

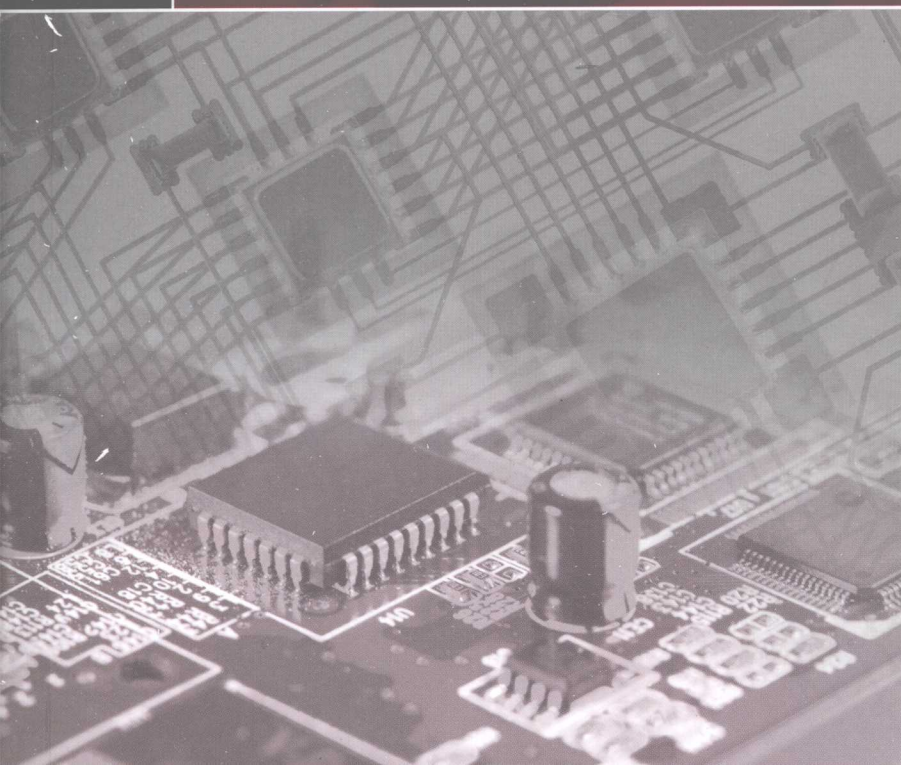
HZ BOOKS
华章教育

21
世纪

高等院校电子信息类本科规划教材

数字电路与逻辑设计 实验教程

张亚君 陈 龙 编著



机械工业出版社
China Machine Press

TN79-43
549
1F

21
纪

高等院校电子信息类本科规划教材

数字电路与逻辑设计 实验教程

张亚君 陈 龙 编著



机械工业出版社
China Machine Press

本书是根据国家教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子电气基础课程教学指导分委员会提出的“数字电路与逻辑设计”课程教学基本要求而编写的。

全书共分为5章,第1章为实验基本知识;第2章为数字电路与逻辑设计基本实验;第3章为电路仿真设计软件 Multisim 在数字电路实验中的应用;第4章为数字电路与逻辑设计综合实验;第5章为数字电路的 FPGA 实现;附录部分汇编了常用仪器使用说明、常用数字集成电路的引脚排列和逻辑符号以及常用文字符号说明等内容。本教材既有助于巩固学生对理论知识的理解,又着重培养学生的动手能力、设计能力和实践创新能力。

本书可作为高等院校电子、电气、自动化、机电一体化等相关专业的实践指导教程,也可作为相关专业工程技术人员的学习与参考用书。

版权所有,侵权必究。

本书法律顾问 北京市展达律师事务所

图书在版编目(CIP)数据

数字电路与逻辑设计实验教程 / 张亚君, 陈龙编著. —北京: 机械工业出版社, 2008.8
(21 世纪高等院校电子信息类本科规划教材)

ISBN 978-7-111-24796-8

I. 数… II. ①张… ②陈… III. 数字电路-逻辑设计-实验-高等学校-教材 IV. TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 115648 号

机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑: 盛东亮

北京京北印刷有限公司印刷 · 新华书店北京发行所发行

2008 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

184mm×260mm · 10.5 印张

标准书号: ISBN 978-7-111-24796-8

定价: 20.00 元

凡购本书, 如有倒页、缺页、脱页, 由本社发行部调换
本社购书热线: (010) 68326294

前 言

为了适应教育事业的发展及国家人才培养的需要,作为国家级实验教学示范中心的杭州电子科技大学电工电子实验中心应具有鲜明的开创性及示范作用;为此,该中心的全体教师在不断提升教学理念的同时,进行了卓有成效的教学改革。本实验教程根据国家教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子电气基础课程教学指导分委员会提出的“数字电路与逻辑设计”课程教学基本要求以及杭州电子科技大学的教学大纲与实践课程设置情况,结合作者多年的教学与科研经验,并参考诸多相关优秀教材编写而成。

本实验教程内容十分丰富,由浅入深,逐渐加大实验难度和复杂性。本教程既有验证性实验,又有设计性和应用性的综合实验;既有基础实验,又有提高部分实验;既有硬件电路实验,又有软件仿真实验。本教程共分5章,具体安排如下:

第1章为实验基本知识,介绍了数字集成电路的发展、命名规则及使用规则,给出了数字电路中的常见故障及其分析方法,说明了要完成本实验的基本要求。

第2章为数字电路与逻辑设计基本实验,是本书的核心内容之一,本章包括11个基本实验,每个基本实验又分为基础实验和提高部分的设计性及应用性综合实验。基础实验给出了具体的实验方法及实验电路,基础实验是侧重培养学生掌握基本知识、基本技能和常用仪器仪表的使用方法的实验。提高部分实验则要求学生根据提示自己拟定实验方案和设计实验电路,该部分实验着重培养学生对中规模及大规模数字集成电路的应用能力。

