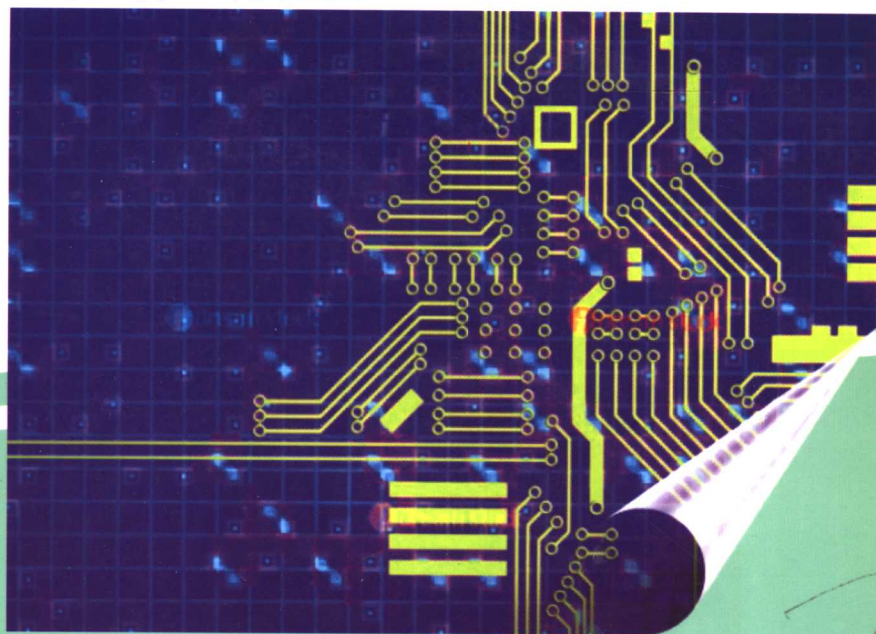


理工科电子信息类

DIV 系列丛书

数字电子技术 实验指导

● 汪一鸣 黄旭 编著
胡勇 陈红仙



◆ 苏州大学出版社

理工科电子信息类 DIY 系列丛书

数字电子技术实验指导

汪一鸣 黄旭 编 著
胡勇 陈红仙

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术实验指导/汪一鸣等编著. —苏州:苏州大学出版社, 2005. 1

(理工科电子信息类 DIY 系列丛书)

ISBN 7-81090-419-1

I. 数… II. 汪… III. 数字电路—电子技术—实验—高等学校—教学参考资料 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 001603 号

内 容 简 介

本书是理工科电子信息类 DIY 系列丛书中的一本。全书以目前使用的主流数字电子技术教学内容为主线,按章节编写了六章共 18 个数字电路和数字系统实验。这六章分别是:第一章门电路、第二章组合逻辑电路、第三章时序逻辑电路、第四章脉冲产生与整形电路、第五章数/模转换与模/数转换电路、第六章数字系统设计。每个数字电路实验又由三个相对独立的篇章组成,分别是:基础篇(认识实验)、中级篇(设计实验)和高级篇(综合实验),实验以学生能够独立完成简单系统设计为目的;内容由浅入深,可灵活组合。任课教师可根据不同对象和教学计划,安排选做不同的实验,或用几个时间段完成一个较大的实验。由于这些实验都可根据难易不同,进行模块化组合,所以既适用于本科、大专、职教、成教等各种层次的学生,也适用于教学要求不同的相关专业,还可供从事数字系统设计的工程技术人员参考。为方便教师准备和指导实验,本书附有光盘。光盘以实验报告的形式给出了翔实的实验数据、典型的实验设计方法、程序清单、电路连接图以及实验过程和结果,供读者参考。本教材中每个实验独立成篇,与上课使用何种教材无关,也与实验时使用何种实验箱无关。

数字电子技术实验指导

汪一鸣 黄旭 胡勇 陈红仙 编著

责任编辑 苏 秦

苏州大学出版社出版发行

(地址:苏州市干将东路 200 号 邮编:215021)

