

清华大学 计算机系列教材

李山山 全成斌 田淑珍 刘敬晗 编著

数字逻辑实践教程



清华大学出版社

清华大学 计算机系列教材

李山山 全成斌 田淑珍 刘敬晗 编著

数字逻辑实践教程

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

数字逻辑是计算机硬件系列课程的入门课程,主要包括组合逻辑和时序逻辑两部分,是一门重要的基础课程。通过该课程的教学,让学生理解数字电路设计和分析的基本方法,并在实践过程中深入掌握,因此实验教学在该课程的教学过程中占有举足轻重的作用,也是掌握理论知识的关键。

《数字逻辑实践教程》是清华大学计算机系数字电路实验课程的指导教材,经过多年的使用积累,形成一套行之有效的实验方法,核心是强调基础和动手能力。本书紧紧围绕数字逻辑课程的教学目的,在清华大学计算机系自主开发的实验平台上,设计开发了多种实验,既包括传统的通用逻辑器件实验,又包括目前流行的可编程实验内容;实验开展既保证了充分的动手能力培养,又注重了实验设计的开放性和灵活性。通过基础的实验内容,逐步引导学生掌握数字逻辑的理论知识,并掌握数字电路的设计和分析方法。

本教材可供高等学校计算机专业学生学习“数字逻辑”课程时作为实验教材使用,也可供计算机专业工作人员及相关从业人员自学参考。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

版权所有,侵权必究。侵权举报电话:010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑实践教程/李山山等编著. —北京:清华大学出版社,2014

清华大学计算机系列教材

ISBN 978-7-302-37481-7

I. ①数… II. ①李… III. ①数字逻辑—高等学校—教材 IV. ①TP302.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第170857号

责任编辑:白立军

封面设计:常雪影

责任校对:梁毅

责任印制:杨艳

出版发行:清华大学出版社

网 址: <http://www.tup.com.cn>, <http://www.wqbook.com>

地 址:北京清华大学学研大厦A座 邮 编:100084

社 总 机:010-62770175 邮 购:010-62786544

投稿与读者服务:010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质量反馈:010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

课 件 下 载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京鑫海金澳胶印有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:8.75 字 数:219千字

版 次:2014年12月第1版 印 次:2014年12月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:22.00元

产品编号:060522-01

序

“清华大学计算机系列教材”已经出版发行了 30 余种,包括计算机科学与技术专业的基础数学、专业技术基础和专业等课程的教材,覆盖了计算机科学与技术专业本科生和研究生的主要教学内容。这是一批至今发行数量很大并赢得广大读者赞誉的书籍,是近年来出版的大学计算机专业教材中影响比较大的一批精品。

本系列教材的作者都是我熟悉的教授与同事,他们长期在第一线担任相关课程的教学工作,是一批很受本科生和研究生欢迎的任课教师。编写高质量的计算机专业本科生(和研究生)教材,不仅需要作者具备丰富的教学经验和科研实践,还需要对相关领域科技发展前沿的正确把握和了解。正因为本系列教材的作者们具备了这些条件,才有了这批高质量优秀教材的产生。可以说,教材是他们长期辛勤工作的结晶。本系列教材出版发行以来,从其发行的数量、读者的反映、已经获得的国家级与省部级的奖励,以及在各个高等院校教学中所发挥的作用上,都可以看出本系列教材所产生的社会影响与效益。

计算机学科发展异常迅速,内容更新很快。作为教材,一方面要反映本领域基础性、普遍性的知识,保持内容的相对稳定性;另一方面,又需要紧跟科技的发展,及时地调整和更新内容。本系列教材都能按照自身的需要及时地做到这一点。如王爱英教授等编著的《计算机组成与结构》、戴梅萼教授等编著的《微型计算机技术及应用》都已经出版了第四版,严蔚敏教授的《数据结构》也出版了三版,使教材既保持了稳定性,又达到了先进性的要求。

本系列教材内容丰富,体系结构严谨,概念清晰,易学易懂,符合学生的认知规律,适合教学与自学,深受广大读者的欢迎。系列教材中多数配有丰富的习题集、习题解答、上机及实验指导和电子教案,便于学生理论联系实际地学习相关课程。

随着我国进一步的开放,我们需要扩大国际交流,加强学习国外的先进经验。在大学教材建设上,我们也应该注意学习和引进国外的先进教材。但是,“清华大学计算机系列教材”的出版发行实践以及它所取得的效果告诉我们,在当前形势下,编写符合国情的具有自主版权的高质量教材仍具有重大意义和价值。它与国外原版教材不仅不矛盾,而且是相辅相成的。本系列教材的出版还表明,针对某一学科培养的要求,在教育部等上级部门的指导下,有计划地组织任课教师编写系列教材,还能促进对该学科科学、合理的教学体系和内容的研究。

我希望今后有更多、更好的我国优秀教材出版。

清华大学计算机系教授,中国科学院院士

张钹

前 言

数字逻辑课程是信息类专业的一门硬件入门课程,在计算机专业中是计算机组成原理、接口技术等课程的先导课程,有着很重要的基础支撑作用。由于课程的主要理论知识都是在硬件电路的基础上进行讲解的,因此数字逻辑课程的实验是课程教学的一个重要环节,有了实践环节才能更好地掌握理论知识,并能够灵活地进行数字电路的设计和分析。