第3章为电路仿真设计软件 Multisim 在数字电路实验中的应用,介绍了电路仿真设计软件 Multisim 的基本使用方法,详细阐述了如何使用该仿真软件进行组合电路和时序电路设计。

第4章为数字电路与逻辑设计综合实验,是本书的另一个核心内容,本章包括11个综合实验,要求学生在完成前面的基本实验后再选做本章综合性实验,在做这部分实验时要求学生采用软硬件相结合的方法,先进行软件仿真再搭建硬件电路。通过本章的综合实验培养学生独立思考能力与创新能力,利用现代数字系统设计的方法进行数字系统设计的能力,以达到巩固理论教学内容,提高学生工程设计能力和独立工作能力的目的。

第5章为数字电路的FPGA实现,给出了使用 Quartus II 软件进行电路设计和开发的流程,阐述了采用图形输入法和文本输入法进行组合电路和时序电路设计的方法。

本书最后为附录部分，汇编了常用仪器的使用说明、常用数字集成电路的引脚排列与逻辑符号以及常用文字符号说明等内容，供学生在实验、课程设计和毕业设计中查阅参考。

本教程由张亚君、陈龙编著，其中第1章和第2章由张亚君执笔，第3章、第4章、第5章及附录部分由陈龙执笔；全书的组织和审定工作由张亚君完成。在本书编写过程中，得到了杭州电子科技大学电子信息学院的领导和电工电子实验教学示范中心的领导及全体教师的关心和支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免有欠妥、疏漏和错误之处，恳请读者指正。

编 者

2007年10月

目 录

前言

第 1 章	实验基本知识	1
1.1	数字集成电路器件简介	1
1.1.1	数字集成电路发展史	1
1.1.2	数字集成电路分类	1
1.2	集成电路的命名规则	6
1.2.1	我国集成电路的型号命名方法	6
1.2.2	国外部分公司及产品代号	7
1.3	数字集成电路的使用规则	7
1.3.1	CMOS 电路的使用规则	7
1.3.2	TTL 集成电路使用规则	8
1.4	数字电路中的常见故障及检测	8
1.4.1	数字电路中的常见故障	8
1.4.2	数字电路中的常见故障检测	9
1.5	实验要求	10
1.5.1	课前应做的准备工作	10
1.5.2	实验注意事项	11
1.5.3	实验报告的要求	11
第 2 章	数字电路与逻辑设计基本实验	12
2.1	TTL 和 CMOS 集成门电路参数测试	12
2.1.1	实验目的	12
2.1.2	实验仪器及器件	12
2.1.3	实验原理	12
2.1.4	实验内容	14
2.1.5	思考题	17
2.2	TTL 集电极开路门和三态门逻辑功能测试及应用	17
2.2.1	实验目的	17
2.2.2	实验仪器与器件	18
2.2.3	实验原理	18

2.2.4	实验内容	20
2.2.5	思考题	22
2.3	编码器、译码器的应用	22
2.3.1	实验目的	22
2.3.2	实验仪器与器件	22
2.3.3	实验原理	23
2.3.4	实验内容	27
2.3.5	思考题	28
2.4	数据选择器的应用	28
2.4.1	实验目的	28
2.4.2	实验仪器与器件	28
2.4.3	实验原理	29
2.4.4	实验内容	33
2.4.5	思考题	35
2.5	全加器的应用	35
2.5.1	实验目的	35
2.5.2	实验仪器与器件	35
2.5.3	实验原理	36
2.5.4	实验内容	42
2.5.5	思考题	44
2.6	组合逻辑电路的设计	44
2.6.1	实验目的	44
2.6.2	实验仪器与器件	44
2.6.3	实验原理	44
2.6.4	实验内容	48
2.6.5	思考题	48
2.7	触发器与计数器的应用	48
2.7.1	实验目的	48
2.7.2	实验仪器与器件	48
2.7.3	实验原理	49
2.7.4	实验内容	56
2.7.5	思考题	57

2.8	移位寄存器的应用	57	3.3	Multisim 中常用仪器简介	86
2.8.1	实验目的	57	3.3.1	数字万用表	86
2.8.2	实验仪器与器件	57	3.3.2	函数信号发生器	86
2.8.3	实验原理	58	3.3.3	示波器	87
2.8.4	实验内容	62	3.3.4	逻辑转换仪	87
2.8.5	思考题	63	3.3.5	逻辑分析仪	88
2.9	时序逻辑电路的设计	64	3.4	用 Multisim 分析和设计数字 逻辑电路	89
2.9.1	实验目的	64	3.4.1	用 Multisim 分析电路举例	89
2.9.2	实验仪器与器件	64	3.4.2	用 Multisim 设计组合电路	91
2.9.3	实验原理	64	3.4.3	用 Multisim 设计时序电路	93
2.9.4	实验内容	67			
2.9.5	思考题	68	第 4 章	数字电路与逻辑设计综合实验	96
2.10	A/D、D/A 转换器的应用	68	4.1	小型数字系统设计	96
2.10.1	实验目的	68	4.1.1	小型综合数字系统实验介绍	96
2.10.2	实验仪器与器件	68	4.1.2	系统设计步骤	96
2.10.3	实验原理	68	4.1.3	系统设计中应考虑的几个 问题	97
2.10.4	实验内容	70	4.2	用 Multisim 设计小型数字系统	98
2.10.5	思考题	72	4.2.1	设计任务与要求	98
2.11	脉冲波形的产生与整形	73	4.2.2	设计说明和提示	98
2.11.1	实验目的	73	4.3	数字钟计时系统的 Multisim 仿真	98
2.11.2	实验仪器与器件	73	4.3.1	振荡器的设计	98
2.11.3	实验原理	73	4.3.2	分频器的设计	99
2.11.4	实验内容	77	4.3.3	计数器的设计	99
2.11.5	思考题	78	4.3.4	显示器和译码器的设计	101
			4.3.5	数字钟计时系统电路及 附加功能设计	102
第 3 章	电路仿真设计软件 Multisim 在 数字电路实验中的应用	79	4.4	交通灯控制系统设计	103
3.1	Multisim 10 简介	79	4.4.1	设计任务与要求	103
3.1.1	Multisim 10 基本界面简介	79	4.4.2	设计说明和提示	104
3.1.2	Multisim 菜单栏和工具栏	80	4.5	数字频率计设计	104
3.1.3	Multisim 菜单栏	80	4.5.1	设计任务与要求	104
3.2	Multisim 工具栏介绍	81	4.5.2	设计说明和提示	105
3.2.1	标准工具栏	81	4.6	直流数字电压表设计	105
3.2.2	仿真工具栏	81	4.6.1	设计任务与要求	105
3.2.3	主要工具栏	82	4.6.2	设计说明和提示	105
3.2.4	视图工具栏	83	4.7	智力竞赛抢答器设计	106
3.2.5	虚拟(元件)工具栏	83	4.7.1	设计任务与要求	106
3.2.6	元件工具栏	84	4.7.2	设计说明和提示	106
3.2.7	图表注释工具栏	84			
3.2.8	仪器工具栏	85			