常熟高专印刷有限公司印装

(地址:常熟市元和路 98 号 邮编:215500)

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 12.25 字数 300 千

2005 年 1 月第 1 版 2005 年 1 月第 1 次印刷

ISBN 7-81090-419-1/TN·3(课) 定价:24.00 元

苏州大学版图书若有印装错误,本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话:0512-67258835

电工电子实验教材编委会

主 编：胡仁杰

副主编：赵鹤鸣 汪一鸣

编 委：赵德安 仲嘉霖 杨季文 翁桂荣

邹丽新 徐大诚 周 江

序 言

为了进一步加强高等学校综合实力,整合和共享教学资源,充分发挥理工科专业实验实践教学环节对于创新型人才培养的重要作用,从根本上提高本科教学的质量,提高大学生继续深造及创业就业的竞争力,近年来,各大学纷纷建立面向全校甚至所在城市的校级实验教学中心。实验中心的建立,统一和规范了实验仪器配备、实验教学要求,加强了实验教学的人才和梯队建设。

实验教学质量的提高,也离不开实验教材的建设。在苏州大学出版社的大力支持下,苏州大学电工电子实验教学中心学术委员会聘请校内外专家,成立了电工电子实验教材编委会,将陆续组织出版一套理工科电子信息类 DIY 系列丛书。这套丛书包括《数字电子技术实验指导》、《电子线路实验指导》、《硬件描述语言实验指导》、《电路与信号系统实验指导》、《微型计算机原理及应用实验指导》、《电工电子技术基础实验指导》等共六本。丛书将着力考虑符合实验教学大纲的要求,同时对不同专业留有充分的选择余地,可以灵活组合。希望丛书的出版能够改变实验教学不够规范,随意性较大,相同的课程分散在多处做实验,要求不同、过程不同、设备不一的现状。

编委会将在丛书出版之后,广泛听取各方面的反映和意见,不断完善丛书的内容,提高丛书的学术水平和质量,更好地满足高等学校电工电子类实验教学的需求。

电工电子实验教材编委会

2004.6

前言

《数字电子技术》一直是电子信息类专业的一门重要专业基础课。近年来,随着各行各业信息化和数字化进程的加快,非电专业学生也急需具备数字电子技术方面的基础知识,了解该领域的前沿和进展,初步掌握数字电路的分析和设计方法以及相关的应用。为此,理工科许多专业纷纷增设这门课程,使得《数字电子技术》根据专业的不同而成为专业基础课、公共选修课或是跨专业选修课。这门课程目前已有的国内外教材很多,特别是清华大学阎石老师和华中科技大学康华光老师编写的《数字电路》教材版本不断更新,在教育部多次获奖,并被许多高校采用。在进行课堂教学的同时,我们应该看到,数字电子技术又是一门实践性很强的课程,需要学生自己动手完成一定量的实验,对数字电子技术基础知识的掌握离不开实验这个环节。据我们了解,不论是重点院校还是一般院校,都在数字电路课程设置中安排了较多的实验课时,而编写一本与课堂教学配套的有特色的《数字电子技术实验》教材,使这门课程的理论教学和实验教学融为一体正是我们的目的。

