

## 实验二 门电路的电特性

2021 年秋季学期 自动化系

### 一、实验目的

1. 在理解 CMOS 门电路的工作原理和电特性基础上, 学习并掌握其电特性主要参数的测试方法。
2. 在理解 TTL 门电路的工作原理和电特性基础上, 学习并掌握其电特性主要参数的测试方法。
3. 学习查阅集成电路芯片数据手册。
4. 学习并掌握数字集成电路的正确使用方法。

### 二、预习任务

1. 查阅数字集成电路 CD4011、74HC00 和 74LS00 的数据手册。推荐网址 [www.ti.com](http://www.ti.com)。
2. 根据各项任务所要测量的门电路参数, 查阅并记录数据手册中给出的**主要参数及其测试条件**, 如: 输出高电平  $V_{OH}$ 、输出低电平  $V_{OL}$ 、输出低电平电流  $I_{OL}$  或传输延迟时间  $t_{PHL}$ 、 $t_{PLH}$  等。
3. 阅读数电教材 3.3.2, 并对照实验一必做任务 5 的波形, 其中 XY 模式下观测的波形即为 CMOS 反相器的电压传输特性曲线。试分析如何从曲线上读取反相器的阈值电压  $V_{TH}$ 、输入噪声容限  $V_{NH}$  和  $V_{NL}$ 。
4. 写出各测试电路中门电路的工作电压。
5. 写出各测试电路输入信号的类型、频率、电压值。
6. 列出各项任务记录数据的表格。
7. 根据必做任务 4 分析图 5 电路, 试着给出取样电阻  $R$  的阻值。

### 三、必做任务

#### 1. CMOS 与非门 CD4011 的电压传输特性

测试电路如图 1 所示,  $v_I$  是由函数信号发生器输出 100Hz、0~5V、对称性 50% 的锯齿波, 利用示波器的 XY 时基模式观测电压传输特性曲线。

记录曲线, 从曲线中读取并标注阈值电压  $V_{TH}$ 、输入噪声容限  $V_{NH}$  和  $V_{NL}$ 。

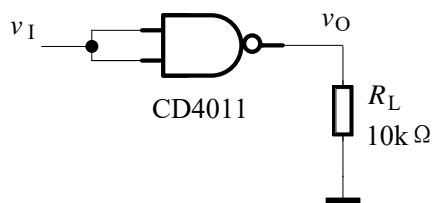


图 1 电压传输特性的测试电路

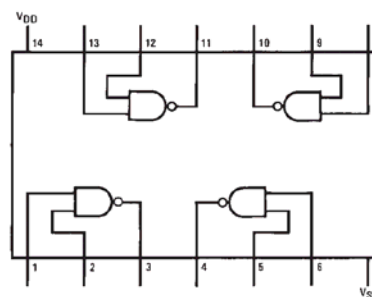


图 2 CD4011 的引脚图

#### 2. CMOS 与非门 CD4011 的低电平输出特性

测试电路如图 3 所示。

- (1) 改变  $R_L$  阻值，用逐点法画出 CMOS 与非门低电平输出特性曲线， $R_L$  的取值范围（参考值）如表 1 所示。
- (2) 测量  $V_{DD}$  的值，并计算 MOS 管的导通电阻  $R_{ON}$ 。

表 1

$R_L(\Omega)$	$\infty$	24 k	15k	10k	9.1k	8.2k	7.5 k	5.1k	4.7k	3.6k	2.4k
$V_O(V)$											
$I_{OL}(mA)$											

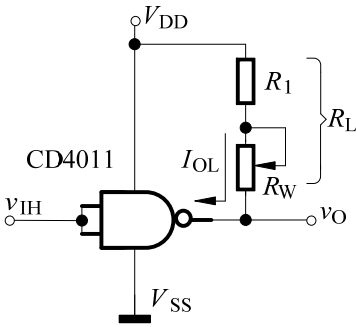


图 3 负载电流  $I_{OL}$  的测试电路

### 3. CMOS 与非门 CD4011 的传输延迟时间 $t_{PHL}$ 、 $t_{PLH}$

测试电路如图 4 (a) 所示， $v_I$  是频率为 20kHz 的方波。记录输入、输出波形和传输延迟时间  $t_{PHL}$ 、 $t_{PLH}$ 。

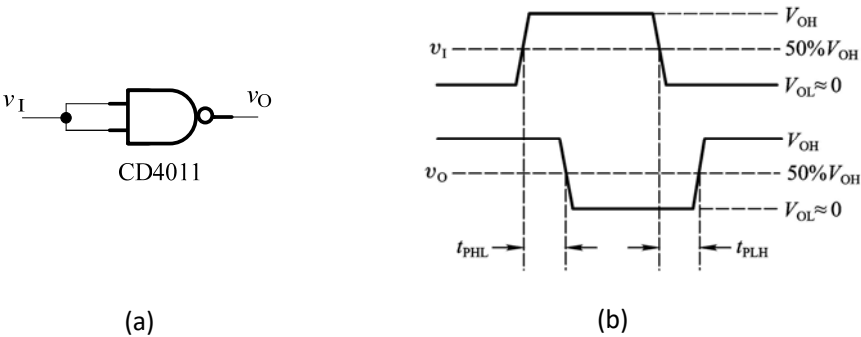


图 4 与非门的平均延迟时间与测试电路

### 4. CMOS 与非门 CD4011 的动态功耗

测试电路如图 5 所示， $v_I$  是由函数信号发生器输出 100Hz、0~5V、对称性 50% 的锯齿波。在门电路  $V_{SS}$  和地之间接入一个小的电流取样电阻，电阻上的电压波形就反映了在输出状态转换的过程中瞬时导通电流的变化。记录输入、输出波形。

