

<http://www.phei.com.cn>

高等学校电工电子实践系列

数字电子技术 基础实验

杨刚 主编 李雷 副主编



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

高等学校电工电子实践系列

数字电子技术基础实验

杨 刚 主 编

李 雷 副主编

電子工業出版社·

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本教材是根据高等院校理工科本科的数字电子技术实验课程基本要求编写的。

书中实验内容丰富, 包含原理性、验证性实验和设计性实验, 具有实物实验与以 Multisim 2001 为代表 EDA 设计仿真实验紧密结合的特点, 并含有可编程逻辑器件设计实验。

书后附录部分包含内容详细的 Multisim 2001 的使用指南, 并附有实验中常用的数字器件引脚图和逻辑功能表, 供读者查阅。

本书可作为高等院校电类和非电类专业本科生、专科生教材, 亦可作为电视大学、职业大学、业余大学以及远程教育、网络教育中的电类和非电类专业的电子技术实验教学用书。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有, 侵权必究。

图书在版编目 (CIP) 数据

数字电子技术基础实验/杨刚主编. —北京: 电子工业出版社, 2004.1

(高等学校电工电子实践系列)

ISBN 7-5053-9383-9

I. 数… II. 杨… III. 数字电路-电子技术-实验-高等学校-教材 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 109298 号

责任编辑: 朱怀永

印 刷: 北京兴华印刷厂

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

经 销: 各地新华书店

开 本: 787×980 1/16 印张: 10.5 字数: 269 千字

印 次: 2004 年 1 月第 1 次印刷

印 数: 5 000 册 定价: 15.00 元

凡购买电子工业出版社的图书, 如有缺损问题, 请向购买书店调换。若书店售缺, 请与本社发行部联系。联系电话: (010) 68279077。质量投诉请发邮件至 zllts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

前 言

数字电子技术实验是高等理工科院校实践教学环节中的一项重要课程。这门课程将电子技术基础理论与实际操作有机地联系起来,加深学生对所学理论课程的理解,逐步培养和提高学生的实验能力、实际操作能力、独立分析问题和解决问题的能力,以及创新思维能力和理论联系实际的能力。

本教材根据教育部工科电工教学指导委员会关于电子技术基础课程教学大纲的基本要求,同时总结了近几年来四川大学的实践教学经验,并按照当前教学改革的要求编写。教材实验内容丰富,且遵从循序渐进的原则。基础部分从 TTL 和 CMOS 门电路参数测试开始,配以常用数字测量仪器练习,让学生逐步对数字器件及其测试方法有一定的了解,并掌握实验系统和实验仪器的使用和测量方法;之后通过基本门电路、OC 门和三态门的应用实验,使学生逐步了解门电路的特点;编码器、译码器、数据选择器、触发器、寄存器、比较器、计数器实验则让学生对集成功能电路有了实际认识,并掌握实验方法和培养操作能力;组合逻辑应用、脉冲的产生与整形、数模和模数转换器实验则进一步培养学生的综合实验和设计能力;最后以 PLD 器件作为实验内容,使学生对采用大规模可编程数字逻辑器件进行 EDA 设计有初步的了解,为后续专业课程的学习打下了坚实的基础。其中每一个实验都包含实验目的、实验原理、实验内容和实验报告要求,旨在不仅要教会学生怎样去做,而且要使学生弄懂为什么这样做,并启发学生进行思考。

本教材的一大特点是将传统的原理性、验证性实验与以 Multisim 2001 为代表的 EDA 设计性实验紧密结合,将实物实验与虚拟仿真实验有机、紧密地结合起来,充分利用了计算机的辅助设计能力,并顺应现代电子技术发展的潮流。通过虚拟仿真实验,使学生有可能在实验课前预习和课后练习,同时将许多实验室中无法进行的实验操作或实际操作难度大的实验内容通过上机进行仿真实验,极大地丰富了电子技术的实验内容。实物实验则一方面加强学生的实际操作能力,另一方面又是对理论教学和虚拟仿真实验的印证。

