



普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术 实验教程

SHUZI DIANZI JISHU SHIYAN JIAOCHENG

主 编 袁小平
副主编 牛小玲 王都霞



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

普通高等教育“十二五”规划教材

数字电子技术实验教程

主 编 袁小平

副主编 牛小玲 王都霞

参 编 冯小龙 陈 烨 王 军 孙 梅



机械工业出版社

本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4章共24个数字电路和数字系统实验。第1章介绍了数字电子技术实验的基础知识,第2章设计了数字电子技术的基础实验和综合性实验。第3章从实验教学内容要及时跟踪现代电子技术的发展状况出发,引入了电子设计自动化(EDA)技术,设计了基于EDA的数字电路设计与仿真实验,主要包括电子电路计算机辅助设计软件 Electronic Workbench 和 MAX + plus II,并且将 AHDL 语言引入数字电子技术实验系统,为进一步进行数字系统设计奠定基础。第4章从数字电子技术课程设计出发,设计了研究型实验课题,并提出了课程设计的参考选题。此外,从实验教材知识的完整性考虑,在附录A和附录B中分别介绍了两种EDA软件的使用方法,附录C介绍了AHDL的使用,附录D介绍了自己研发的DLEB-II型数字逻辑电路实验箱,附录E和附录F介绍了EDA实验开发系统及下载软件,附录G介绍了部分常用TTL数字集成电路及其引脚分布图。本教材简明易懂,可操作性强,可作为电气信息类、计算机类、自动化类、电气类等本科专业学生的数字电子技术实验、EDA实训课题等实践教学教材,也可作为从事电子技术开发的工程人员以及广大爱好者的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术实验教程/袁小平主编. —北京:机械工业出版社,2012.8
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-39166-1

I. ①数… II. ①袁… III. ①数字电路—电子技术—实验—高等学校—教材 IV. ①TN79-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第160451号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:贡克勤 责任编辑:贡克勤 王雅新

版式设计:霍永明 责任校对:张 征

封面设计:路恩中 责任印制:张 楠

北京双青印刷厂印刷

2012年9月第1版·第1次印刷

184mm×260mm·11.25印张·270千字

标准书号:ISBN 978-7-111-39166-1

定价:24.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面无防伪标均为盗版

前 言

“数字电子技术实验”是“数字电子技术”课程重要的实践性环节，通常是独立设课、单独考试的实验课程，具有较强的实践性。通过实验，学生可巩固和加深对数字电子技术理论知识的理解，掌握数字电路综合设计的方法，培养独立分析问题和解决问题的能力及创新实践能力，培养严肃认真的科学作风。

为满足不同专业、不同层次的实验教学要求，本书通过总结“数字电子技术”课程组的全体教师实验教学改革和实践的经验，从人才培养整体体系出发，以能力培养为主线，通过分层次实验，建立了一套系统的实验教学体系。实验体系内容与理论教学有机衔接，互相渗透，相辅相成，力图体现现代电子技术的基础教学与发展方向。具体表现在：

1. 体现先进性

及时跟踪现代电子技术的最新成果，将 EDA 技术、HDL 语言等新技术引入实验教学，进一步提高电类学生的计算机应用设计能力，提高学生的电子系统设计能力。

2. 注重实用性

在实验内容的安排上，由浅入深，增加了综合设计型实验的比例，增加了基于 EDA 的数字电路设计与仿真实验，增加了课程设计，将创新研究型实验融合在课程设计教学过程中。每个实验基本包括设计举例、要求学生完成的实验任务等。

3. 突出能力培养

数字电子技术的实验能力是学生从事电子技术的重要基础之一，本书力图通过培养学生“虚实结合”、“软硬兼通”的能力，达到提高学生电子技术综合设计能力和创新研究能力的目的。

本书是在中国矿业大学“数字电子技术”课程组全体教师多年实验教学改革和实践的基础上编写而成的，由袁小平担任主编并负责统稿，牛小玲、王都霞担任副主编，袁小平编写第 1 章、3、4 章，牛小玲和王都霞共同编写第 2 章，冯小龙编写附录 A，王军和陈烨共同编写附录 B，袁小平和孙梅共同编写附录 C、附录 D 和附录 E、F、G。

本书编写本着由浅入深、由易到难、循序渐进、通俗易懂的原则，力求突出应用，努力贯彻少而精和理论联系实际的精神，做到基本设计思路清晰，以适应不同层次学生自学及独立进行实验的要求。

本书是中国矿业大学教材建设工程重点资助建设教材，在此向一直以来关心和支持“数字电子技术”课程的领导和同事们表示衷心感谢。

本书的出版得到了机械工业出版社的大力支持，从教材的内容到出版，凝聚了编辑的辛勤劳动，在此表示深深的敬意和衷心的感谢。

由于水平有限，书中难免有不妥和错误之处，恳请使用本书的师生批评指正。读者的反馈信息可通过电子邮件发送至：xpyuankd@163.com。

编 者

目 录

前言

绪论	1
----	---

第1章 数字电路实验基础知识	3
----------------	---

1.1 实验的基本过程	3
1.2 实验操作规范和常见实验故障 检查方法	4
1.3 实验要求	6
1.4 数字集成电路封装	7
1.5 常见逻辑电路图的表示形式	8
1.6 数字集成电路的应用要点	9
1.6.1 数字集成电路使用中注意事项	9
1.6.2 TTL 集成电路使用应注意的 问题	10
1.6.3 CMOS 集成电路使用应注意的 问题	10

