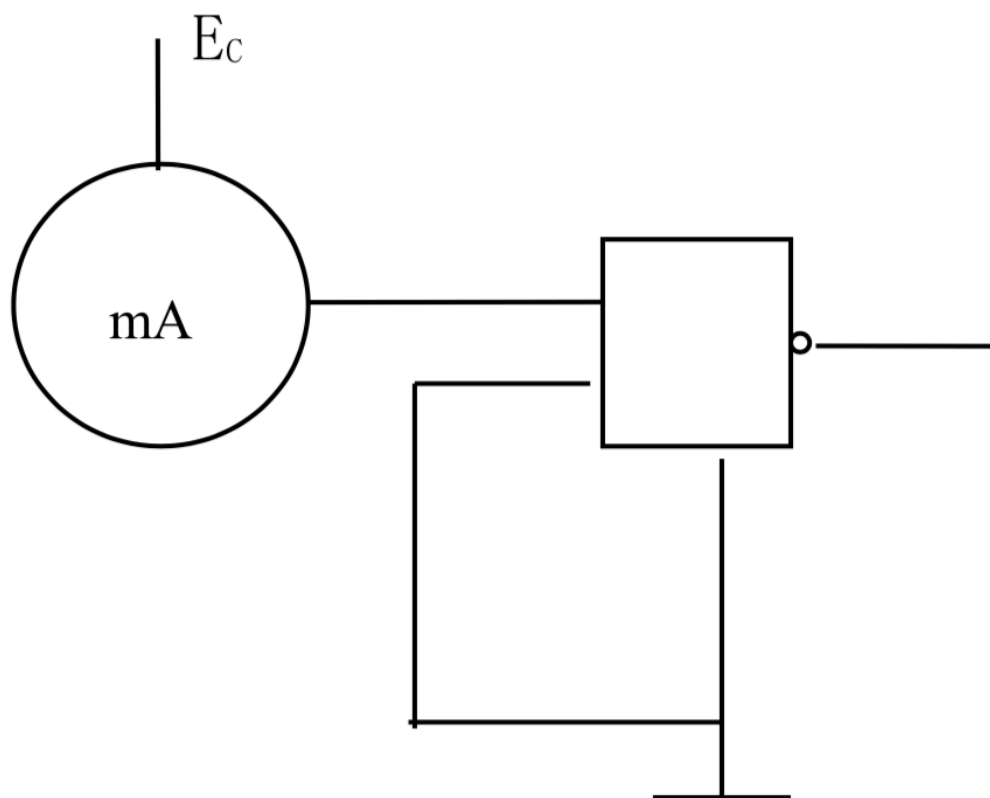


## 2.3 输入短路电流 ( $I_{is}$ )

与非门的一个输入端接地，其余输入端接高电平或开路时，流向接地端的电流称为输入短路电流。在实际电路中该电流对前级电路是灌电流负载，其大小将直接影响前级电路的工作状态，对此对输入短路电流应加以限制，例如 74HC 与非门的  $I_{is} \leq 2.0mA$ ，741IS 系列与非门的  $I_{is} \leq 0.4mA$ ，等等。

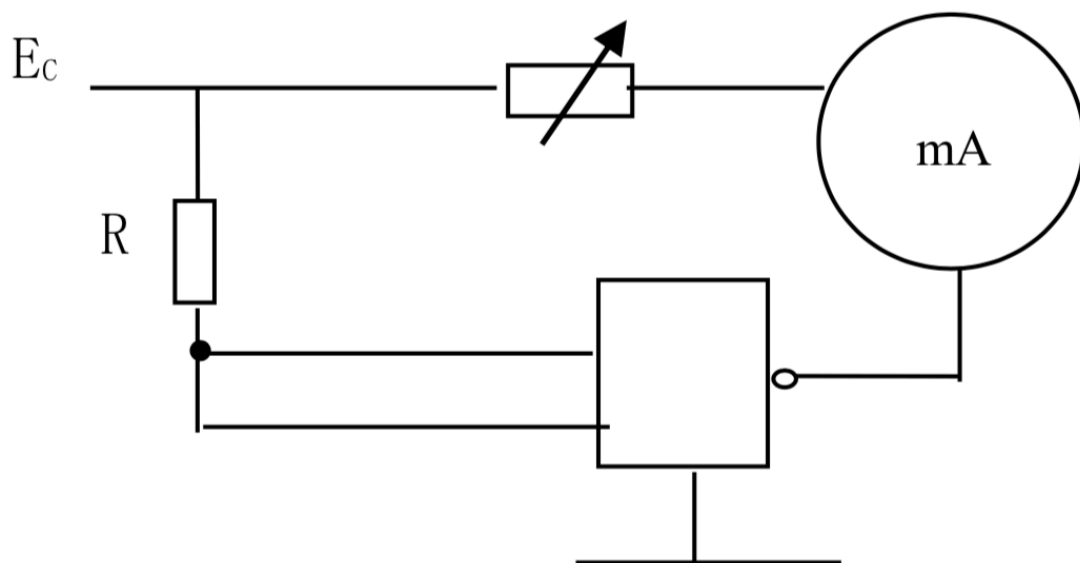
## 2.4 输入交叉漏电流 ( $I_{iH}$ )