本教材共分六章和四个附录。第一章为门电路,由两个实验篇章组成,要求学生掌握CMOS、TTL 门电路的逻辑功能、基本参数、输入输出特性,掌握集电极开路门和三态门的正确使用。第二章为组合逻辑电路,由两个实验篇章组成,要求学生通过一些典型的组合逻辑功能,例如数据选择、编码、译码等的实现和扩展,灵活掌握组合逻辑电路的分析和设计方法。第三章为时序逻辑电路,由三个实验篇章组成,这一章从触发器入手,要求学生建立时序和状态转移的概念,清楚不同逻辑功能的触发器的特性,会以触发器为基本逻辑单元分析和设计各种简单计数器电路、寄存器电路,并熟悉常用标准中规模集成电路的使用。第四章为脉冲产生与整形电路,由三个实验篇章组成,包括了各种脉冲信号产生电路、脉冲信号整形电路和顺序脉冲信号的分配电路,要求学生能够了解脉冲电路的组成和特点、设计要点以及应用场合。第五章是数/模转换与模/数转换电路,由两个实验篇章组成,分别是数/模转换电路和模/数转换电路的使用。第六章是数字系统设计,由六个实验篇章组成,这些实验虽然仍然是一个系统中的一个组成部分,但已有较为完整的结构,可以看做是一个数字系统,它们所要实现的逻辑功能已不是几个或十几个门电路可以完成的了,具有一定的综合性和复杂程度,一般需要使用计算机辅助设计工具,完成这些实验也需要较多的时间,要求学生把前面几章的内容融会贯通,着重培养学生在数字电子技术方面的综合应用能力。附录中介绍了几种常用的电子设计自动化工具。

本教材有以下特点:

1. 与目前主流数字电子技术教材配套,按认识规律安排实验次序,先易后难。

2. 在本教材中,每个主干实验都由三个相对独立的篇章组成,分别是:基础篇(认识实验)、中级篇(设计实验)、高级篇(综合实验)。任课教师可根据不同对象灵活组合,选做不同实验,或用几个时间段完成一个较大的实验。由于每个实验都由难易不同的篇章组成,所以既适用于本科、大专、职教、成教等各种层次的学生,也适用于教学要求不同的相关专业。

3. 由于 SOC 的盛行,在数字电路教学中,除了单元和模块电路,系统设计的概念变得越来越重要。因此除主干实验外,我们还安排了数字系统实验,供学生利用课外学时,在开放实验室选做。

4. 为方便教师准备和指导实验,本书附有光盘。光盘以实验报告的形式给出了翔实的实验数据、典型的实验设计方法、程序清单、电路连接图以及实验过程和结果,供读者参考。

5. 本教材中每个实验独立成篇,与上课使用何种教材无关,与实验时使用何种实验箱无关。

对于理工科学生,在强调掌握基础理论知识的同时,更要注重提高他们发现问题、分析和解决问题的能力,增强他们勤于实践、乐于动手和创新创业的意识。目前我们进行的加强实验教学的改革尝试,其目的也正是如此。作为电子信息类专业及其相关专业中一门很重要的基础课程——《数字电子技术》,在其课程设置中安排了较多的实验学时,就是希望在大学一、二年级就尽早给予学生自己动手解决问题的实际训练,帮助他们顺利完成从高中到大学的角色转换,进而完成进入高年级和研究生阶段开展科学研究、技术创新的无缝过渡。这些好的想法和改革思路,必须与软硬件配套的措施相结合,硬件措施是实验场地和实验设备,软件措施则是加强实验教材的建设。而长期以来,对实验教材的建设,往往是不够重视的,本教材的编写,正是希望提高实践教学在大学教育,特别是大学理工科教育中的地位。我们已开始编写并将陆续出版一套理工科电子信息类 DIY 系列丛书,形成一套适合不同专业、不同层次、较为全面、系统的电子类实验课程教材。《数字电子技术实验指导》就是其中的一本。

由于水平有限,加之时间仓促,本教材中难免有错误和不当之处,望读者们不吝赐教,任何宝贵的意见和建议都将激励我们继续努力。不胜感激!

编 者

2004 年春于苏州大学

Contents

目录

第一章 门电路

- 实验 1.1 基本 TTL、CMOS 器件
实验 (1)
- 实验 1.2 集电极开路门和三态
门的性能与应用 (10)

第二章 组合逻辑电路

- 实验 2.1 数据选择器和组合逻辑
电路设计 (19)
- 实验 2.2 编码、译码和组合逻辑
电路设计 (25)

第三章 时序逻辑电路

- 实验 3.1 触发器 (34)
- 实验 3.2 移位寄存器 (42)
- 实验 3.3 计数器 (49)