第2章 数字电路基本实验、综合 设计实验	12
-------------------------	----

实验1 集成门电路逻辑功能及参数测试	12
实验2 TTL 集电极开路门与三态门的 应用	16
实验3 利用 SSI 设计组合逻辑电路	20
实验4 利用 MSI 设计组合电路	23
实验5 集成触发器及其应用	27
实验6 集成移位寄存器及其应用	30
实验7 计数、译码、显示电路	32
实验8 555 定时器及应用	37
实验9 A/D 和 D/A 转换器	41
实验10 数字秒表	46

第3章 基于 EDA 的数字电路设计与 仿真实验	49
-----------------------------	----

实验1 简单逻辑电路设计与仿真	49
实验2 全加器设计、仿真与下载	53

实验3 有时钟使能的两位十进制计数器 设计	56
--------------------------	----

实验4 计数、译码与显示电路设计	58
------------------	----

实验5 动态扫描显示电路设计	62
----------------	----

实验6 复杂数字钟设计	65
-------------	----

第4章 数字电子技术课程设计	67
----------------	----

4.1 课程设计概述	67
4.2 课程设计报告要求	69
4.3 交通信号灯控制器设计举例	70
4.4 创新研究型选题参考	74
课题1 智力竞赛抢答器逻辑电路设计	74
课题2 模拟乒乓球游戏机	75
课题3 电子拔河游戏机	76
课题4 简易电话计时器的设计	77
课题5 病房呼叫系统	78
课题6 家用电风扇控制逻辑电路设计	79
课题7 基于 EDA 技术的简易数字 频率计	81
课题8 简易数字频率计设计	82
4.5 数字电子技术课程设计参考题	85

附录	93
----	----

附录A EWB 电子电路仿真软件介绍 及应用	93
---------------------------	----

A.1 电子工作平台 (EWB) 概述	93
A.2 EWB 的基本界面	93
A.3 EWB 的基本操作方法	96
A.4 基本分析方法	101

附录B MAX + plus II 基本操作	102
------------------------	-----

B.1 设计环境与设计方法	102
B.2 设计输入	105
B.3 设计项目的编译	113
B.4 设计校验	119
B.5 器件编程	125

附录 C	AHDL 语言简介	127	附录 E	EDA 实验开发系统实验箱简介	160
C.1	AHDL 设计的基本结构	127	E.1	系统基本特征	160
C.2	节点和数组	129	E.2	主板功能	160
C.3	布尔等式	130	E.3	实验开发系统框图	160
C.4	AHDL 设计的常用语法结构	134	E.4	详细的引脚说明	161
C.5	其他语句的用法	146	附录 F	EDA 实验开发系统下载软件	
C.6	时序逻辑电路	148	简介	164	
C.7	状态机的描述	150	附录 G	部分常用 TTL 数字集成电路	
附录 D	DLEB-Ⅱ型数字逻辑电路		及其引脚分布图	167	
实验箱	158		参考文献	172	

绪 论

“数字电子技术”是一门技术基础课程，其应用性很强，是计算机类、机电类、电气信息类等专业的必修课。随着电子科学技术的飞速发展，电子计算机和集成电路的广泛应用，以及信息技术的发展对科学技术、国民经济和国防各领域的日益深入的影响和渗透，数字电子技术的知识、理论和方法在相关专业的地位越来越重要。为了适应电子科学技术的发展和不同专业的需求，多年来我们对电子技术的教学内容和课程设置体系不断地进行改革实践，尤其是近年来逐步采用 EDA 技术辅助教学，使得本课程的教学内容始终密切结合国内外最新的科技进展，已初步形成具有自身特色的教学体系，取得了良好的教学效果。

20 世纪 90 年代以来，电子技术、IC 技术的发展日新月异，对数字电子技术课程的教学内容提出了更高的要求。为适应科学技术的发展以及社会对人才培养的要求，我们对数字电子技术课程的教学大纲进行了修订，对教学内容进行了调整和充实，精简分立器件内容，增加集成电路内容，教学重点也从逻辑电路分析转向面对问题的逻辑电路设计。为加强对学生的实践能力、创新能力的培养，开设了设计性实验和课程设计，促进了学生实际动手能力和分析、设计能力的提高。通过理论课程的学习和实验课程的实践，学生可掌握数字电子技术基础知识和基本技能，再通过相应的课程设计将理论用于实践，将理论与设计融为一体，学生在课程设计中既能提高运用所学知识进行设计的能力，又能体会到理论设计与实际实现中的距离，由此锻炼了学生分析问题、解决问题的能力。

进入新世纪后，面对 EDA 技术、大规模集成电路，特别是可编程器件的高速发展和新世纪对高等教育培养高素质人才的需要，课程组把数字电子技术课程中大规模集成电路内容整合在一起，使学生掌握更系统、更先进的电子技术知识与设计方法；加强现代化教学方法和手段，逐步采用 EDA 技术和 CAI 课件辅助教学；对实验课程的内容也进行了重新设计、调整和规划，重视实验课程在学生学习中的地位和作用。