本书主编杨刚,副主编李雷。实验 1, 3, 10, 11, 12, 17, 18, 19, 20 和附录 B 由杨刚编写,实验 5, 6, 13, 14 和附录 A 由李雷编写,实验 15 和 16 由徐法强编写,实验 7 和 8 由徐雪梅编写,实验 9 由涂国强编写,实验 2 和 4 由杨刚、徐法强共同编写,附录 C 由龙海燕编写。本书中使用 Electronic Workbench Multisim 2001 电子线路仿真软件和 MAX+plus II 10.1 软件绘制电路图,所以电路中的电气图形和符号同国家标准有所不同。

本书由四川大学电气信息学院李国成教授主审,参加本书审稿工作的教师还有四

川大学电气信息学院辛万生教授、贾绍芝副教授和陈彬兵副教授，在此表示衷心感谢！

本书在编写过程中得到四川大学电工电子基础教学中心实验室同志们的大力支持和帮助，同时还获得四川大学电气信息学院各位领导的鼓励和支持，在此一并表示感谢！

本书不足之处，恳请读者批评指正。

编 者

2003年6月于四川大学

目 录

实验一	TTL 和 CMOS 门电路参数的测试	1
实验二	基本门电路逻辑功能验证	9
实验三	OC 门和三态门的应用	18
实验四	编码器和译码器	24
实验五	数据选择器	30
实验六	组合逻辑电路的应用	37
实验七	触发器	43
实验八	寄存器	52
实验九	数值比较器	57
实验十	CMOS 器件功能测试	60
实验十一	计数器	64
实验十二	半加器和全加器的逻辑功能验证	71
实验十三	逻辑电路的竞争冒险现象	77
实验十四	脉冲的产生与整形	82
实验十五	555 定时器功能及应用	86
实验十六	存储器	93
实验十七	数模转换器	99
实验十八	模数转换器	106
实验十九	用 PLD 实现 74LS138 功能	111
实验二十	用 PLD 实现 74LS90 功能	116
附录 A	Multisim 2001 使用指南	121
附录 B	NET-II 数字实验系统的结构及使用说明	150
附录 C	数字集成电路引脚排列图	152

实验一 TTL 和 CMOS 门电路参数的测试

一、实验目的

- ❖ 掌握 TTL 与非门基本电参数的测试方法，了解 TTL 集成电路的参数规范。
- ❖ 掌握 CMOS 或非门基本电参数的测试方法，了解 CMOS 集成电路的参数规范。