4.8	电子锁设计	107		
4.8.1	设计任务与要求	107		
4.8.2	设计说明和提示	107		
4.9	两人乒乓游戏机设计	108		
4.9.1	设计任务与要求	108		
4.9.2	设计说明和提示	108		
4.10	直接数字频率合成器设计	108		
4.10.1	实验原理	109		
4.10.2	设计说明和提示	109		
4.11	电子脉搏计设计	110		
4.11.1	设计任务与要求	110		
4.11.2	设计说明和提示	110		
4.12	彩灯变幻控制器设计	110		
4.12.1	设计任务与要求	111		
4.12.2	设计说明和提示	111		
4.13	复印机数显逻辑控制电路设计	111		
4.13.1	设计任务与要求	111		
4.13.2	设计说明和提示	112		
第 5 章	数字电路的 FPGA 实现	113		
5.1	Quartus II 简介	113		
5.2	用 Quartus II 软件设计组合逻辑电路	114		
5.2.1	实验目的	114		
5.2.2	实验设备及主要器件	114		
5.2.3	实验原理	114		
5.2.4	实验内容与步骤	114		
5.2.5	实验报告要求	117		
5.2.6	思考题	117		
5.3	用 Verilog HDL 语言设计门电路及加法器	117		
5.3.1	实验目的	117		
5.3.2	实验设备及主要器件	117		
5.3.3	实验原理	117		
5.3.4	实验内容及步骤	119		
5.3.5	实验报告要求	120		
5.3.6	思考题	120		
5.4	用 Verilog HDL 语言设计编码器和译码器	120		
5.4.1	实验目的	120		
5.4.2	实验设备及主要器件	120		
5.4.3	实验原理	120		
5.4.4	实验内容与步骤	124		
5.4.5	实验报告要求	125		
5.4.6	思考题	125		
5.5	用 Verilog HDL 语言设计触发器和寄存器	126		
5.5.1	实验目的	126		
5.5.2	实验设备及主要器件	126		
5.5.3	实验原理	126		
5.5.4	实验内容及步骤	131		
5.5.5	实验报告要求	132		
5.5.6	思考题	132		
5.6	用 Verilog HDL 语言设计同步计数器和分频器	132		
5.6.1	实验目的	132		
5.6.2	实验设备及主要器件	132		
5.6.3	实验原理	132		
5.6.4	实验内容与步骤	135		
5.6.5	实验报告要求	136		
5.6.6	思考题	136		
附录 A	SBL 型数字系统实验仪简介	137		
附录 B	示波器使用简介	139		
附录 C	MODEL 500HA 万用电表使用说明书	146		
附录 D	常用数字集成电路引脚排列及逻辑符号	150		
附录 E	常用文字符号说明	153		
参考文献		157		

第 1 章 实验基本知识

1.1 数字集成电路器件简介

1.1.1 数字集成电路发展史

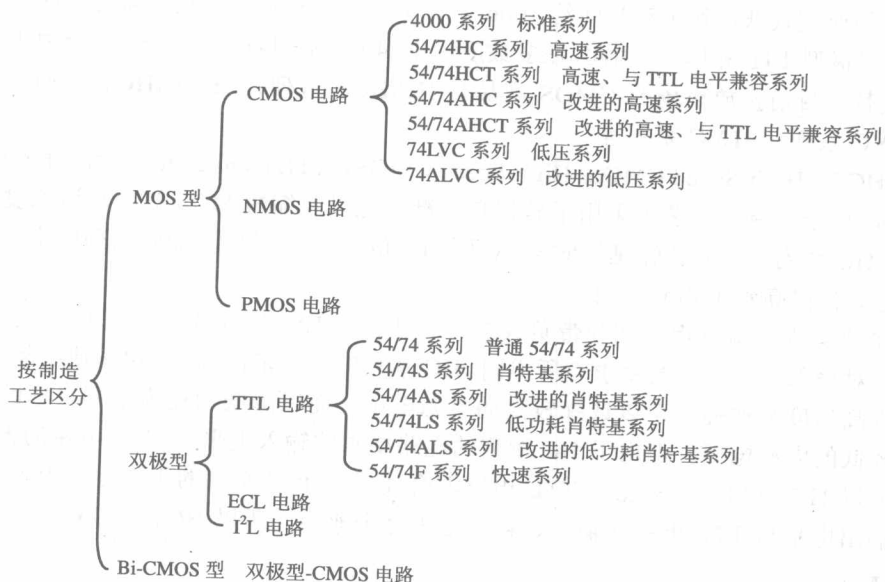
世界上第一块集成电路的出现是在 1959 年, 而我国集成电路的研制工作在 1963 年刚刚开始。最初的几年, 我国只能生产一些小规模 TTL 集成电路器件, 由于没有标准可循, 产品没有规范化。在 1971 年至 1979 年间我国陆续制定了质量评定标准及 TTL、HTL、ECL、CMOS 等系列器件标准, 但限于当时的设备条件和工艺水平, 所生产的品种难以与国外通用品种互换, 随着技术的不断进步, 这些器件将被淘汰。