通过以上措施，我院数字电子技术系列课程在内容体系、实验教学改革、现代化教学方法和手段运用等方面，取得了在同类课程中的先进地位。形成了由数字电子技术、数字电子技术实验、数字电子技术课程设计等内容组成的数字电子技术课程体系。

该课程体系从内容上分为理论教学和实践教学两大块。理论教学首先介绍数字系统的组成、数字信号的特点、各种数字电路在系统中的作用等；在内容编排上，按先基本逻辑电路后逻辑器件、先单元电路后系统电路、先数字电路后脉冲电路编排；具体内容包括逻辑代数、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、脉冲的产生和整形、模/数和数/模转换电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、系统应用举例等。数字电路部分以基本概念和基本应用为主，着重于外部逻辑功能的描述和分析，强调外特性和重要参数，不讲内部电路。这样组织内容的目的是用较少的时间让学生掌握更多数字电路的概念和分析方法。在讲授时各部分内容均从基本概念入手，通过学习数字电子技术的基本电路、分析方法、设计方法，通过对具体实际系统加以总结和归纳，从而培养学生分析问题、解决问题的能力。

数字电子技术实践课程与理论课程在内容上相互补充，其内容体系有：基本验证型实

验、综合设计型实验和创新研究型实验,实验的方法既有动手实践也有模拟仿真。

数字电子技术课程内容多、发展快,为了使学生在有限的学时内,把该课程学好、学扎实,要求教师在教学中既要抓住该课程的基本理论、基本方法、基本技术指标,同时还要根据各专业方向的不同,有效组织课程教学内容。对于电类专业,在教学时,注重对基本理论、基本电路的分析与设计;注重对数字集成电路的分析、可编程器件的设计等。在介绍应用时,其侧重面也不同,教师讲课内容从原来偏重于基本电路的原理分析,更多地转向基本电路的组成原则、电路结构的构思方法以及系统结构的应用等方面来。实验教学包括验证型实验和设计型实验,逐步增加综合型、创新研究型实验教学内容。

实践教学是数字电子技术课程的重要教学环节,也是学生展示聪明才智的舞台。为了使实践教学更有效的发挥作用,我们把实验课分为基本验证型实验、综合型实验、设计型实验、创新研究型实验、课程设计等教学内容。

“基本验证型实验”训练常用电子仪器的使用方法和数字电路的基本测试方法,它所涉及的内容与课堂教学内容紧密相关,充分体现课程的实践性。

“综合型实验”是指实验内容涉及本课程的综合知识或本课程相关课程知识点的实验。该类实验的目的在于通过实验内容、实验方法、实验手段的综合,牢固掌握本课程及相关课程的综合知识,培养学生综合处理问题的能力,达到能力和素质的综合培养与提高。

“设计型实验”是指实验指导教师根据教学的要求提出实验目的和实验要求,并给出实验室所能提供的实验仪器设备、器件等实验条件,由学生运用已掌握的基本知识、基本原理和实验技能,自行设计实验方案、拟定实验步骤、选定仪器设备(或器件、材料等)、独立完成操作、记录实验数据、绘制图表、分析实验结果等。该类实验的目的在于培养学生的综合处理问题和综合设计能力,激发学生的主动性和开拓创新意识。实验过程应充分发挥学生的主观能动性,引导学生独立思考,独立完成实验的全过程。我们把它与数字电子技术课程设计结合在一起,并采用较为先进的 EDA 技术,使实验更加接近工程实际。在设计型实验中特别鼓励学生自拟实验项目,将课外科技活动、电子制作大赛纳入到教学活动中来,课内外学习相互结合,课堂教学与实践教学相融合,以开阔学生的视野、增强学生的应用能力。

“创新研究型实验”是指在指导教师指导下,学生在导师的研究领域或本人的学科方向,针对某一或某些选定研究目标所进行的具有研究探索性质的实验。该类实验的目的是在深化学生综合设计能力的基础上,培养学生的开拓创新性思维和研究创新能力。

通过有效组织教学内容有利于培养学生的实践能力和创新能力。学生通过课堂学习获得了基本知识后,通过实验课进行实验和仿真,再经过课程设计,使学生初步掌握现代数字电路和系统的设计方法和实现方法。

第1章 数字电路实验基础知识

随着科学技术的发展,数字电子技术在各个科学领域中都得到了广泛的应用,它是一门实践性很强的技术基础课,在学习中不仅要掌握基本原理和基本方法,更重要的是学会灵活应用。因此,需要完成一定数量的实验,才能掌握这门课程的基本内容,熟悉各单元电路的工作原理,掌握各集成器件的逻辑功能和使用方法,从而有效地培养学生理论联系实际和解决实际问题的能力,树立科学的工作作风。