二、实验器材

实物实验器材：

- ✓ NET 数字电子技术实验系统 1 套。
- ✓ 万用表 1 块。

三、实验原理

在数字电路设计时，通常要用到一些门电路，而门电路的特性参数的好坏，在很大程度上影响整个电路工作的可靠性。

本实验中选用 TTL74LS00 二输入端四与非门和 CD4001 二输入端四或非门进行参数的实验测试，以掌握门电路的主要参数的意义和测试方法。

74LS00 和 CD4001 集成电路引脚排列图如图 1-1 所示。

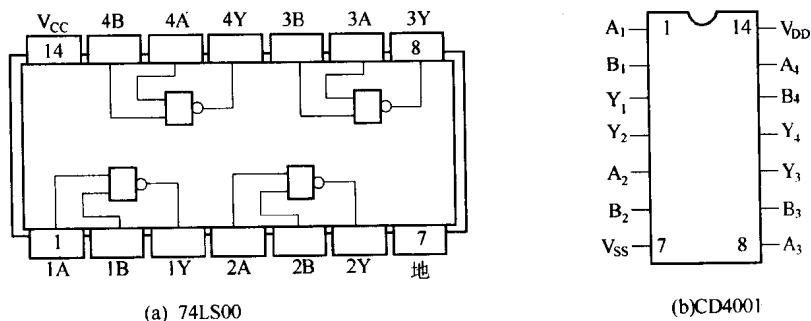


图 1-1 74LS00 和 CD4001 集成电路引脚排列图

通常参数按时间特性分两种：静态参数和动态参数。静态参数指电路处于稳定的逻辑状态下测得的参数，而动态参数则指逻辑状态转换过程中与时间有关的参数。

TTL 与非门的主要参数有：

(1) 空载导通功耗 P_{on} 和空载截止功耗 P_{off}

空载导通功耗 P_{on} 是指输入全为高电平、输出为低电平且不接负载时的功率损耗。

$$P_{on} = V_{CC} \cdot I_{CCL}$$

空载截止功耗 P_{off} 是指输入端至少有一个为低电平、输出为高电平且不接负载时的功率损耗。

$$P_{off} = V_{CC} \cdot I_{CCH}$$

以上两式中

V_{CC} ——电源电压；

I_{CCL} ——导通电源电流；

I_{CCH} ——截止电源电流。

空载导通功耗 P_{on} 和空载截止功耗 P_{off} 的测试电路如图 1-2 所示。

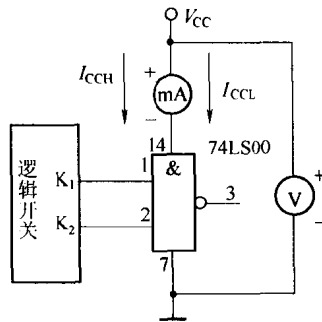


图 1-2 空载导通功耗 P_{on} 和空载截止功耗 P_{off} 的测试电路

(2) 输入短路电流 I_{IS}

输入短路电流 I_{IS} 又称低电平输入电流 I_{IL} (I_{IS} 即 I_{IL}) 是指一个输入端接地，其他输入端悬空时，流过该接地输入端的电流。

输入短路电流 I_{IS} 的测试电路如图 1-3 所示。

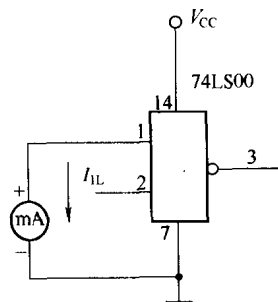


图 1-3 输入短路电流 I_{IS} 的测试电路

(3) 高电平输入电流 I_{IH}

高电平输入电流 I_{IH} 又称输入漏电流，它是指输入端一端接高电平，其余输入端接地时流过那个接高电平输入端的电流。

高电平输入电流 I_{IH} 的测试电路如图 1-4 所示。

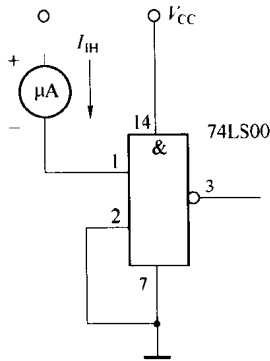


图 1-4 高电平输入电流 I_{IH} 的测试电路

(4) 输出高电平 V_{OH}

输出高电平 V_{OH} 是指输出不接负载，当有一输入端为低电平时的电路输出电压值。

(5) 输出低电平 V_{OL}

输出低电平 V_{OL} 是指所有输入端均接高电平时的输出电压值。

输出高电平 V_{OH} 和输出低电平 V_{OL} 的测试电路如图 1-5 所示。

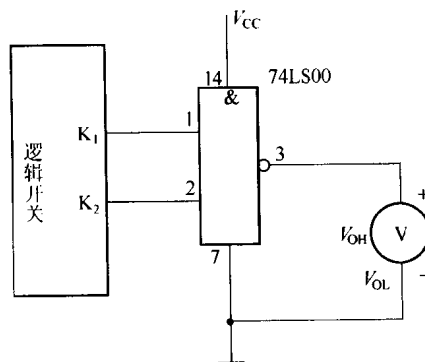


图 1-5 输出高电平 V_{OH} 和输出低电平 V_{OL} 的测试电路

(6) 电压传输特性曲线、开门电平 V_{on} 和关门电平 V_{off}

如图 1-6 所示 V_i-V_o 关系曲线称为电压传输特性曲线。使输出电压 V_o 刚刚达到低电平 V_{OL} 时的最低输入电压称为开门电平 V_{on} 。使输出电压 V_o 刚刚达到高电平 V_{OH} 时的最高输入电压 V_i 称为关门电平 V_{off} 。