$I_{iH}$  是指与非门的一个输入端接高电平，其余输入端接地时，流入高电平输入端的电流。在实际电路中， $I_{iH}$  对前级电路为拉电流负载，通常  $I_{iH} \leq 50\mu A$ 。



## 2.5 输出低电平 $V_{oL}$ 和输出高电平 $V_{oH}$

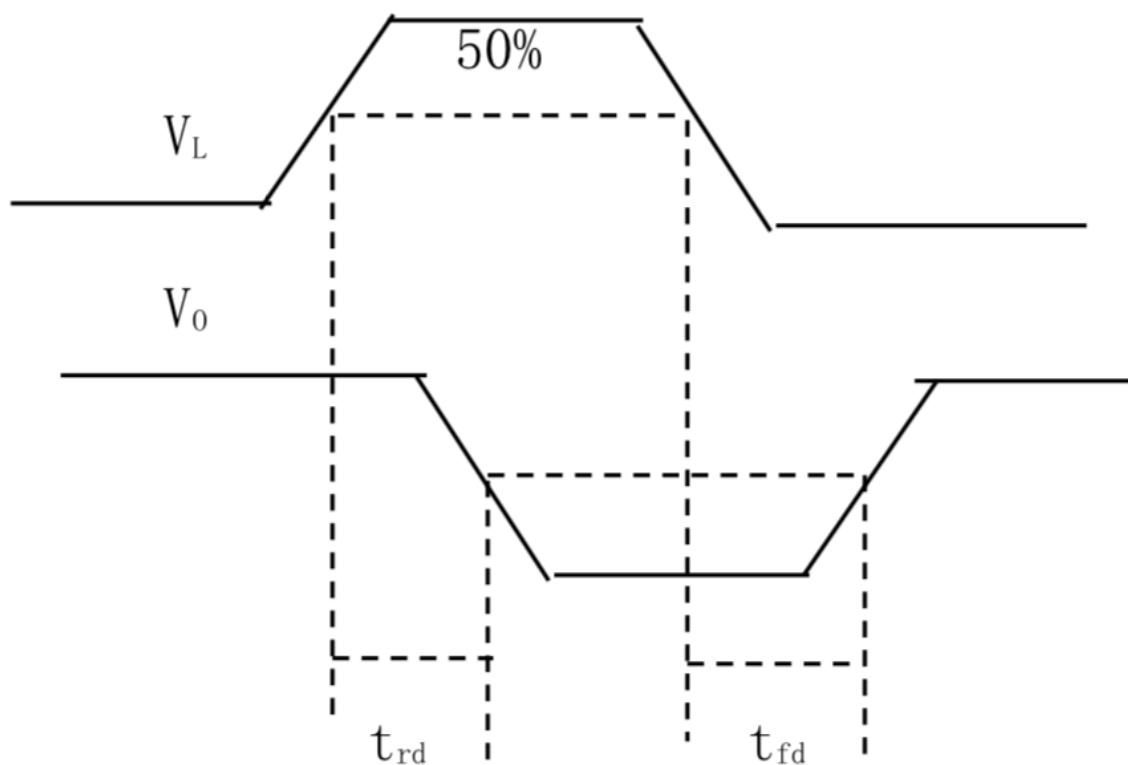
$V_{oL}$  是指当输入为高电平，输出端接额定灌电流负载（相当于八个与非门的  $I_{is}$ ）时与非门的输出电压值。测试电路如下图所示， $I_L = 8I_{is}$ 。图中  $R=1K$ ，为测试方便，输入端也可开路。