第四章 脉冲产生与整形电路

- 实验 4.1 脉冲信号产生电路
..... (57)
- 实验 4.2 脉冲信号整形电路
..... (63)
- 实验 4.3 脉冲信号分配电路
..... (73)

第五章 数/模转换与模/数转换电路

- 实验 5.1 数字逻辑接口: 数/模
转换电路 (79)
- 实验 5.2 数字逻辑接口: 模/数
转换电路 (86)

第六章 数字系统设计

- 实验 6.1 设计数字钟实验
..... (94)
- 实验 6.2 简单洗衣机时序电路
——设计洗衣机控制器
..... (101)
- 实验 6.3 交通灯控制器
..... (106)
- 实验 6.4 超前进位加法器和算术
逻辑单元 (109)
- 实验 6.5 数字乘法器 (114)
- 实验 6.6 CRC 信道编解码电路
..... (117)

附录一 常用数字集成电路 (121)

附录二 基本输入输出组件 (149)

附录三 MAX + PLUS II 介绍 (151)

附录四 实验报告要求和样稿 (166)

参考文献 (185)



第一章 门 电 路

实验 1.1 基本 TTL、CMOS 器件实验

基础篇：验证 TTL 器件逻辑功能

一、实验目的

1. 掌握 TTL 集成与非门的逻辑功能。
2. 掌握德·摩根定理转换方法,能使用现有器件实现特定逻辑功能。

二、实验原理

本实验采用四 2 输入与非门 74LS00,内含四个独立的逻辑单元,其逻辑符号及引脚排列如图 1.1-1 所示。

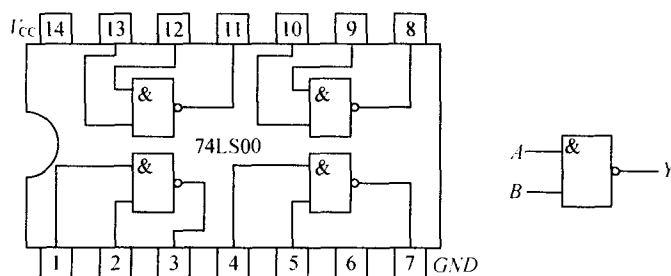


图 1.1-1 74LS00 引脚排列及逻辑符号

与非门的逻辑功能是:当输入端中有一个或一个以上是低电平时,输出端为高电平;只有当输入端全部为高电平时,输出端才是低电平。其逻辑表达式为: $Y = \overline{AB}$ 。

1. 实验元件。

TTL 器件名称: 74LS00。

功能: 四 2 输入与非门电路。

逻辑表达式: $Y = \overline{AB}$ 。

2. 与非表达式的获取。

首先对与或逻辑函数进行化简,并利用德·摩根定理对其进行二次求非。



三、实验内容

1. 用与非门 74LS00 实现组合逻辑功能: $Y = \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}C$ 。

(1) 根据德·摩根定理写出其表达式: $Y = \overline{\overline{A}B\overline{C} \cdot A\overline{B}C} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot \overline{C} \cdot A \cdot B \cdot C}$ 。

(2) 由此式设计出逻辑原理图(图 1.1-2)。

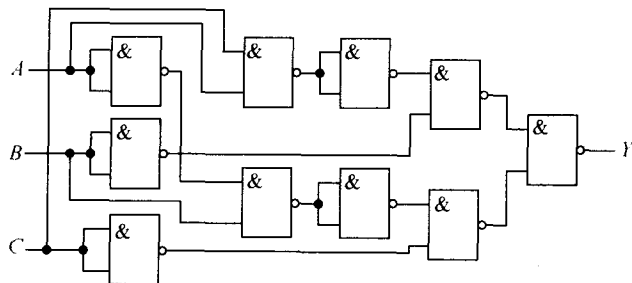


图 1.1-2 $Y = \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}C$ 逻辑原理图

根据图 1.1-2,画出相应的接线图(注意:接线图应包含电源和地线连接,标明输入和输出,以下要求同)。

在实验箱或通用板上选定 3 个 14P 插座,分别插好 3 片 74LS00,并接好连线,A、B、C 输入端接至输入逻辑电平开关组件。Y 接至发光二极管逻辑电平指示组件。按下表要求进行逻辑状态的测试,并将结果填入表中,同时与真值表(表 1.1-1)进行比较,验证是否一致。