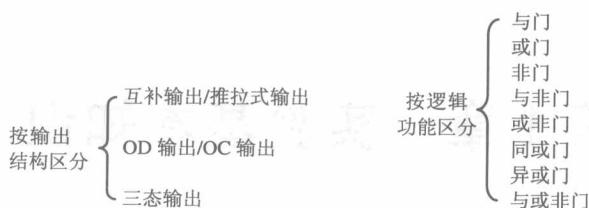
1979 年后我国优选国外通用品种作为标准以指导集成电路制造者和使用者的选型, 这些品种的质量评定符合国际电工委员会的规定。

目前国产数字集成电路主要有 TTL、ECL、CMOS 三类产品, 其中 TTL 和 CMOS 是产量大、应用广泛的主流产品。这两类电路围绕着速度、功耗等关键性能指标展开激烈的竞争, 因此得到了迅速的发展。而使用者在设计和搭建数字电路时, 上述三类产品可以相互补充, 发挥各自所长, 获得最佳使用效果。

1.1.2 数字集成电路分类

目前生产和使用的数字集成电路种类众多, 可以从制造工艺、输出结构和逻辑功能三个方面分别归类如下:





ECL、TTL 为双极型集成电路，构成的基本元器件为双极型半导体器件，其主要特点是速度快、负载能力强，但功率较大、集成度较低。双极型集成电路主要有 TTL (Transistor-Transistor Logic) 电路、ECL (Emitter Coupled Logic) 电路和 I^2L (Integrated Injection Logic) 电路等类型。由于 TTL 电路的性价比最高，所以应用非常广泛，其中又以 74 系列集成电路的应用最为广泛。

MOS 电路为单极型集成电路，又称为 MOS 集成电路，它采用金属-氧化物半导体场效应管 (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor, MOSFET) 制造工艺，主要特点是结构简单、制造方便、集成度高、功耗低，但速度较慢。MOS 集成电路又分为 PMOS (P-channel Metal Oxide Semiconductor, P 沟道金属氧化物半导体)、NMOS (N-channel Metal Oxide Semiconductor, N 沟道金属氧化物半导体) 和 CMOS (Complement Metal Oxide Semiconductor, 复合互补金属氧化物半导体) 等类型。MOS 电路中应用最广泛的为 CMOS 电路，CMOS 数字集成电路与 TTL 数字集成电路一起成为两大主流产品。Bi-CMOS 是双极型 CMOS (Bipolar-CMOS) 电路的简称，其特点是逻辑部分采用 CMOS 结构，输出级采用双极型晶体管，因此兼有 CMOS 电路的低功耗和双极型电路输出阻抗低的优点。

综上所述，TTL 系列、CMOS 系列是通用性最强、应用最广泛的数字集成电路，因此我们将重点介绍这两个系列。

1. CMOS 数字集成电路的各种系列

早期的 CMOS 产品主要是 4000 系列，由于受当时的制造工艺水平及设备条件限制，4000 系列产品的速度较低，其传输时间约 100ns，带负载能力较弱，而且不易与当时最流行的逻辑系列——双极型 TTL 相匹配。因此，在多数应用中，4000 系列被后来推出的、能力更强的 CMOS 系列所代替。目前投放市场的 CMOS 产品有 HC/HCT 系列、AHC/AHCT 系列、VHC/VHCT 系列、LVC 系列、ALVC 系列等。

HC/HCT (High-Speed CMOS/ High-Speed CMOS, TTL compatible) 是高速 CMOS 逻辑系列的简称。由于在制造工艺上采用了硅栅自对准工艺以及缩短 MOS 管的沟道长度等一系列改进措施，HC 系列产品的传输延迟时间缩短到了 10ns 左右，仅为 4000 系列的十分之一，并且带负载能力也提高到了 4mA 左右。

HCT 系列在传输延迟时间和带负载能力上基本与 HC 系列相同，区别在于它们的工作电压范围和对输入信号电平的要求有所不同。HC 系列的电压范围为 2~6V，使用起来比较灵活，如果以提高速度为前提，可以选择较高的电源电压；而以降低功耗为主要目标的情况下，可以选用较低的电源电压。但由于 HC 系列的电路要求的输入电平与 TTL 电路的输出电平不匹配，所以 HC 系列电路不能与 TTL 电路混合使用。HCT 系列的工作电压固定在 5V，它的输入、输出电平与 TTL 电路的输入、输出电平完全兼容，所以 HCT 与 TTL 可以混合使用于同一系统。

AHC/AHCT (Advanced High-Speed CMOS/Advanced High-Speed CMOS, TTL compatible) 是改进的高速 CMOS 逻辑系列的简称。这两种改进后的系列与 HC/HCT 相比, 工作速度及带负载能力都提高了近一倍, 同时又与 HC/HCT 系列产品完全兼容, 为使用者带来了很大的方便。因此, AHC/AHCT 系列是目前最受欢迎、应用最广的 CMOS 器件。AHC/AHCT 系列的区分同 HC 与 HCT 系列的区分一样, 主要表现在工作电压范围和对输入电平的不同要求上。VHC/VHCT 系列与 AHC/AHCT 系列主要性能基本相近, 由于不是同一公司生产的产品, 所以在某些具体的参数上会略有不同。