$V_{oH}$  是指了当输入端为低电平、输出端接额定拉电流负载 (相当于八个与非门的  $I_{iH}$  时, 与非门的输出电压值。)

## 2.6 扇出系数 $N_c$

$N_c$  是与说明与非门输出端负载能力的参数, 它表示驱动同类门的数目, 测试电路和上图相同, 测试方法: 调节  $R_L$ , 使  $V_{oL}=0.35V$ , 测量  $I_L$  值,  $N_c = \frac{I_L}{I_{is}}$ , 通常对典型电路  $N_c \geq 8$ 。



## 2.7 平均传输延迟时间 $t_{pd}$

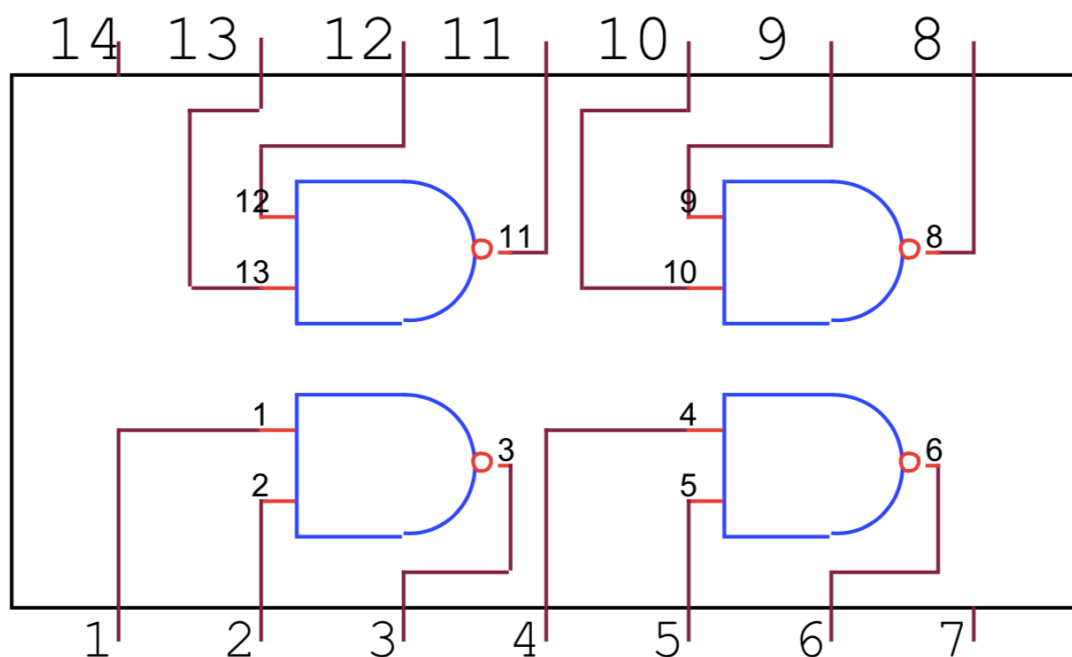
传输延迟时间是指与非门的输出信号的延时。如上图所示，图中  $t_{rd}$  为导通延迟时间， $t_{fd}$  为截止延迟时间。 $t_{rd}$  和  $t_{fd}$  的平均值称为与非门的平均传输延迟时间，记作  $t_{pd} = \frac{t_{rd} + t_{fd}}{2}$ 。