表 1.1-1 $Y = \overline{A}B\overline{C} + A\overline{B}C$ 的真值表与实测值

A	B	C	Y	实测值 Y
0	0	0	0	
0	0	1	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
1	0	0	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	1	0	

2. 用与非门 74LS00 实现组合逻辑功能: $Y = A \oplus B$ 。

(1) 写出其表达式: $Y = \overline{A}B + A\overline{B} = \overline{\overline{A} \cdot \overline{B} \cdot A \cdot B}$ 。

(2) 由此式设计出逻辑原理图(图 1.1-3)。

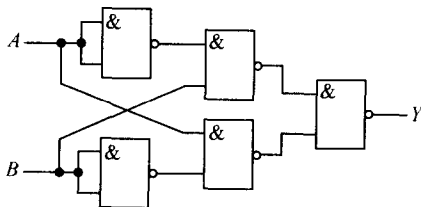


图 1.1-3 $Y = \overline{A}B + A\overline{B}$ 逻辑原理图



根据上图,画出相应的接线图。

在实验箱或通用板上选定 2 个 14P 插座,分别插好 2 片 74LS00,并接好连线, A 、 B 输入端接至输入逻辑电平开关组件。 Y 接至发光二极管逻辑电平指示组件。按下表要求进行逻辑状态的测试,并将结果填入表中,同时与真值表(表 1.1-2)进行比较,验证是否一致。

表 1.1-2 $Y=A\oplus B$ 的真值表与实测值

A	B	Y	实测值 Y
0	0	0	
0	1	1	
1	0	1	
1	1	0	

四、实验仪器与器件

1. 通用板——可插接标准双列直插插座的实验电路板(1 块)。
2. 输入逻辑电平开关组件(见附录二)。
3. 发光二极管逻辑电平指示组件(见附录二)。
4. 可调直流稳压电源(供电 +5V)(1 台)。
5. 万用表(1 只)。
6. 实验器件。
 - (1) 74LS00(3 片)。
 - (2) 导线(若干)。

五、实验报告要求

1. 写出实验任务的设计过程,画出设计的电路图。
2. 对所设计的电路进行实验测试,记录测试结果。

六、实验预习要求

1. 复习 TTL 门电路的工作原理。
2. 熟悉实验用 TTL 门电路的管脚排列。
3. 根据实验原理图画出其相应的实验接线图。
4. 画好验证用实验真值表表格。