电压传输特性测试电路如图 1-7 所示。

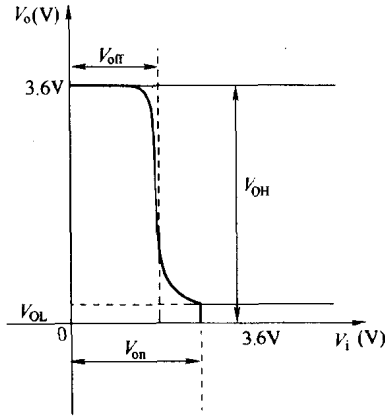


图 1-6 电压传输特性曲线

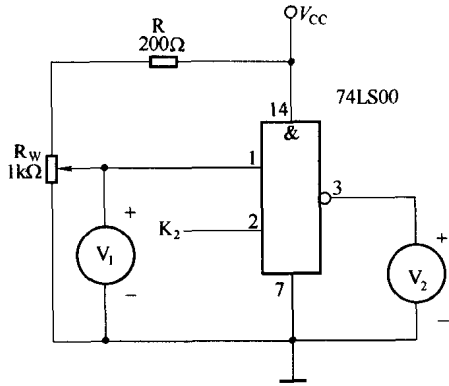


图 1-7 电压传输特性测试电路

(7) 平均传输延迟时间 t_{pd}

如图 1-8 所示 $t_{pd} = (t_{pdl} + t_{pdh})/2$ ，它是衡量开关电路速度的重要指标。一般情况下，低速组件 t_{pd} 约为 $40 \sim 160ns$ ，中速组件 t_{pd} 约为 $15 \sim 40ns$ ，高速组件 t_{pd} 约为 $8 \sim 15ns$ ，超高速组件 $t_{pd} < 8ns$ 。组件平均传输延迟时间的近似计算方法： $t_{pd} = T/6$ ，其中 T 为用三个门电路组成振荡器的周期。

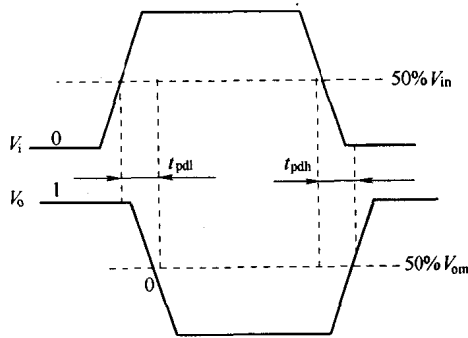


图 1-8 平均传输延迟时间 t_{pd}

平均传输延迟时间 t_{pd} 的测试电路如图 1-9 所示。

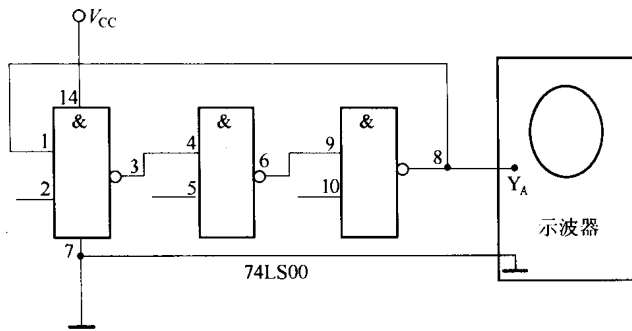


图 1-9 平均传输延迟时间 t_{pd} 的测试电路

(8) 扇入系数 N_i 和扇出系数 N_o

能使电路正常工作的输入端数目称为扇入系数 N_i 。电路正常工作时，能带动的同型号门的数目称为扇出系数 N_o 。

扇出系数 N_o 的测试电路如图 1-10 所示。

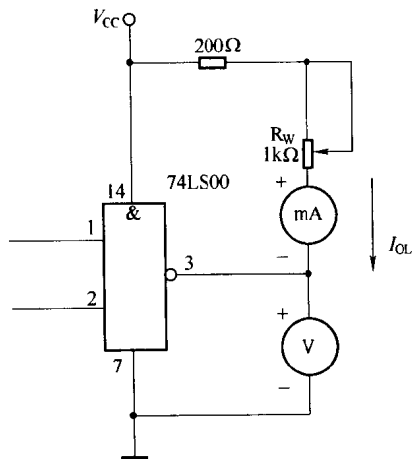


图 1-10 扇出系数 N_o 的测试电路

CMOS 器件参数:

CMOS 器件的各项参数的含义和测试方法与 TTL 器件相似，因此测试 CMOS 器件静态参数时的电路与测试 TTL 器件静态参数时的电路大体相同，不过要注意 CMOS 器件和 TTL 器件的使用规则各不相同，对各个端脚的处理要注意符合逻辑关系。另外，CMOS 器件的 I_{CCL} 和 I_{CCH} 值极小，仅几微安。为了保证输出开路的条件，其输出端所使用的电压表内阻要足够大，最好用直流数字电压表。

四、实物实验内容及步骤

1. TTL 与非门参数测试

(1) 空载导通功耗 P_{on}

空载导通功耗 P_{on} 的测试电路如图 1-2 所示。按图接线，合上 K_1 和 K_2 ，再合上电源开关，读出电流值 I_{CCL} 和电压值 V_{CC} ，记入表 1-1 中。

(2) 空载截止功耗 P_{off}

空载截止功耗 P_{off} 的测试电路如图 1-2 所示。按图接线， K_1 或 K_2 断开，合上电源开关，读出电流值 I_{CCH} 和电压值 V_{CC} ，记入表 1-1 中。

(3) 低电平输入电流 I_{IL}

低电平输入电流 I_{IL} 的测试电路如图 1-3 所示。按图接线，读出电流表上的显示电流值记入表 1-1 中。

(4) 高电平输入电流 I_{IH}

高电平输入电流 I_{IH} 的测试电路如图 1-4 所示。按图接线，读出电流表上显示电流值记入表 1-1 中。

(5) 输出高电平 V_{OH}

输出高电平 V_{OH} 的测试电路如图 1-5 所示。按图接线，合上 K_1 ，断开 K_2 ，接通电源，读出电压表上显示电压值记入表 1-1 中。

(6) 输出低电平 V_{OL}

输出低电平 V_{OL} 的测试电路如图 1-5 所示。按图接线，合上 K_1 和 K_2 ，接通电源，读出电压表上显示电压值记入表 1-1 中。

(7) 电压传输特性曲线

电压传输特性的测试电路如图 1-7 所示。按图接线，电阻 R 插入实验箱电阻插孔中， K_2 拨到高电平，旋转电位器 R_w ，使 V_1 逐渐增大，同时读出 V_1 和 V_2 值，其中 V_1 值为输入电压， V_2 为输出电压。将 V_1 和 V_2 记入表 1-2 中，并绘出 V_1 - V_2 的曲线，即电压传输特性曲线。

(8) 平均传输延迟时间 t_{pd}

平均传输延迟时间 t_{pd} 的测试电路如图 1-9 所示。按图接线，3 个与非门组成环形振荡器，从示波器中读出振荡周期 T ，记入表 1-1 中，则平均传输延迟时间 $t_{pd}=T/6$ 。

表 1-1 TTL 器件参数测试

参数	V_{CC}	I_{CC1}	P_{on}	V_{CC}	I_{CH}	P_{off}	I_{IL}	I_{IH}	V_{OH}	V_{OL}	T	t_{pd}	I_{OL}	N_o
测量值														

(9) 扇出系数 N_o

扇出系数 N_o 的测试电路如图 1-10 所示。按图接线，1 脚和 2 脚悬空，接通电源，调节电位器 R_w ，使电压表的值为 $V_{OL}=0.4\text{V}$ ，读出此时的电流表值 I_{OL} ，记入表 1-1 中，则扇出系数 $N_o=I_{OL}/I_{IL}$ 。