$t_{pd}$  是门电路的重要参量。由于存在延迟时间，一方面可能产生有害的伪信号，另一方面也可利用延时的效应，组成某些电路（如环形振荡器）。

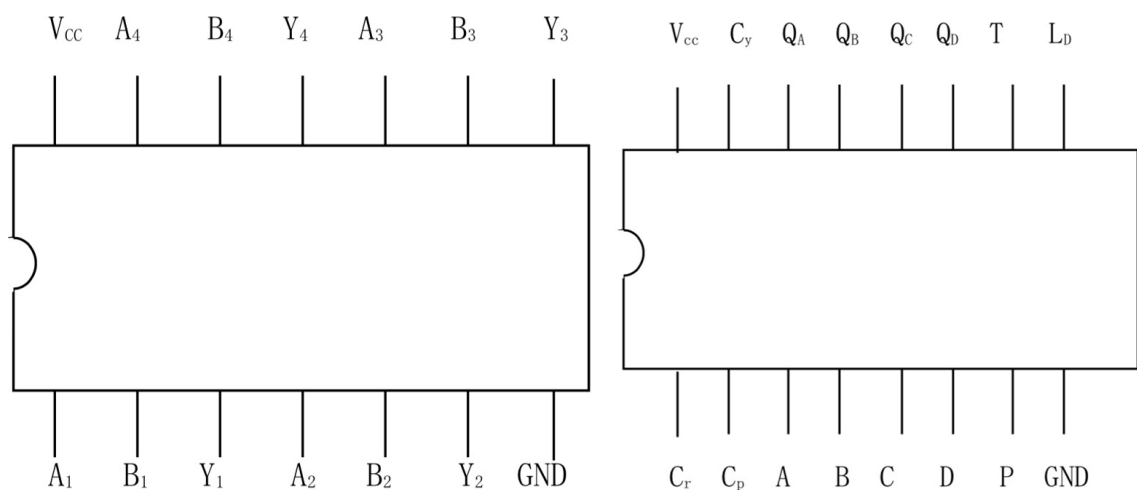
## 3 实验器材

双踪示波器，74LS00 四与非门，74LS163 二进制计数器，电阻 1K，电位器 2.2K。

下图是 74LS00 的内部逻辑。



该组件内含四个二输入的正逻辑与非门，外引线排列  $Y_i = \overline{A_i \cdot B_i}$ ，如左图所示。



74LS163 二进制计数器各引脚如右图所示。

## 4 实验内容与方法

### 4.1 验证与非门的逻辑功能

将电源电压调至 5V，接好电路检查器件功能是否正常。

- 各门的输入端全部悬浮，用万用表直流 10V 档测各输出端 (对地) 电压；此时，与非门应输出低电平 ( $\leq 0.35V$ )
- 分别将每个门的输入端接地，用同样方法测与非门的各个输出端；此时，其输出应为高电平
- 测与非门的以下参数
  - 空载功耗  $P_{ON}$  和  $P_{OFF}$
  - 输入短路电流  $I_{is}$
  - 交叉漏电流  $I_{iH}$
  - 扇出系数  $N_c$

### 4.2 测量与非门的平均传输延迟时间 $t_{pd}$

- 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，可知  $T = 6t_{pd}$

- 用计数电路将上述信号分频本实验选用 4 位同步式二进制计数器 74LS163 作为分频计数使用，外部引线排列见『实验器材』部分。按功能表接线，使 74LS163 工作于二进制计数状态。
- 用双踪示波器分别观测  $C_P$ ， $Q_A$ ， $Q_B$ ， $Q_C$ ， $Q_D$  和  $C_y$  各端波形，画出  $C_p$   $Q_A \sim Q_D$  和  $C_y$  的时序波形图，用  $Q_D$  的输出脉冲参数计算  $t_{pd}$  值

## 5 实验数据

给出实验内容 (1) 中的

- 空载功耗  $P_{ON}$  和  $P_{OFF}$
- 输入短路电流  $I_{is}$
- 交叉漏电流  $I_{iH}$
- 扇出系数  $N_c$