七、思考题

1. TTL 门电路输入端在什么条件下允许悬空?为什么?
2. TTL 门电路的电源电压有何要求?



中级篇 1: TTL 集成逻辑门电路的参数测量

一、实验目的

1. 学习掌握 TTL 集成与非门的逻辑功能。
2. 学习掌握 TTL 集成电路主要参数测试方法。

二、实验原理

1. 被测元件引脚图: TTL 74LS00 四 2 输入与非门电路如图 1.1-1 所示。
2. TTL 74LS00 电压传输特性如图 1.1-4 所示。

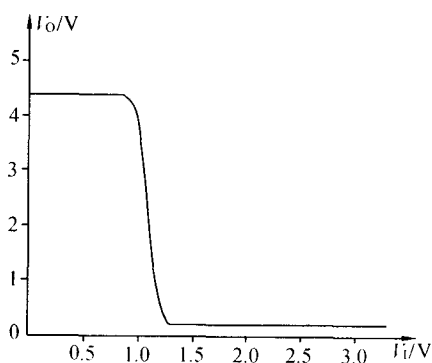


图 1.1-4 电压传输特性

74LS00 型与非门主要性能参数 ($V_{CC} = 5V$) 如表 1.1-3 所示。

表 1.1-3 74LS00 型与非门主要性能参数

参数名称	符号	单位	测试条件	规范值
输出高电平	V_{OH}	V	$V_i = 0.8V, I_{OH} = 0.4mA$	≥ 2.4
输出低电平	V_{OL}	V	$V_i = 2.0V, I_{OL} = 4mA$	≤ 0.4
输出高电平电流	I_{OH}	mA	$V_i = 0.8V, V_{OH} = 2.7V$	≤ 0.4
输出低电平电流	I_{OL}	mA	$V_i = 2.0V, V_{OH} = 0.5V$	≥ 8
输入漏电流	I_{IH}	μA	$V_i = 5V$	≤ 20
输入短路电流	I_{IS}	mA	$V_i = 0V$	≤ 0.4
输出高电平时电源电流	I_{CCH}	mA		≤ 1.6
输出低电平时电源电流	I_{CCL}	mA		≤ 4.4
开门电平	V_{ON}	V		≤ 1.8
关门电平	V_{OFF}	V		≥ 0.8
传输延迟时间	t_{pd}	ns		≤ 30
扇出系数	N_0		同 V_{OH}, V_{OL}	≥ 8

注: 如果图中所标为实际电流方向, 则表中电流不带符号。



3. 测试电路图。

(1) 测电压传输特性,如图 1.1-5 所示。

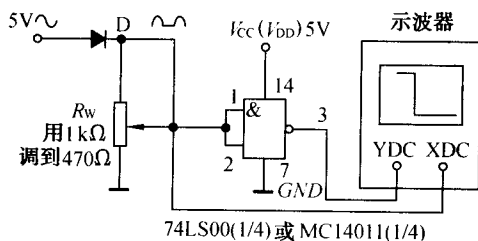


图 1.1-5 电压传输特性测量电路

(2) 测 TTL 电路输入特性,如图 1.1-6 所示。

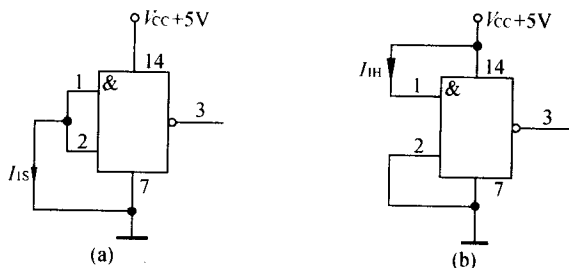


图 1.1-6 输入特性测量电路

(3) 测 TTL 电路输出特性,如图 1.1-7 所示。

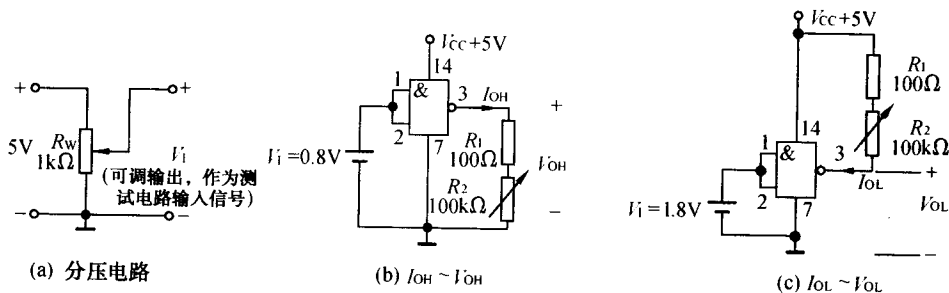


图 1.1-7 输出特性测量电路

三、实验内容

1. 用示波器测试 TTL 74LS00 型与非门的电压传输特性。
2. 用电压表、电流表测量 TTL 74LS00 型与非门输入、输出特性。
3. 从电压传输特性曲线,输入、输出特性曲线上找出与非门的主要参数。