1.1 实验的基本过程

实验的基本过程应包括:确定实验内容、选定最佳的实验方法和实验电路、拟出较好的实验步骤、合理选择仪器设备和元器件、进行连接安装和调试、最后写出完整的实验报告。

在进行数字电路实验时,应该充分掌握和正确利用集成器件及其构成的数字电路独有的特点和规律。要想顺利完成每一个实验,应注重实验预习、实验记录和实验报告等环节。

1. 实验预习

认真预习是做好实验的关键。预习好坏,不仅关系到实验能否顺利进行,而且直接影响实验效果。预习应按本教材的实验预习要求进行,在每次实验前首先要认真复习有关实验的基本原理,掌握有关器件的使用方法,对如何着手实验做到心中有数,通过预习还应做好实验前的准备,写出一份实验预习报告。预习报告不同于正式实验报告,没有统一的要求,但是对实验的组织实施有着特殊的指导作用,是实验操作的主要依据。一般应该以能看懂为基本要求,尽量简洁、清晰,便于指导教师审阅和实验者自己纠正错误。其内容主要包括:

1) 绘出设计好的实验电路图,该图应该是逻辑图和连线图的混合,既能方便连线,又能反映电路工作原理,并在图上标出器件型号、使用的引脚号及元器件数值,必要时还可以辅以文字说明。

2) 拟定实验方法和步骤。

3) 拟好记录实验数据的表格和波形坐标。

4) 列出元器件清单。

2. 实验记录

实验记录是实验过程中获得的第一手资料。测试过程中所测试的数据和波形应该和理论基本一致,所以记录必须清楚、合理、正确,如果实验数据不正确,则要在现场及时重复测试,分析查找错误原因。实验记录应包括如下内容:

1) 实验任务、名称及内容。

2) 实验数据和波形以及实验中出现的现象,从记录中应能初步判断实验的正确性。

3) 记录波形时,应注意输入、输出波形的时间相位关系,在坐标图中上下波形对齐。

4) 实验中实际使用的仪器型号和编号以及元器件使用情况。

3. 实验报告

实验报告是培养学生总结能力和分析思维能力的有效手段，也是一项重要的基本功训练，它能很好地巩固实验成果，加深对基本理论的认识和理解，从而进一步扩大知识面。

实验报告是一份技术总结，要求文字简洁，内容清楚，图表工整。报告内容应包括实验目的、实验使用仪器和元器件、实验内容、实验结果以及分析讨论等，其中实验内容和实验结果是报告的主要部分，它应包括实际完成的全部实验，并且要按实验任务逐个书写，每个实验任务应有如下内容：

1) 实验课题的框图、逻辑图（或测试电路）、状态图、真值表以及文字说明等，对于设计性课题，还应有整个设计过程和关键的设计技巧说明。

2) 实验记录和经过整理的数据、表格、曲线和波形图，其中表格、曲线和波形图应充分利用专用实验报告简易坐标格，并且利用三角板、曲线板等工具描绘，力求画得准确，不得随手示意画出。

3) 实验结果分析、讨论及结论，对讨论的范围，没有严格要求，一般应对重要的实验现象、结论加以分析、讨论，以便进一步加深理解。此外，还要包括对实验中的异常现象的简要分析、实验中有何收获及心得体会。

1.2 实验操作规范和常见实验故障检查方法

实验中操作的正确与否对实验结果影响很大。因此，实验者需要注意按以下规程进行：

1) 组建实验电路前，应对仪器设备进行必要的检查校准，对所用集成电路进行功能测试，确保实验设备和器件的完好。

2) 组建实验电路时，应遵循正确的布线原则和操作步骤，即实验前先接线后通电，实验完成后先断电再拆线的步骤完成实验。

3) 掌握科学的调试方法，有效地分析并检查故障，以确保电路工作稳定可靠。

4) 仔细观察实验现象，完整准确地记录实验数据，并与理论值进行比较，分析实验结果。

5) 实验完毕，经指导教师同意后，方可关断电源拆除连线，整理好实验箱和实验工作台，摆放整洁。

布线原则和故障检查是确保实验操作正确与否的重要问题。

1. 布线原则

应便于检查、排除故障和更换器件。

在数字电路实验中，由错误布线引起的故障，通常占很大比例。布线错误不仅会引起电路故障，严重时甚至会损坏器件，造成电源短路，因此，实验者务必注意布线的合理性和科学性，正确的布线原则主要有以下几点：

1) 当接插集成电路芯片时，先校准两排引脚，使之与实验底板上的插孔对应，轻轻用力将芯片插上，然后在确定引脚与插孔完全吻合后，再稍用力将其插紧，以免集成电路的引脚弯曲、折断或者接触不良等。

2) 禁止将集成电路芯片方向插反，通常集成电路芯片的方向是缺口（或标记）朝左，引脚序号从左下方的第一个引脚开始，按逆时针方向依次递增至左上方的第一个引脚。

3) 选择粗细适当的导线,一般选取直径为 $0.6 \sim 0.8\text{mm}$ 的单股导线,最好采用颜色不同的各种色线以区别不同用途,如电源线用红色,地线用黑色等。

4) 有秩序地进行布线,随意乱接容易造成漏接错接,较好的方法是先接好固定电平点,如电源线、地线、门电路闲置输入端、触发器异步置位复位端等,其次,按照信号源的顺序从输入到输出依次布线。