LVC 系列是 TI 公司 (德州仪器公司) 20 世纪 90 年代推出的低压 CMOS (Low-Voltage CMOS) 逻辑系列的简称。LVC 系列不仅能在 1.65~3.3V 的低电压下工作, 而且传输延迟时间也缩短至 3.8ns。同时, 它又能提供更大的负载电流, 在电源电压为 3V 时, 最大负载电流可达 24mA。此外, LVC 的输入可以接受高达 5V 的高电平信号, 也能够很容易将 5V 的电平信号转换为 3.3V 以下电平信号, 而 LVC 系列所提供的总线驱动电路又能将 3.3V 以下的电平转换为 5V 的输出信号, 这就为 3.3V 系统与 5V 系统之间的连接提供了便捷的解决方案。

ALVC (Advanced Low-Voltage CMOS) 系列是 TI 公司于 1994 年推出的改进低压 CMOS 逻辑系列。ALVC 在 LVC 的基础上进一步提高了工作速度, 并提供了性能更加优越的总线驱动器件。LVC 和 ALVC 是目前 CMOS 电路中性能最好的两个系列, 可以满足高性能数字系统设计的需要。尤其在便携式的移动电子设备中, LVC 和 ALVC 系列的优势更加明显。

表 1-1 是以 TI 公司生产的不同系列反相器 (74xx04) 为例列出了各种 CMOS 系列电路的主要性能参数。我们讨论的 CMOS 器件都有形如 “54/74FAMnn” 的元件号码, 其中的 “FAM” 为按字母排列的助记符, nn 为用数字表示的功能标号, 且 nn 相同的不同系列器件其功能相同。如器件名称 54/74HC04 中, “54/74” 是 TI 公司产品的标志; “HC” 是不同系列的名称, 这是高速 CMOS 系列, 后面的数字 “04” 表示器件具体的逻辑功能, 它是一个 “六反相器” (即一块芯片上封装了六个相同的反相器)。对于不同系列的器件, 只要器件名称中最后的数码相同, 它的逻辑功能就相同。但不同系列的器件的电器性能参数就大不一样了。“54” 和 “74” 系列的区分主要在于允许的环境工作温度不同。“54” 系列允许的环境工作温度为 -55~+125℃, 而 “74” 系列的允许环境工作温度为 -40~+85℃。

表 1-1 各种 CMOS 系列门电路的性能比较 (以 74 系列为例)

参数名称与符号	74xx04					
	74HC	74HCT	74AHC	74AHCT	74LVC	74ALVC
电源电压范围 V_{DD}/V	2~6	4.5~5.5	2~5.5	4.5~5.5	1.65~3.6	1.65~3.6
输入高电平最小值 $V_{IH(min)}/V$	3.15	2	3.15	2	2	2
输入低电平最大值 $V_{IL(max)}/V$	1.35	0.8	1.35	0.8	0.8	0.8
输出高电平最小值 $V_{OH(min)}/V$	4.4	4.4	4.4	4.4	2.2	2.0
输出低电平最大值 $V_{OL(max)}/V$	0.33	0.33	0.44	0.44	0.55	0.55
高电平输出电流最大值 $I_{OH(max)}/mA$	-4	-4	-8	-8	-24	-24
低电平输出电流最大值 $I_{OL(max)}/mA$	4	4	8	8	24	24
高电平输入电流最大值 $I_{IH(max)}/\mu A$	0.1	0.1	0.1	0.1	5	5
低电平输入电流最大值 $I_{IL(max)}/\mu A$	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-5	-5

(续)

参数名称与符号	74xx04					
	74HC	74HCT	74AHC	74AHCT	74LVC	74ALVC
平均传输延迟时间 t_{pd}/ns	9	14	5.3	5.5	3.8	2
输入电容最大值 C_i/pF	10	10	10	10	5	3.5
功耗电容 C_{pd}/pF	20	20	12	14	8	27.5

2. TTL 数字集成电路的各种系列

同样以 TI 公司生产的 TTL 产品为例, 这些最初生产的 TTL 电路命名为 SN54/74 系列, 也称为 TTL 的基本系列。(54 系列和 74 系列的主要区别在于工作环境温度范围和电源允许的变化范围不同。)随着生产工艺水平的不断提高, 同时为了满足提高工作速度和降低功耗的需要, 继 54/74 系列之后又相继生产了 74H、74L、74S、74AS、74LS、74ALS、74F 等改进系列。

74H (High-Speed TTL) 高速 TTL 系列, 是在基本系列的基础上, 通过减小电路中各个电阻的阻值缩短了传输延迟时间, 提高了速度, 但同时也增加了功耗。而 74L (Low-power TTL) 称为低功耗 TTL 系列, 是在基本系列的基础上, 通过加大电路中各个电阻的阻值降低了功耗, 但是增加了传输时间。可见, 以上两种改进系列都不能满足既降低功耗又减少传输延迟时间的要求。如果用传输延迟时间和功耗的乘积 (delay-power product, 简称 dp 积) 来表示门电路的综合性能的话, 那么 74H 和 74L 系列的 dp 积并未减小, 也就说明它的综合性能并未得到改善。因此, 这两个系列的器件都不是理想器件。

74S (Schottky TTL) 系列又称肖特基系列。此系列门电路中的三极管采用的是抗饱和三极管 (或称为肖特基钳位三极管, Schottky-Clamped Transistor)。抗饱和三极管是由普通的双极型三极管和肖特基势垒二极管 (Schottky Barrier Diode, 简称 SBD) 组合而成的。由于 SBD 的开启电压很低, 只有 $0.3\sim 0.4V$, 所以当三极管的 b-c 结进入正向偏置以后, SBD 首先导通, 并将 b-c 结的正向电压钳位在 $0.3\sim 0.4V$, 使 V_{CE} 保持在 $0.4V$ 左右, 从而有效地制止了三极管进入深度饱和状态。