2. CMOS 或非门参数测试

选用 CD4001 二输入端四或非门一块，验证其逻辑功能正确后，进行如下实验测试：

(1) 电压传输特性曲线

电压传输特性曲线的测试电路如图 1-11 所示。按图接线，合上电源开关，调节电位器 R_w ，选择若干个输入电压值 V_1 ，测量相应的输出电压值 V_2 ，将 V_1 和 V_2 记入表 1-2 中，然后由测量所得的数据，绘出 CMOS 或非门的电压传输特性曲线。

表 1-2 TTL 和 CMOS 器件电压传输特性曲线

TTL 器件 (74LS00)			CMOS 器件 (CD4001)		
V_1	V_2	电压传输特性曲线	V_1	V_2	电压传输特性曲线

断开电源开关，2 脚与 7 脚断开，1 脚和 2 脚相连。合上电源开关，重复上述调节电位器 R_w 的步骤，比较两种情况下电压传输特性曲线的差异。

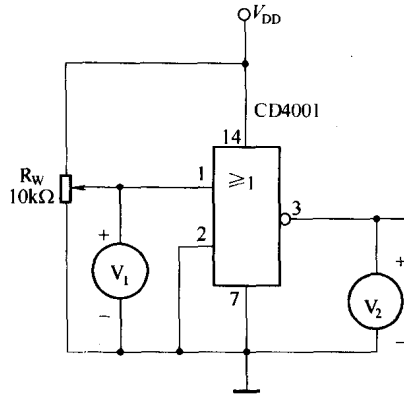


图 1-11 CD4001 电压传输特性曲线测试电路

(2) 平均传输延迟时间 t_{pd}

CD4001 平均传输延迟时间 t_{pd} 的测试电路如图 1-12 所示。按图接线，从示波器中读出振荡周期 T ，记入表 1-3 中，则平均传输延迟时间 $t_{pd} = T/6$ 。

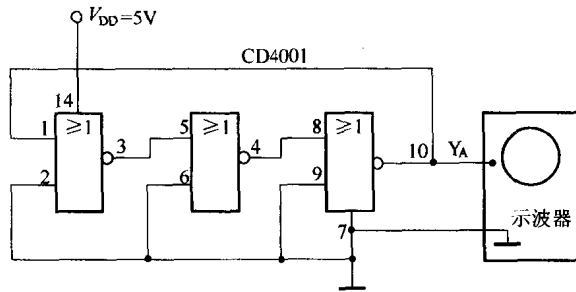


图 1-12 CD4001 平均传输延迟时间 t_{pd} 的测试电路

表 1-3 CD4001 平均传输延迟时间 t_{pd}

参数	T	t_{pd}
测量值		

五、实验报告要求

- ① 整理测试数据，并与器件规范值比较，分析其异同。
- ② 根据测试所得数据，绘制电压传输特性曲线，并计算高电平抗干扰能力和低电平抗干扰能力。

实验二 基本门电路逻辑功能验证

一、实验目的

- ❖ 熟悉各种基本逻辑门电路的逻辑符号和逻辑功能。
- ❖ 掌握集成门电路器件的使用及逻辑测试方法。

二、实验器材

实物实验器材:

- ✓ NET 数字电子技术实验系统 1 套。
- ✓ 万用表 1 块。

虚拟实验器材:

- ✓ 操作系统为 Windows 95/98/Me/2000/XP 的计算机 1 台。
- ✓ Electronics Workbench Multisim 2001 电子线路仿真软件 1 套。

三、实验原理

集成逻辑门电路是最简单和最基本的数字集成元件。任何复杂的组合电路和时序电路都可用逻辑门通过适当的组合连接而成。基本逻辑运算有与、或、非运算，相应的基本逻辑门有与、或、非门。目前已有门类齐全的集成门电路，如与非门、或非门、与或非门、异或门等。虽然大、中规模集成电路相继问世，但组成某一个系统时，仍少不了各种门电路。TTL 集成电路由于工作速度快、输出幅度较大、种类多、不易损坏等特点而使用较广。图 2-1 所示为 TTL 基本逻辑门电路的逻辑符号图。CMOS 集成电路功耗极低，输出幅度大，噪声容限大，扇出能力强，电源范围较宽，应用也很广泛。但 CMOS 电路应用时，必须注意以下几个方面：不用的输入端不能悬空；电源电压使用要正确，不得接反；焊接或测量仪器必须可靠地接地；不得在通电的情况下，随意插拔输入接线；输入信号电平应在 CMOS 标准逻辑电平之内。