5) 连线应尽量避免过长,避免从集成器件上方跨接,避免过多的重叠交错,确保顺利进行布线、更换元器件以及故障检查和排除等。

6) 当实验电路的规模较大时,应注意集成元器件的合理布局,以便得到最佳布线。

特别注意:布线和调试工作往往需要交替进行,不能截然分开。对大型实验电路需要元器件很多的,可将总电路按其功能划分为若干相对独立的部分,逐个布线、调试,然后将各部分连接起来统一调试。

2. 故障检查

实验中,如果电路设计正确,却不能实现预定的逻辑功能时,表明实验电路有故障。产生故障的原因大致可以归纳为以下4个方面:

- 1) 操作不当(如布线错误等)。
- 2) 设计存在缺陷(如电路出现险象等)。
- 3) 元器件使用不当或功能不正常。
- 4) 仪器(主要指数字电路实验箱)和集成器件本身出现故障。

因此,上述4点应作为检查故障的主要线索。下面介绍几种常见的故障检查方法:

(1) 查线法 在实验中大部分故障都是由于布线错误引起的,因此,在故障发生时,复查电路连线是排除故障的有效方法。特别注意:有无漏线、错线,导线与插孔接触是否可靠,集成电路是否插牢、插反等。

(2) 观察法 用万用表直接测量各集成块的 V_{CC} 端是否加上电源电压;输入信号、时钟脉冲等是否加到实验电路上,观察输出端有无反应。重复测试观察故障现象,然后对某一故障状态,用万用表测试各输入/输出端的直流电平,从而判断出是否是插座板、集成块引脚连接线等原因造成的故障。

(3) 信号注入法 在电路的每一级输入端加上特定信号,观察该级输出响应;从而确定该级是否有故障,必要时可以切断周围连线,避免相互影响。

(4) 信号寻迹法 在电路的输入端加上特定信号,按照信号流向逐级检查是否有输出信号及其是否正确,必要时可多次输入不同信号。

(5) 替换法 对于多输入端器件,如有多余输入端则可调换其他输入端试用。必要时可更换器件,以检查器件功能不正常所引起的故障。

(6) 动态逐线跟踪检查法 对于时序电路,可输入时钟信号按信号流向依次检查各级波形,直到找出故障点为止。

(7) 断开反馈线检查法 对于含有反馈线的闭合电路,应该设法断开反馈线进行检查。

以上检查故障的方法,是指在仪器工作正常的前提下进行的,如果实验时电路功能测不出来,则应首先检查供电情况,若电源电压已加上,便可把有关输出端直接接到0-1显示器(LED发光二极管)上检查,若逻辑开关无输出,或单次CP无输出,则是开关接触不好,或者是内部电路坏了,或者是集成器件坏了。

特别注意：实践经验对于故障检查是大有帮助的，但只要实验前充分预习，掌握基本理论和实验原理，就不难用逻辑思维的方法较好地判断和排除实验过程中的故障。

1.3 实验要求

1. 实验前的要求

- 1) 认真阅读实验指导书，明确实验目的要求，理解实验原理，熟悉实验电路及集成芯片，拟出实验方法和步骤，设计实验数据记录表格。
- 2) 完成实验指导书中有关预习的相关内容。
- 3) 初步估算或分析实验中的各项参数和波形，写出预习报告。
- 4) 对实验内容应提前设计并使用 EDA 软件仿真验证，将有关数据写入预习报告中，设计电路在实验前一天应交给老师，以准备相应的器件。

2. 实验中的要求

- 1) 参加实验者要自觉遵守实验室规则。
- 2) 严禁带电接线、拆线或改接电路。
- 3) 根据实验内容，准备好实验所需的仪器设备和装置并安放适当。按实验方案，选择合适的集成芯片，连接实验电路和测试电路。
- 4) 要认真记录实验条件和所得各项数据、波形。发生小故障时，应独立思考，耐心排除，并记下排除故障的过程和方法。实验过程中不顺利，并不是坏事，常常可以从分析故障中提高独立工作的能力。
- 5) 发生焦味、冒烟故障，应立即切断电源，保护现场，并报告指导老师和实验室工作人员，等待处理。
- 6) 仪器设备不准随意搬动和调换。非本次实验所用的仪器设备，未经老师允许不得动用。若损坏仪器设备，必须立即报告老师，作书面检查，责任事故要酌情赔偿。实验完成后，应让指导老师检查签字，经老师同意后方可拆除电路，清理现场。
- 7) 实验要严肃认真，要保持安静、整洁的实验环境。

3. 实验后的要求

实验后要求学生认真写好实验报告（含预习内容）。

（1）实验报告（含预习内容）的内容

- 1) 实验目的：指出实验的教学目标。
 - 2) 列出实验的环境条件，使用的主要仪器设备的名称编号，集成芯片的型号、规格、功能。
 - 3) 扼要记录实验操作步骤，认真整理和处理测试的数据，绘制实验电路图和测试的波形，并列出表格或用坐标纸画出曲线。
 - 4) 对测试结果进行理论分析，作出简明扼要的结论。分析产生误差的原因，提出减少实验误差的措施。
 - 5) 记录产生故障情况，说明排除故障的过程和方法。
 - 6) 写出本次实验的心得体会，以及改进实验的建议。
- #### （2）实验报告（含预习内容）要求