四、实验仪器与器件

1. 通用板——可插接标准双列直插插座的实验电路板(1 块)。
2. 可调直流稳压电源(供电 +5V)(1 台)。
3. 万用表(1~2 只)。



4. 函数信号发生器(1 台)。
5. 双踪示波器(1 台)。
6. 实验器件。
 - (1) 74LS00(1 片)。
 - (2) 二极管: 2CP 或 4148(1 只)
 - (3) 电位器: 1k Ω 、100k Ω (各 1 只)。
 - (4) 电阻: 100 Ω (1 只)。
 - (5) 导线(若干)。

五、实验报告要求

1. 用坐标纸画出 74LS00 的电压传输特性曲线及输入、输出特性曲线。
2. 整理实验结果, 求出 V_{OH} , V_{OL} , V_{ON} (V_{IHmax}), V_{OFF} (V_{ILmin}) 及转折电压 V_{TH} 。
3. 在传输特性曲线上标出噪声容限 V_{NI} , V_{NI} 的范围。

六、实验预习要求

1. 复习 TTL 门电路的工作原理。
2. 熟悉实验用 TTL 门电路的管脚排列。
3. 根据实验原理图画出其相应的实验接线图。
4. 画好验证用实验表格。

七、思考题

1. 如果用 TTL 门电路点亮 LED 发光二极管, 请问你是用高电平还是用低电平驱动? 是否需要限流电阻? 为什么?
2. 当需要反相器时, 我们可以用以下三种方法实现:
 - (1) 将 74LS00 门电路的二输入端并联。
 - (2) 将 74LS00 门电路的一输入端通过电阻接 V_{CC} 。
 - (3) 将 74LS00 门电路的一输入端直接接 V_{CC} 。
 试分析上述三种方法之间的优劣。

中级篇 2: CMOS 集成逻辑门的参数测量

一、实验目的

1. 学习掌握 CMOS 集成与非门的逻辑功能。
2. 学习掌握 CMOS 集成电路主要参数测试方法。

二、实验原理

- 4011(CMOS)四2输入与非门电路的引脚与74LS00四2输入与非门电路相同,如图1.1-1所示。
- 电压传输特性如图1.1-8所示。

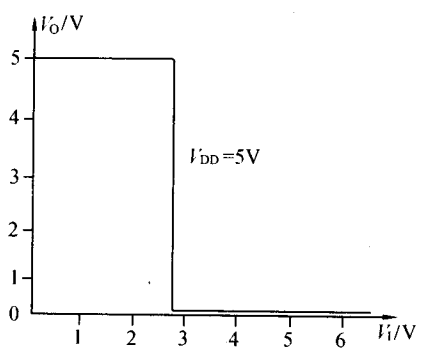


图 1.1-8 电压传输特性

4011 型与非门主要性能参数($V_{DD}=5V$)如表 1.1-4 所示。

表 1.1-4 4011 型与非门主要性能参数

参数名称	符号	单位	测试条件	规范值
输出高电平	V_{OH}	V	$V_i=0V$	4.95
输出低电平	V_{OL}	V	$V_i=5V$	0.05
输出高电平电流	I_{OH}	mA	$V_i=0V, V_o=4.6V$	0.88
输出低电平电流	I_{OL}	mA	$V_i=5V, V_o=0.4V$	0.88
输入漏电流	I_{IH}	μA	$V_i=5V$	0.1
输入短路电流	I_{IS}	μA	$V_i=0V$	0.1
开门电平	V_{ON}	V	$V_o=4.5V$	1.5
关门电平	V_{OFF}	V	$V_o=0.5V$	3.5
传输延迟时间	t_{pd}	ns		5
输入电容	C_i	pF		7.5
静态功耗	P	mW		5×10^{-3}

- 测试电路图：测试电压传输特性的电路图如图 1.1-5 所示。

三、实验内容

- 用示波器测试 CMOS4011 与非门的电压传输特性。
 - $V_{DD}=+5V$ 时。
 - $V_{DD}=+15V$ 时。
- 从电压传输特性曲线找出与非门的主要参数。