通过对 74 系列门电路的动态过程分析可以知道, 三极管导通时工作在深度饱和状态是产生传输延迟时间的一个主要原因。而 74S 系列采用的抗饱和三极管工作在浅饱和状态, 大大缩短了传输延迟时间, 从而提高了工作速度。

74S 系列电路结构的另一个特点是有源电路代替 74 系列中 VT_2 的发射结电阻, 为 VT_3 管的发射结提供一个有源泄放回路 (具体电路可参考理论课教材), 从而加速了 VT_3 的导通过程以及从导通变为截止的过程。

此外, 引进有源泄放电路还改善了门电路的电压传输特性。所以, 74S 系列门电路的电压传输特性上没有线性区, 更接近于理想的开关特性。而 74S 系列门电路的阈值电压也比 74 系列要低一些, 这是因为 VT_1 为抗饱和三极管, 它的 b-c 间存在 SBD, 所以 VT_3 开始导通所需要的输入电压比 74 系列门电路要低一些, 约 $1V$ 左右。

74S 系列门电路由于采用抗饱和三极管以及采用较小的电阻值, 在强化其优点的同时也带来了缺点。首先是电路的功耗加大了; 其次, 由于输出管 VT_3 脱离了深度饱和状态, 导致了输出低电平升高 (最大值达 $0.5V$ 左右)。

74AS (Advanced Schottky TTL) 系列是为了进一步缩短传输延迟时间而设计的改进系列。在此系列的电路中采用了更低的电阻阻值, 从而提高了工作速度。但它的缺点同样是功耗大,

比 74S 系列的功耗还略大一些。

为了既能提高速度又能降低功耗，既能得到更小的延迟-功耗积，在 74S 的基础上又进一步开发了 74LS (Low-power Schottky TTL) 系列（也称为低功耗肖特基系列）。

此系列电路结构中，为了降低功耗，大幅度地提高了电路中各个电阻的阻值。74LS 系列门电路的功耗仅为 74 系列的五分之一，74H 系列的十分之一。为了缩短传输延迟时间、提高工作速度，沿用了 74S 系列提高工作速度的两个方法——使用抗饱和三极管和引入有源泄放回路。同时，还将输入端的多发射极三极管用 SBD 代替，因为这种二极管没有电荷存储效应，有利于提高工作速度。此外，为进一步加速电路开关状态的转换过程，又接入了 VD₃、VD₄ 这两个 SBD（具体电路可参考理论课教材）。由于采取了这一系列措施，虽然电路阻值增大了很多，但传输延迟时间仍可达到 74 系列的水平。而最主要的是，74LS 系列的延迟-功耗积仅为 74 系列的五分之一，74S 系列的三分之一。

另外，74LS 系列电路的电压传输特性与 74S 相同，也没有线性区，而阈值电压也要比 74 系列低，与 74S 系列相同，约为 1V 左右。

74ALS (Advanced Low-power Schottky TTL) 系列是为了获得更小的延迟-功耗积而设计的改进系列，它的延迟-功耗积是 TTL 电路所有系列中最小的一种。为了降低功耗，电路中采用了较高的电阻阻值。同时，通过改进生产工艺缩小了内部各个器件的尺寸，获得了减小功耗、缩短延迟时间的双重效果。此外，在电路结构中也做了局部改进。

74F (Fast TTL) 系列在速度和功耗两个方面都介于 74AS 和 74ALS 系列之间。可见，74F 的出现给设计人员提供了更广阔的选择余地。

在实际使用当中，过去相当长的一段时间里都以 74LS 系列作为 TTL 的主流产品。估计在不远的将来 74ALS 系列将会取代 74LS 系列而成为 TTL 电路的主流产品。

表 1-2 以 2 输入四与非门 (74××00) 为例列出了各个系列的主要性能参数。对于不同系列的 TTL 电路产品，只要型号最后的数字相同，它们的逻辑功能就是一样的，但电气性能参数可能相差很大。所以，在使用时要有目的地进行选择。

表 1-2 各种系列 TTL 电路（以 74 系列为例）的性能比较

参数名称与符号	74××00					
	74	74S	74AS	74LS	74ALS	74F
输入低电平最大值 $V_{IL(max)}/V$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
输出低电平最大值 $V_{OL(max)}/V$	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
输入高电平最小值 $V_{IH(min)}/V$	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
输出高电平最小值 $V_{OH(min)}/V$	2.4	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
低电平输入电流最大值 $I_{IL(max)}/\mu A$	-1.0	-2.0	-0.5	-0.4	-0.2	-0.6
低电平输出电流最大值 $I_{OL(max)}/mA$	16	20	20	8	8	20
高电平输入电流最大值 $I_{IH(max)}/\mu A$	40	50	20	20	20	20
高电平输出电流最大值 $I_{OH(max)}/mA$	-0.4	-1.0	-2.0	-0.4	-0.4	-1.0
传输延迟时间 t_{pd}/ns	9	3	1.7	9.5	4	3
每个门的功耗/mW	10	19	8	2	1.2	4
延迟-功耗积/pJ	90	57	13.6	19	4.8	12

1.2 集成电路的命名规则

1.2.1 我国集成电路的型号命名方法

国家标准 GB3430—89《半导体集成电路型号命名方法》，规定了我国半导体集成电路各个品种和系列的命名方法。该标准是 1977 年我国选取了与国际 54/74TTL 电路系列完全一致的品种作为优选系列品种，并于 1982 年颁布了 GB3430—82 半导体集成电路型号命名法，1988 年 7 月作了第一次修订。表 1-3 中列出了 GB3430—89 标准，器件的型号由 5 部分组成，各个组成部分的符号及意义如表所示。