实验报告要文理通顺、书写简洁、符号标准、图表规范、讨论深入、结论简明。

1.4 数字集成电路封装

中、小规模数字集成电路中最常用的是 TTL 电路和 CMOS 电路。TTL 器件型号以 74 (或 54) 作前缀,称为 74/54 系列,如 74LS10、74F181、54586 等。中、小规模 CMOS 数字集成电路主要是 $4 \times \times \times / 45 \times \times$ ($\times$ 代表 0~9 的数字) 系列,高速 CMOS 电路 HC (74HC 系列),与 TTL 兼容的高速 CMOS 电路 HCT (74HCT 系列)。TTL 电路与 CMOS 电路各有优缺点,TTL 速度快,CMOS 电路功耗小、电源范围大、抗干扰能力强。由于 TTL 在世界范围内应用极广,在数字电路教学实验中,主要使用 TTL74 系列电路作为实验用器件,采用单一 +5V 作为供电电源。

数字集成电路器件有多种封装形式。为了教学实验方便,实验中所用的 74 系列器件封装选用双列直插式。图 1-1 是双列直插式封装 (简称 DIP 封装) 的示意图。双列直插封装有以下特点:

1) 从正面 (上面) 看,器件一端有一个半圆的缺口,这是正方向的标志。缺口左边的引脚号为 1,引脚号按逆时针方向增加。图 1-1 中的数字表示引脚号。双列直插封装的集成电路引脚数有 14、16、20、24、28 等若干种。

2) 双列直插器件有两列引脚。引脚之间的间距是 2.54mm。两列引脚之间的距离有宽 (15.24mm)、窄 (7.62mm) 两种。两列引脚之间的距离能够稍微改变,引脚间距不能改变。将器件插入实验台上的插座中去或者从插座中拔出时要特别小心,不能将器件引脚弄弯或折断。

3) 74 系列器件一般左下角的最后一个引脚是 GND,右上角的引脚是 V_{CC} 。例如,14 引脚器件引脚 7 是 GND,引脚 14 是 V_{CC} ; 20 引脚器件引脚 10 是 GND,引脚 20 是 V_{CC} 。但也有一些例外,例如 16 引脚的双 JK 触发器 74LS76,引脚 13 (不是引脚 8) 是 GND,引脚 5 (不是引脚 16) 是 V_{CC} 。所以使用集成电路器件时要先看清它的引脚图,明确电源和地所对应的引脚,避免因接线错误造成器件损坏。

数字电路综合实验中,使用的复杂可编程逻辑器件 EPM7032 是 44 引脚的 PLCC (Plastic Leaded Chip Carrier) 封装,图 1-2 是 PLCC 封装图。器件上的小圆圈指示引脚 1,引脚号按逆时针方向增加,引脚 2 在引脚 1 的左边,引脚 44 在引脚 1 的右边。EPM7032 有多个电源

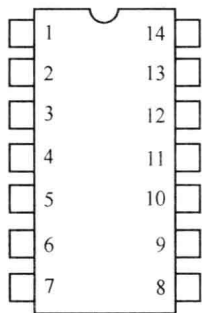


图 1-1 双列直插式封装的示意图

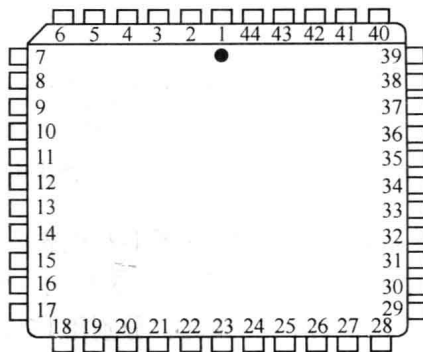


图 1-2 PLCC 封装图

引脚号、地引脚号，插 PLCC 器件时，器件的左上角（缺脚）要对准插座的左上角。PLCC 封装器件引脚较多，拔出时应更加小心，可以使用专门的起拔器，也可以使用镊子从对角缝隙轻轻拔出。

特别注意：不能带电插、拔器件。插、拔器件只能在关断电源的情况下进行。

1.5 常见逻辑电路图的表示形式

针对在教学、科研、生产过程中各个环节的不同要求，逻辑电路图通常有以下 3 种表示形式。

1. 原理图

原理图注重的是电路的组成部分及各部分间的逻辑关系的原理性的描述。因此图中的集成电路只用具有相应逻辑功能的逻辑符号代替，可不涉及具体器件的型号，更不涉及器件的引脚编号等，如图 1-3 所示。

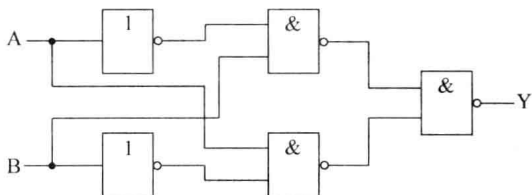


图 1-3 原理图

2. 实验（电路）图

为了用物理器件实现逻辑功能，实验前必须选择电路器件的型号、规格，了解所用芯片的引脚排列，尤其对于封装有多个单元的复合集成电路（如 74LS00 与非门内有 4 个独立的与非门），必须指定用哪个单元及其在电路中的位置等。在原理图基础上，进一步将器件型号、器件编号、集成电路的引脚编号、器件参数等标注出来而形成的电路图称之为实验图。图 1-4 是异或门的实验图，它可作为实验、产品开发调试、故障检修用图。