四、实验仪器与器件

1. 通用板——可插接标准双列直插插座的实验电路板(1块)。
2. 可调直流稳压电源(供电 +5, +15V)(1台)。
3. 万用表(1~2只)。
4. 函数信号发生器(1台)。
5. 双踪示波器(1台)。
6. 实验器件。
 - (1) 4011(1片)。
 - (2) 二极管: 2CP 或 4148(1只)。
 - (3) 电位器: 1k Ω (1只)。

五、实验报告要求

1. 用坐标纸画出 4011 的电压传输特性曲线。
2. 整理实验结果, 求出 V_{OH} , V_{OL} , V_{ON} , V_{OFF} 及转折电压 V_{TH} 。
3. 在传输特性曲线上标出噪声容限 V_{NI} , V_{NH} 的范围。

六、实验预习要求

1. 复习 CMOS 门电路的工作原理。
2. 熟悉实验用 CMOS 门电路的管脚排列。
3. 根据实验原理图画出其相应的实验接线图。
4. 画好实验用表格。

七、思考题

1. CMOS 门电路输入端是否允许悬空? 一般对其如何处理?
2. CMOS 门电路的电源电压有何要求?

高级篇: 基本 TTL、CMOS 器件的参数测量与应用设计

要求学生根据实验题目及提要, 自己组织实验并写出完整的实验报告。

一、TTL 74LS04及CMOS 74HC04门电路传输延时 T_{pd} 参数的测量实验

1. 内容提要。

如图 1.1-9 所示为 TTL 非门接成的环形振荡器电路, 其振荡频率与 TTL 门电路传输延时 T_{pd} 参数有关。要求用示波器观察, 并画出 TTL 74LS04、CMOS 74HC04 各门电路相应的输出波形, 计算相应的频率。



2. 电路图(图 1.1-9)。

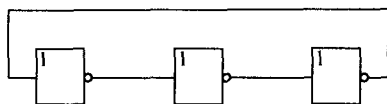


图 1.1-9 环形振荡器电路

3. 注意事项。

由于本实验振荡频率较高,必要时采用高频示波器进行测量。

二、TTL门电路及CMOS门电路动态尖峰电流的测量实验

1. 内容提要。

(1) 将 74LS04 门电路的 V_{CC} 与电源间串接一 10Ω 电阻,并让 74LS04 门电路工作在 1kHz,利用示波器观察 74LS04 门电路 V_{CC} 对地电压的波形,并绘出波形。

(2) 用同样方法观察 CMOS 4049 门电路的 V_{DD} 对地电压的波形。

(3) V_{CC} 或 V_{DD} 对地接一 $0.01\mu F$ 的电容,观察该电容对上述波形的影响。

(4) 分析上述实验结果。

2. 电路图(图 1.1-10)。

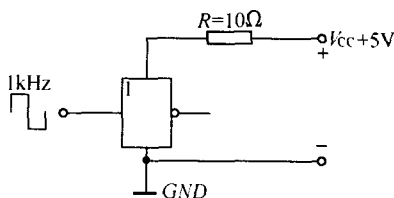


图 1.1-10 门电路动态尖峰电流的测量电路图

三、CMOS门电路组成线性放大器实验

1. 内容提要。

使用 CMOS 4049 组成线性放大器原理图如图 1.1-11 所示(注意:输入信号加载时应加隔离电容;为防止 CMOS 芯片自锁,应将闲置不用的反相器输入端接地)。

测量如下参数:

(1) $R_1 = 100k\Omega$, $R_2 = 10k\Omega$, 测量其闭环放大倍数。

(2) 用负载电阻法测量输出阻抗。

(3) 测量单个门电路的开环放大倍数。

(4) 将 3 个反相器串联,测量闭环和开环放大倍数。

(5) 将 3 个反相器并联,测量闭环和开环放大倍数。

2. 电路图(图 1.1-11)。

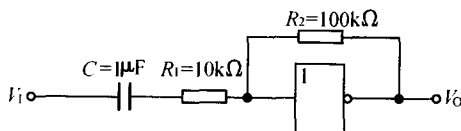


图 1.1-11 用反相器组成线性放大器原理图