测量得到

$$E_0 = 5V, I_{ON} = 2.8630mA, I_{OFF} = 0.9573mA$$

计算得

$$P_{ON} = 14.315mW, P_{OFF} = 4.787mW$$

测量得到

$$I_{iS} = 0.2375mA, I_{iH} = 0mA(\text{无示数})$$

测量得到

$$V_{oL} = 0.16764V, V_{oH} = 4.8532V$$

$$I_L = 7.1364mA$$

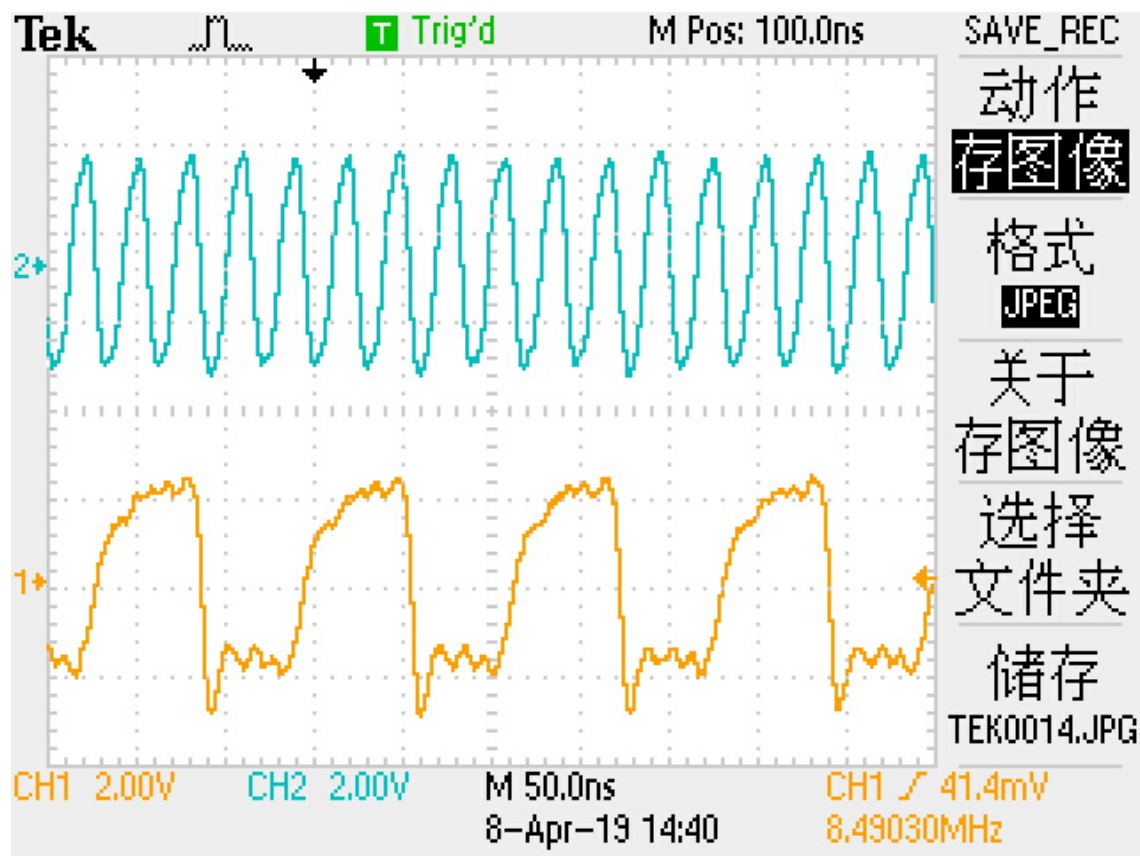
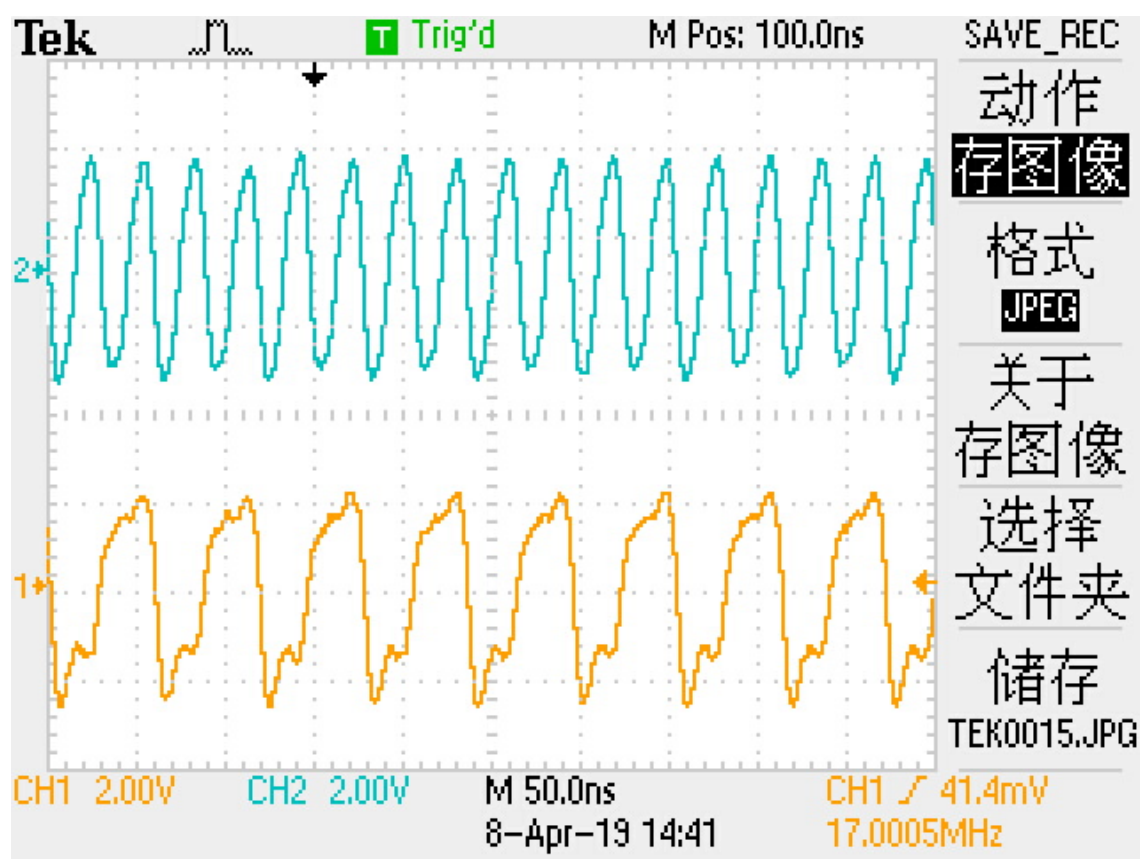
计算得