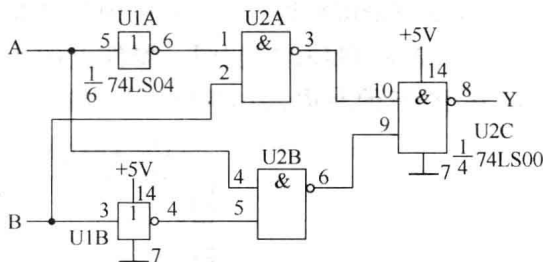


图 1-4 异或门的实验图

由图 1-4 可知，要实现图 1-2 电路的逻辑功能，可以采用两片集成电路。U1 为 74LS04（内有 6 个反相器），用了第 2、3 单元，分别用 U1A、U1B 表示。U2 为 74LS00（内有 4 个与非门），用了第 1~3 单元，分别用 U2A、U2B、U2C 表示（也可用其他方式表示，只要能区分各个单元即可）。此外还需标注出芯片电源与接地引脚的编号，可以直接在器件上标注

或统一用文字说明。

3. 连线图

只反映器件间、引脚间连线关系的电路图称之为连线图，如图 1-5 所示。图 1-5 是反映图 1-4 实验图连接关系的接线图。用接线图连线非常方便，但由于接线图没有反映电路的逻辑关系，一旦电路出现故障，除了按图检查连线外，别无办法。如果电路复杂，涉及器件、连线较多，连线图绘制的工作量既大且易出错，所以实验中不采用连线图。连线图一般是对已安装好的电路（但不知连线关系）进行测绘而形成的电路图，所以常用于需要分析已有电路功能的场合。

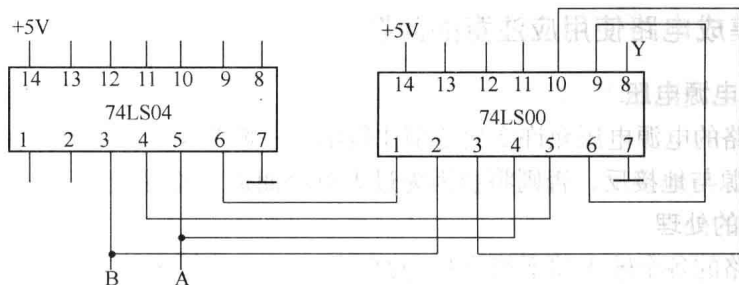


图 1-5 连线图

综上所述，实验图既能反映电路的逻辑关系，又能作为实验时接线的依据，综合了原理图与接线图的特点。一旦电路出现故障，实验者依据实验图，可以很方便地进行理论分析、故障排查、电路调试。因此电路实验及调试阶段采用的都是实验图。

1.6 数字集成电路的应用要点

1.6.1 数字集成电路使用中注意事项

在使用集成电路时，为了充分发挥集成电路的应有性能，避免损坏器件，必须注意以下问题：

1. 认真仔细查阅使用器件的相关资料

首先要根据器件手册查出要使用的集成电路的资料，注意所使用器件的引脚排列图接线，按参数表给出的参数规范使用等。使用时不得超过器件的最大额定值（如电源电压、环境温度、输出电流等），否则会损坏器件。

2. 注意电源电压的稳定性

通过电源稳压环节确保器件的工作电源的质量好，从而保证电路的稳定性。在电源的引线端并联大的滤波电容，以避免由于电源通断的瞬间而产生冲击电压。更注意不要将电源的极性接反，否则将会损坏器件。

3. 采用合适的方法焊接集成电路

在需要弯曲器件引脚引线时，不要靠近器件引脚的根部弯曲。焊接器件引脚前不允许用刀刮去引线上的镀金层。焊接器件时所用的烙铁功率不应超过 25W，焊接时间不应过长。焊接时最好选用中性焊剂。焊接后严禁将器件连同印制电路板放入有机溶液中浸泡。

4. 注意设计工艺, 提高抗干扰措施

在设计印制线路板时, 应避免器件引线过长, 以防止窜扰和对信号传输延迟。要把电源线设计的宽些, 地线要进行大面积接地, 这样可减少接地噪声干扰。此外, 由于电路在转换工作的瞬间会产生很大的尖峰电流, 此电流峰值超过功耗电流几倍到几十倍, 这会导致电源电压不稳定, 产生干扰造成电路误动作。为了减小这类干扰, 可以在集成电路的电源端与地端之间, 并联高频特性好的去耦电容, 一般在每片集成电路并联一个, 电容的取值为 $30\text{pF} \sim 0.01\text{F}$; 此外在电源的进线处, 还应对地并联一个低频去耦电容, 最好用 $10 \sim 50\text{F}$ 的钽电容。

1.6.2 TTL 集成电路使用应注意的问题

1. 正确选择电源电压

TTL 集成电路的电源电压允许变化范围比较窄, 一般为 $4.5 \sim 5.5\text{V}$ 。在使用 TTL 集成电路时更不能将电源与地接反, 否则将会因为过大电流而造成器件损坏。