表 1-3 半导体集成电路型号命名法（GB3430—89）

第一部分： 国标		第二部分： 电路类型		第三部分： 电路系列和代号	第四部分： 温度范围		第五部分： 封装形式	
字母	含义	字母	含义		字母	含义	字母	含义
C	中国 制造	B	非线性电路	用数字或数字与字母 混合表示集成电路系列 和代号	C	0~70℃	B	塑料扁平
		C	CMOS				C	陶瓷芯片载体封装
		D	音响、电视电路		G	-25~70℃	D	多层陶瓷双列直插
		E	ECL				E	塑料芯片载体封装
		F	线性放大器		L	-25~85℃	F	多层陶瓷扁平
		H	HTL				G	网络阵列封装
		J	接口电路		E	-40~85℃	H	黑瓷扁平
		M	存储器				J	黑瓷双列直插封装
		W	稳压器		R	-55~85℃	K	金属菱形封装
		T	TTL				P	塑料双列直插封装
		μ	微型机电路		M	-55~125℃	S	塑料单列直插封装
		A/D	A/D 转换器				T	金属圆形封装
		D/A	D/A 转换器					
		SC	通信专用电路					
		SS	敏感电路					
		SW	钟表电路					

现举例加以说明。

【例 1-1】低功耗肖特基 TTL 双 4 输入与非门，如图 1-1 所示。

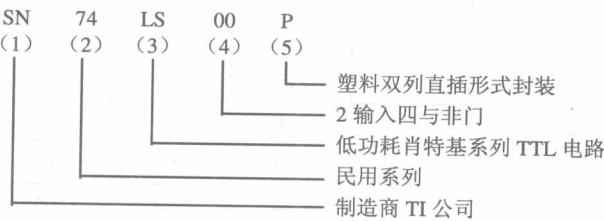


图 1-1 SN74LS00P 的命名

【例 1-2】CMOS 四 2 输入与非门，如图 1-2 所示。

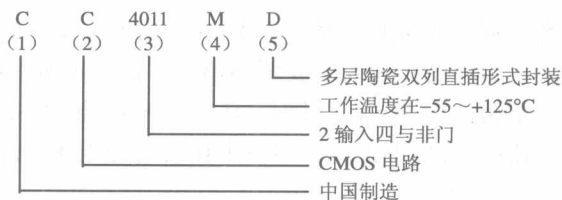


图 1-2 CC4011MD 的命名

1.2.2 国外部分公司及产品代号

国外部分公司及产品代号如表 1-4 所示。

表 1-4 国外部分公司及产品代号

公司名称	产品代号	公司名称	产品代号
美国无线电公司 (RCA)	CA	日本电气公司 (NEC)	μ PC
美国国家半导体公司 (NSC)	LM	日本日立公司 (HIT)	HA, HD
美国摩托罗拉公司 (MOTOROLA)	MC	日本东芝公司 (TOS)	TA
美国仙童公司 (FSC)	μ A	日本三洋公司 (SANYO)	LA, LB
美国德克萨斯仪器公司 (TI)	TL, SN	日本索尼公司 (SONY)	BX, CX
美国模拟器件公司 (ADI)	AD	日本松下公司 (PANASONIC)	AN
美国英特尔公司 (INTEL)	IC	日本三菱公司 (MITSUBISHI)	M
美国悉克尼特公司 (SIC)	NE	德国西门子公司 (SIEMENS)	T

1.3 数字集成电路的使用规则

1.3.1 CMOS 电路的使用规则

由于 CMOS 电路有很高的输入阻抗，这给使用者带来一定的麻烦，即外来的干扰信号很容易在一些悬空的输入端上感应出较高的电压，以致损坏器件。CMOS 电路的使用规则如下：

(1) V_{DD} 接电源正极， V_{SS} 接电源负极（通常接地），不得接反。CC4000 系列的电源允许电压在 3~18V 范围内选择，实验中一般要求使用 5~15V。

(2) 所有输入端一律不准悬空。闲置输入端的处理方法有两种：

- 1) 按照逻辑要求，直接接 V_{DD} （与非门）或 V_{SS} （或非门）；
- 2) 在工作频率不高的电路中，允许输入端并联使用。

(3) 输出端不允许直接与 V_{DD} 或 V_{SS} 连接，否则将导致器件损坏。

(4) 在搭接电路、改变电路连接或插、拔器件时，均应切断电源，严禁带电操作。

(5) 焊接、测试和储存时的注意事项：

- 1) 电路应存放在导电的容器内，有良好的静电屏蔽；
- 2) 焊接时必须切断电源，电烙铁外壳必须良好接地，或拔下烙铁，靠其余热焊接；
- 3) 所有的测试仪器必须良好接地。

1.3.2 TTL 集成电路使用规则

(1) 拿到集成电路器件时, 首先要认清定位标记, 使集成块正面向上, 缺口朝向实验者左边, 然后将该器件安放在相同引脚数的实验箱插槽中, 最后再按下插槽拨杆, 锁紧集成块。

(2) 电源电压使用范围为 $4.5\sim 5.5\text{V}$ (针对 74LS 系列), 超过 5.5V 可能会损坏器件, 而低于 4.5V , 器件的逻辑功能可能会不正常。实验中使用电源电压 V_{CC} 为 $+5\text{V}$, 且电源极性绝对不允许错接。

(3) 闲置输入端处理方法:

1) 悬空, 相当于正逻辑 1。对于一般小规模集成电路多余的输入端, 实验时允许悬空处理, 但易受外界干扰, 导致电路的逻辑功能不正常。因此, 中规模以上的集成电路所有闲置输入端最好按逻辑要求接入电路, 不宜采用悬空的处理方式。