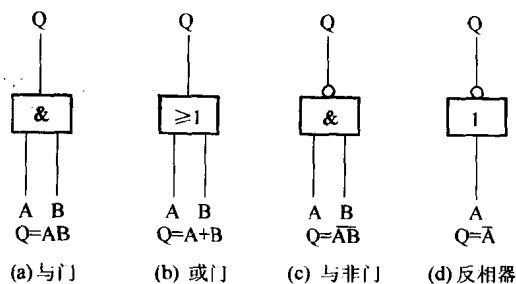


图 2-1 TTL 基本逻辑门电路

四、虚拟仿真实验内容及步骤

选择开始→程序→Multisim 2001→Multisim 2001, 启动 Electronics Workbench Multisim 2001 软件仿真系统。

1. 基本逻辑门三输入与门测试

从元器件箱中调入所需元件, 如图 2-2 所示依次绘制电路。图中门电路选用 74LS11D, 开关 J_1, J_2, J_3 接输入端, LED 接输出端。打开 O-I 开关或按下 F5 键使电路开始仿真运行。按表 2-1 所列的逻辑状态将输入端接入高电平或低电平, 并依次将测量值填入表中。

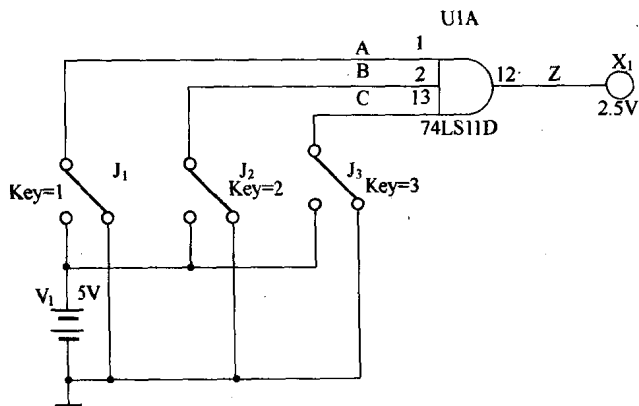


图 2-2 基本逻辑门三输入与门测试

表 2-1 基本逻辑门三输入与门测试

逻辑状态				逻辑门名称及表达式
A	B	C	Z	
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

2. 基本逻辑门二输入或门测试

从元器件箱中调入所需元件,如图 2-3 所示依次绘制电路。图中门电路选用 74LS02D, 打开 O-I 开关或按下 F5 键使电路开始仿真运行。按表 2-2 所列的逻辑状态将输入端接入高电平或低电平,并依次将测量值填入表中。

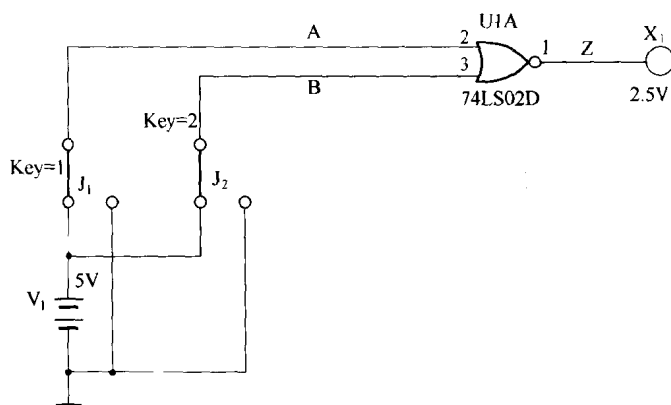


图 2-3 基本逻辑门二输入或门测试

表 2-2 基本逻辑门二输入或门测试

逻辑状态			逻辑门名称及表达式
A	B	Z	
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		