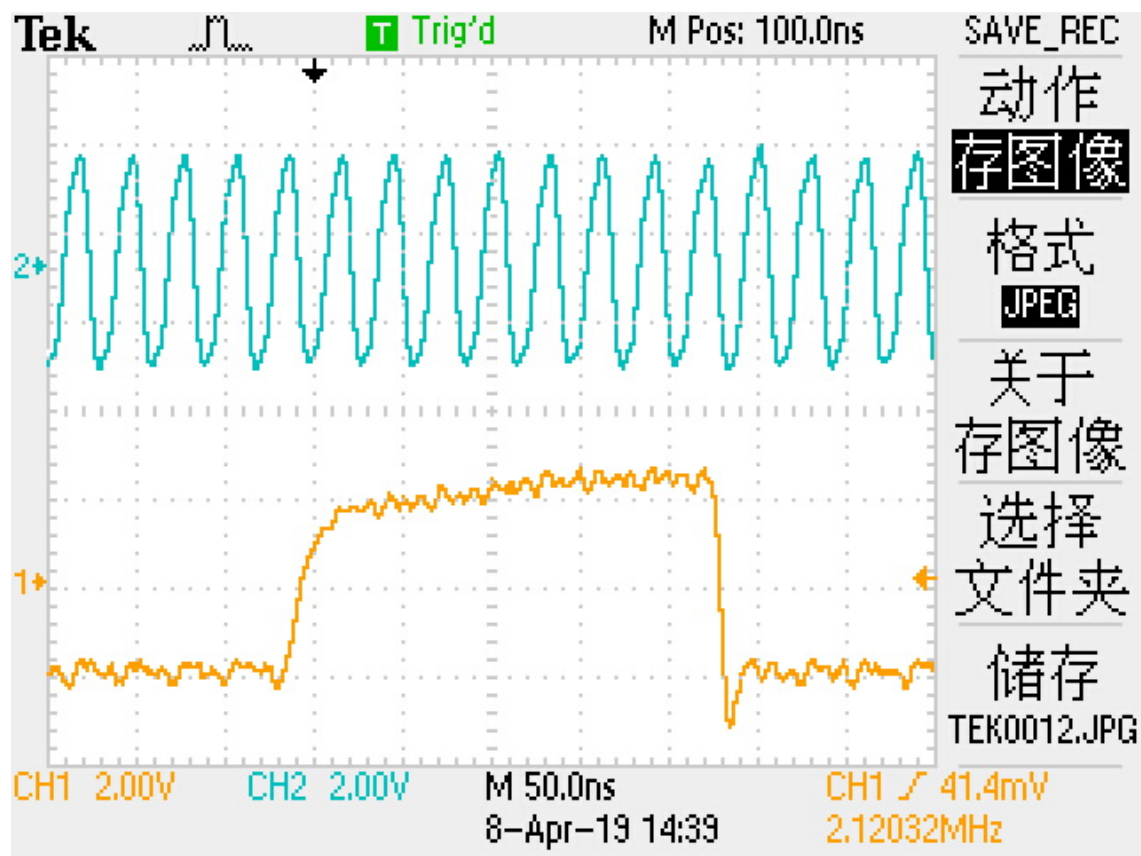
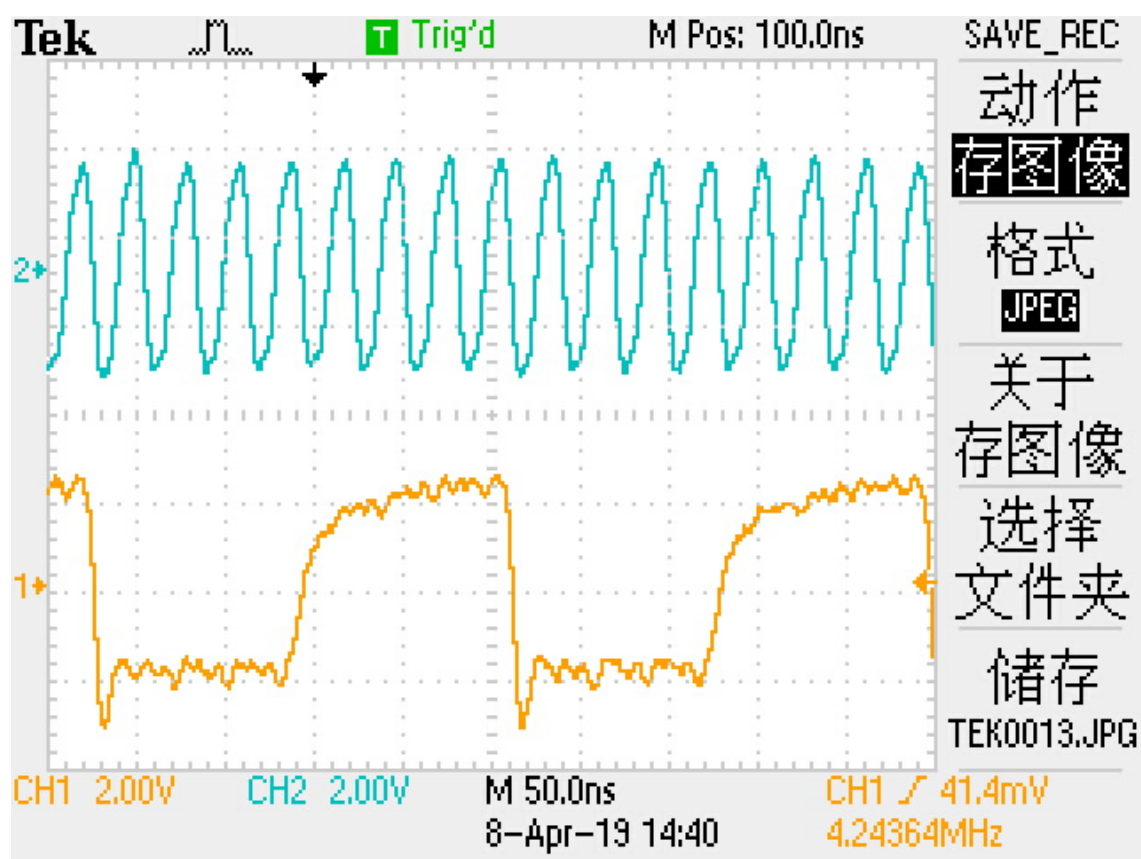
$$N_c = \frac{I_L}{I_{iS}} = 30.05$$