2. 对输入端的处理

TTL 集成电路的各个输入端不能直接与高于 $+5.5\text{V}$ 和低于 -0.5V 的低内阻电源连接。对多余的输入端最好不要悬空。虽然悬空相当于高电平, 并不影响“与门、与非门”的逻辑关系, 但悬空容易受到干扰, 有时会造成电路的误动作。因此, 多余输入端要根据实际需要作适当处理。例如“与门、与非门”的多余输入端可直接接到电源 V_{CC} 上; 也可将不同的输入端共用一个电阻连接到 V_{CC} 上; 或将多余的输入端并联使用。对于“或门、或非门”的多余输入端应直接接地。

特别注意: 对于触发器等中规模集成电路来说, 不使用的输入端不能悬空, 应根据逻辑功能接入适当电平。

3. 对于输出端的处理

除“三态门、集电极开路门”外, TTL 集成电路的输出端不允许并联使用。如果将几个“集电极开路门”电路的输出端并联, 实现线与功能时, 应在输出端与电源之间接入一个恰当的上拉电阻 (具体阻值参见理论教材中的计算公式)。

特别注意: 集成门电路的输出更不允许与电源或地短路, 否则可能造成器件损坏。

1.6.3 CMOS 集成电路使用应注意的问题

1. 正确选择电源电压

由于 CMOS 集成电路的工作电源电压范围比较宽 ($\text{CD}4000\text{B}/4500\text{B}$: $3 \sim 18\text{V}$), 选择电源电压时首先考虑要避免超过极限电源电压。其次要注意电源电压的高低将影响电路的工作频率。降低电源电压会引起电路工作频率下降或增加传输延迟时间。例如 CMOS 触发器, 当 V_{CC} 由 $+15\text{V}$ 下降到 $+3\text{V}$ 时, 其最高频率将从 10MHz 下降到几十 kHz 。

此外, 提高电源电压可以提高 CMOS 门电路的噪声容限, 从而提高电路系统的抗干扰能力。但电源电压选得越高, 电路的功耗越大。不过由于 CMOS 电路的功耗较小, 功耗问题不是主要考虑的设计指标。

2. 防止 CMOS 电路出现晶闸管效应的措施

当 CMOS 电路输入端施加的电压过高 (大于电源电压) 或过低 (小于 0V), 或者电源

电压突然变化时, 电源电流可能会迅速增大, 烧坏器件, 这种现象称为晶闸管效应。预防晶闸管效应的措施主要有:

- 1) 输入端信号幅度不能大于 V_{CC} 和小于 $0V$ 。
- 2) 要消除电源上的干扰。
- 3) 在条件允许的情况下, 尽可能降低电源电压。如果电路工作频率比较低, 用 $+5V$ 电源供电最好。
- 4) 对使用的电源加限流措施, 使电源电流被限制在 $30mA$ 以内。常用的电源限流电路如图 1-6 所示。

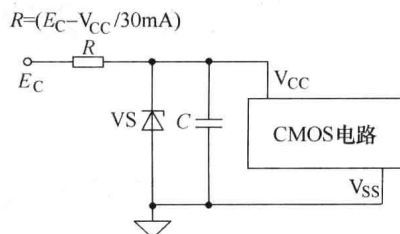


图 1-6 常用的电源限流电路

3. 对输入端的处理

在使用 CMOS 电路器件时, 对输入端一般要求如下:

- 1) 应保证输入信号幅值不超过 CMOS 电路的电源电压。即满足 $V_{SS} \leq V_i \leq V_{CC}$, 一般 $V_{SS} = 0V$ 。
- 2) 输入脉冲信号的上升和下降时间一般应小于几 μs , 否则电路工作不稳定或损坏器件。
- 3) 所有不用的输入端不能悬空, 应根据实际要求接入适当的电压 (V_{CC} 或 $0V$)。由于 CMOS 集成电路输入阻抗极高, 一旦输入端悬空, 极易受外界噪声影响, 从而破坏了电路的正常逻辑关系, 也可能感应静电, 造成栅极被击穿。

4. 对输出端的处理

- 1) CMOS 电路的输出端不能直接连到一起。否则导通的 P 沟道 MOS 场效应晶体管和导通的 N 沟道 MOS 场效应晶体管形成低阻通路, 造成电源短路。
- 2) 在 CMOS 逻辑系统设计中, 应尽量减少电容负载。电容负载会降低 CMOS 集成电路的工作速度和增加功耗。
- 3) CMOS 电路在特定条件下可以并联使用。当同一芯片上两个以上同样器件并联使用 (例如各种门电路) 时, 可增大输出灌电流和拉电流负载能力, 同样也提高了电路的速度。但器件的输出端并联, 输入端也必须并联。
- 4) 从 CMOS 器件的输出驱动电流大小来看, CMOS 电路的驱动能力比 TTL 电路要差很多, 一般 CMOS 器件的输出只能驱动一个 LS-TTL 负载。但从驱动和它本身相同的负载来看, CMOS 的扇出系数比 TTL 电路大的多 (CMOS 的扇出系数 ≥ 50)。CMOS 电路驱动其他负载, 一般要外加一级驱动器接口电路。