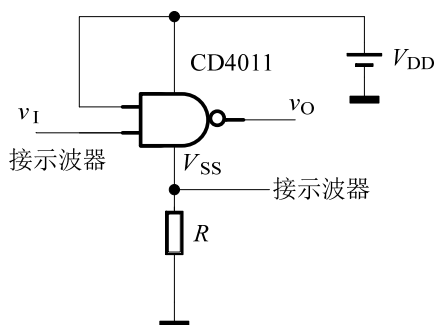


图 5 观察 CMOS 与非门动态功耗的电路

#### 四、选做任务

##### 1. 高速 CMOS 与非门 74HC00 的噪声容限

测试电路和测试方法同必做任务 1。观测并记录 74HC00 的电压传输特性曲线和输入噪声容限  $V_{NH}$  和  $V_{NL}$ 。试对实验现象作出分析。

##### 2. TTL 与非门 74LS00 的输入端负载特性

测试电路如图 6 所示，调节电阻  $R_P$ ，通过示波器观察  $v_I$ 、 $v_O$  的变化。

- (1) 自行设计数据表格，记录当  $R_P$  改变时， $v_I$  与  $v_O$  随之变化的几组典型数据。
- (2) 从上述数据中读取输入低电平  $V_{IL}$ 、输入高电平  $V_{IH}$ 、输出低电平  $V_{OL}$  和输出高电平  $V_{OH}$ 。
- (3) 根据记录的数据画出 74LS00 的输入端负载特性曲线。

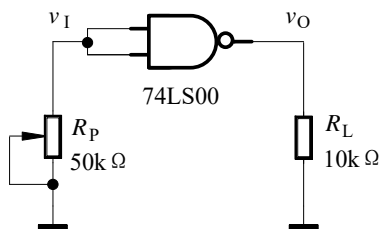


图 6 TTL 与非门输入端负载特性测试电路

#### 五、实验注意事项

1. 了解芯片的引脚排列，特别注意电源和接地引脚不能接错。
2. 门电路的输入信号的高低电平要符合电平标准。输入信号应先在示波器上调好之后，才可以接到电路中。
3. 测量可调电阻的阻值时，必须断电、断开电阻所在支路的连线。

#### 六、实验报告

第 7 周周末之前在网络学堂中提交报告，包括：

##### 1. 处理数据

- (1) 整理、计算各项任务中门电路的主要参数，绘制特性曲线。
- (2) 对各项任务中的数据或波形等，逐项进行理论分析，得出结论。

## 2. 总结

- (1) 实验中的测试方法以及测试中的注意事项。
- (2) 在实验中遇到的问题及解决方法。
- (3) 此次实验的收获。

## 3. 回答思考题

## 七、思考题

1. 在 CMOS 数字集成电路中，如 CD4011，若仅用其中的一个门电路，其余门电路的输入端应该如何处理？为什么？
2. 在 TTL 数字集成电路中，如 74LS00，若仅用其中的一个门电路，其余门电路的输入端应该如何处理？为什么？
3. 如要观测 CMOS 门电路的直流噪声容限与电源电压的关系，需改变图 1 电路中芯片工作电压  $V_{DD}$  和测试电路输入信号  $v_i$ 。请你根据实验室现有的仪器设备及其主要技术指标判断能否进行实验。如能，请写出  $V_{DD}$  和  $v_i$  的取值，并画出电压传输特性曲线；如不能，请写明原因。
4. 在如图 6 所示的两个电路中，不同工艺的数字集成电路在互相对接时应该满足什么条件？

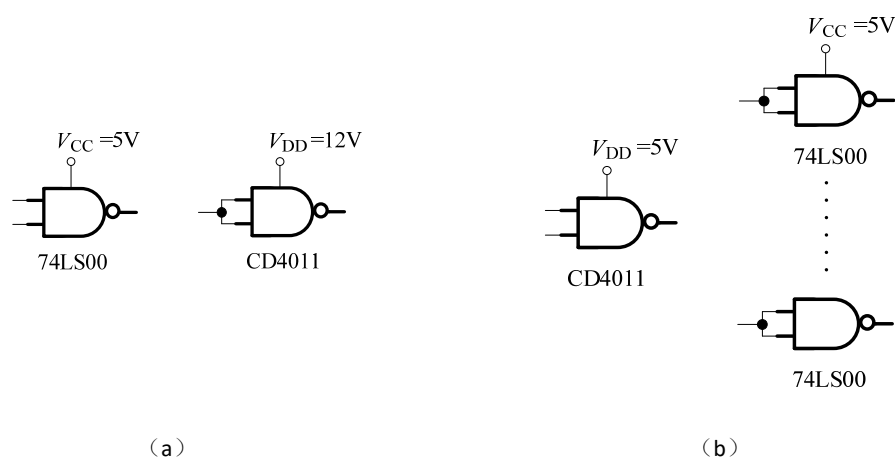


图 6