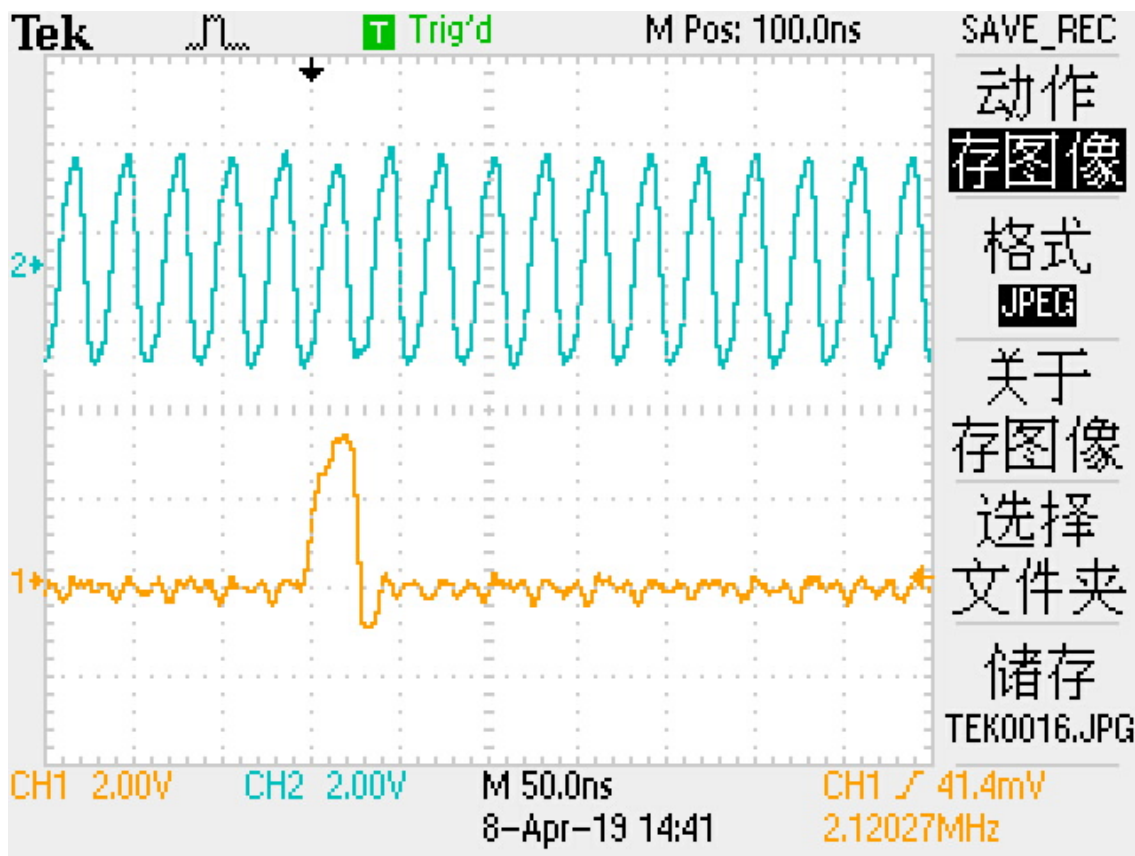
画出  $C_p$   $Q_A \sim Q_D$  和  $C_y$  的时序波形图，用  $Q_D$  的输出脉冲参数计算  $t_{pd}$  值。