2) 直接接电源电压 V_{CC} , 串接 $(1\sim 10)\text{k}\Omega$ 的电阻到电源电压上或接至某一固定电压 ($2.4\sim 5\text{V}$) 的电源上。

3) 若前级驱动能力允许, 可以与其他使用的输入端并接。

(4) TTL 电路输入端通过电阻接地, 电阻值的大小将直接影响电路所处的状态。一般情况下, 当 R 小于几百欧时, 输入端相当于逻辑 0; 当 R 大于几千欧时, 输入端相当于逻辑“1”。对于不同系列器件, 要求的阻值不同。

(5) TTL 集成电路输出端不允许并联使用 (集电极开路 (OC) 与非门和三态 (3S) 输出门电路除外), 否则不仅会使电路逻辑功能混乱, 还会导致器件损坏。

(6) 输出端不允许直接接地或直接接 $+5\text{V}$ 电源, 否则将损坏器件。有时为了使后级电路获得较高的输出电压 (例如 CMOS 电路), 允许输出端通过电阻 R (称为提升电阻) 接至 V_{CC} , 一般取 $R = (3\sim 5.1)\text{k}\Omega$ 。

1.4 数字电路中的常见故障及检测

1.4.1 数字电路中的常见故障

对已设计好的电路进行实验的过程中, 如电路达不到预期的功能, 则该电路存在故障。产生故障的原因主要有以下几个方面。

1. 电路设计错误

这里的设计错误, 不是指电路逻辑功能错误, 而是指所用器件和电路各器件在时序配合上的错误。例如, 电路动作的边沿选择与电平选择不恰当; 由于电路延迟时间引起的冒险; 电路不能自启动, 即计数器在进入了非工作循环状态后, 不能转入正常的循环等。这些都是我们在设计电路时要慎重考虑的因素。

2. 电源问题

电源问题主要表现在两个方面: 电源漏接和电源错接。其中电源漏接现象在学生实验中非常普遍。由于我们在画逻辑电路图时, 一般不标出电源, 这使得学生很容易漏接电源。事实上, 每片集成电路只有在加上额定电压时才能正常工作, 完成其逻辑功能。其中 V_{CC} 接电源正极, GND 接电源负极。对于 TTL 电路, 其电源电压为 $+5\text{V}$, 错误的电压值可能导致芯片不能工作甚至损坏。另外, 在接电源时, 要防止电源短路。

3. 集成电路使用不当

集成电路使用不当包括以下几个方面的问题：

- 1) 插拔电路不当，造成集成电路引脚弯曲甚至折断；
- 2) 在电路较复杂，使用集成电路较多时，未弄清集成电路的型号就想当然地接线，比如错把 74LS74 当成 74LS76 接线，这样非但不能实现功能，甚至可能烧坏芯片。
- 3) 集成电路的接插方向不一致，错认了其引脚排列顺序。

4. 接线问题

在数字电路实验中，由错误的布线引起的故障约占所有故障的 70%。这些故障包括漏接、错接、断线和碰线等。所以，合理的布线是实验成功的保障。

1) 布线原则。整齐、清晰、可靠，便于检查和更换芯片。最好不要在芯片周围走线，切忌跨越芯片上空或交错布线。

2) 布线技巧。布线前，先对照集成电路的引脚排列顺序在设计的逻辑电路图上标明芯片的引脚号。这样不但接线速度快，不易出错，而且便于检查。另外，尽可能采用不同颜色的导线，如红色线接电源，黑色线接地，绿色接信号等。

3) 布线顺序。布线要有顺序，不要随意乱接线，避免造成漏接。首先将所有芯片的电源、地线和固定不变的输入端（如多余的输入端、触发器不用的清零、置位端等）接好，这些连线要尽可能短，使之尽量接近电源正极和负极，并且尽量在集成电路元件的最外围的位置。然后按照信号的流向依次接入信号线、控制线和输出线。除此之外，目前大多数数字电路实验都是采用专用的导线在逻辑实验箱上直接连线，实验前有必要对导线进行检查。

5. 电源耦合问题

由于集成电路形成的电源尖峰电流，在电源内阻上就形成了内部干扰电压。如果这个干扰信号足够大，可能引起电路故障。为消除电源耦合，可在电源和地之间接入去耦电容。

1.4.2 数字电路中的常见故障检测

在实验中，我们准备做得越充分，实验中的故障就会越少。但完全不出错，每次都成功是比较困难的，尤其是对于较复杂的电路。那么，出了故障怎么办？有的同学束手无策，有的同学则盲目地一遍一遍地重接，而错误也一次又一次地出现。其实，只要我们清楚数字电路是一个二元系统（只有 0 和 1 两种状态）以及具有逻辑判断能力这两个特点，实验故障就不难发现和排除。

一般情况下，接线完毕后不要马上接通电源，要认真检查一下布线，以防错接和漏接。用万用表欧姆档的 $\times 10$ 档测量一下电源和地之间的电阻，以防短路，待检查无误后，再接通电源。接通电源后，若出现故障，要先摸一下芯片是否发烫。若发烫，要马上关电源，查找错误。切不可立即更换芯片，以防继续损坏。在确保电源正常的情况下，可进行带电检测。静态检测法和动态检测法是数字电路故障检测的基本方法。所谓静态检测，是指在信号电平固定不变的情况下，检查输出电平；而动态检测是指在输入信号为一串脉冲的情况下，检测输出信号和输入信号的波形。

1) 对于组合电路，我们常采用静态法。对照真值表一步一步地检查，当输出错误时，固定此时的输入状态，用万用表的直流电压档先测一下各输入电平是否正常，再按照逻辑图一步一步地测量各个门电路的输入、输出电平，看是否和我们的分析一致。表 1-5 给出了 TTL 器件在不同情况下的引脚电压范围。除了三态门以外，数字电路的输出要么是高电平，要么