如下图所示









五张图片中蓝色波形 (CH2) 为  $C_p$ , 黄色波形 (CH1) 分别为  $Q_A \sim Q_D$  和  $C_y$ 。测量得到  $Q_D$  的周期为  $\Delta T = 475ns$ , 对应于  $16 \times 6 = 96$  个  $t_{pd}$ 。计算得  $t_{pd} = 4.95ns$ 。

## 6 思考题

测量与非门的空载功耗有何实际意义? 为什么门电路的功耗与输入信号频率有关?

实际意义: 功耗也是门电路的特性指标之一。由于功耗随负载的不同而变化, 为了简便起见, 通常以空载功耗来表征。

与非门由低电平快速转变为高电平时, 其输出级的三极管会在很短的瞬间使电源和地之间出现一个低阻回路, 形成一个尖峰电流, 增加平均功耗。这将导致工作频率越高, 功耗越大。

与非门的噪声容限与哪些参量有关?

噪声容限分为低电平噪声容限  $V_{NL}$  和高电平噪声容限  $V_{NH}$ 。在由多个门电路相互连接组成的电路中, 前级门电路的输出就是后级门电路的输入, 所以比较前级

门电路的输出电压范围和后级门电路的开、关门电压就可以得到这两种噪声容限。即有

$$V_{NL} = V_{OFF} - V_{iL}, V_{NH} = V_{iH} - V_{ON}$$

本实验的环形振荡器是由三级与非门组成的直耦反馈环路，如果由一级或偶数级与非门组成直耦反馈环路，能否产生振荡？为什么？

仅由一级与非门组成直耦反馈环路不能产生振荡，因为信号经过这个系统无法形成稳定的  $2n\pi$  相位差。而当环形振荡器的级数为大于 1 的奇数时，信号经延迟后，原先的高电平变成低电平，原先的低电平变成高电平，就能形成振荡；若是偶数个，则经延迟后，原先的高电平还是高电平，原先的低电平还是低电平，不能形成振荡。