数字逻辑课程的实验教学主要采用两种方式进行。第一种方式是传统的使用小规模通用逻辑器件,例如 74 系列的芯片进行电路搭建拼装实验,要求学生按照实验内容根据给定的芯片进行逻辑设计。这种方式需要学生设计并实际动手连接电路,同时使用仪器进行调试,有着很好的亲身体验过程,通过这一过程可以很好地提高学生的操作和调试能力,但是由于是给定的芯片,学生的设计受到一定的限制,影响了自由发挥的空间。第二种方式是采用可编程芯片进行实验,在 EDA 软件平台上使用硬件描述语言进行数字电路的设计,由 EDA 工具自动完成逻辑编译、逻辑化简、逻辑综合及优化、逻辑仿真,直至对特定目标芯片的适配编译、逻辑映射和编程下载等工作。使用这一方式可以使学生摆脱传统方式中烦琐的物理连线与查错,同时逻辑设计及实现有了更自由的发挥空间,可以进行更高层次的设计。但是这一方式由于主要是在软件上进行设计,会导致学生缺乏对实际硬件电路的直观认识,并不利于学生动手能力的培养。这两种方式各有其优缺点,第一种方式是第二种方式的基础,只有有了对实际硬件的直观印象和动手能力才能更好地进行第二种方式的设计,而第二种方式是今后数字电路设计的趋势,可以帮助人们更好地进行实验。因此本书兼顾传统的通用逻辑器件的实验内容,也加入可编程逻辑器件的内容,并根据实验需要设计开发了实验平台,本书的实验都是以该实验平台为基础进行的。

由于数字逻辑实验本身是一个硬件入门性质的实验,因此本书并不追求高难度的实验内容,大部分的实验都是非常基础的实验,涵盖了仪器使用、组合逻辑电路设计、时序电路设计和可编程器件实验等内容,每一个实验都有详细的实验预习、实验原理、实验任务等内容,适合数字逻辑教学使用。全书共分为 5 章,各章的主要内容如下。

第 1 章 概述:介绍数字电路实验的基本知识,以及集成电路的封装,并介绍数字电路实验的基本要求和调试方法。

第 2 章 仪器使用:主要介绍示波器、万用表和数字逻辑实验平台的使用方法和注意事项。

第 3 章 可编程器件及应用:简单介绍可编程器件的原理和构成,并安排硬件设计语言简介内容,同时简要介绍 EDA 软件的使用方法。

第 4 章 通用逻辑器件实验:安排通用逻辑器件的实验内容,包括电路特性的测量,组合逻辑电路的设计,时序电路的设计等多个实验。

第 5 章 可编程器件实验:安排可编程器件实验的内容,包括组合逻辑和时序逻辑电路,都与前一章相对应,并加入一些新的综合性实验内容。

本书的实验内容都是在实际实验教学中总结出来的,有很好的教学使用样例,如有需要可以联系作者。在采用本书的实验时,可以根据具体的实验课时和进度安排重新组织和规划,也可以在实验平台基础上设计新的实验内容。

本书的通用逻辑器件实验内容参考继承了高文焕老师的《电子技术实验》中的部分内容。感谢清华大学计算机系的高玉超等老师及同学对本书的编写所提供的支持。限于作者的水平及能力,书中可能还存在不足甚至错误之处,恳请广大读者批评指正。

作者

2014年5月

目 录

第 1 章 概述	1
1.1 数字电路实验基本知识	1
1.2 实验集成电路及封装	1
1.3 数字电路实验基本要求	3
1.4 数字电路的基本测试和调试方法	5
第 2 章 仪器使用	8
2.1 示波器	8
2.1.1 数字示波器的基本构成	8
2.1.2 数字示波器 DSOX2012A	10
2.1.3 示波器的使用	13
2.2 万用表	21
2.2.1 组成及外观	21
2.2.2 操作说明	22
2.3 数字逻辑实验平台	24
第 3 章 可编程器件及应用	30
3.1 可编程逻辑器件	30
3.1.1 FPGA 工作原理及内部结构	31
3.1.2 CPLD 工作原理及内部结构	34
3.1.3 EPM240 简介	37
3.2 硬件描述语言 VHDL 简介	37
3.2.1 基本结构	38
3.2.2 语言元素	45
3.2.3 基本描述语句	51
3.3 Quartus 软件使用	60
3.3.1 Quartus 简介	60
3.3.2 Quartus 设计流程	64
3.3.3 Quartus 仿真	73
3.3.4 下载配置 CPLD	76
第 4 章 通用逻辑器件实验	79
4.1 与非门电路的测试	79
4.1.1 实验目的	79
4.1.2 实验任务	79
4.1.3 实验原理及参考电路	79

4.1.4	实验内容	81
4.1.5	预习要求	81
4.1.6	注意事项	82
4.1.7	实验报告要求	82
4.1.8	思考题	82
4.2	简单组合逻辑电路的设计	82
4.2.1	实验目的	82
4.2.2	实验任务	83
4.2.3	实验原理	83
4.2.4	实验内容	85
4.2.5	研究内容	86
4.2.6	预习要求	86
4.2.7	实验报告要求	86
4.2.8	思考题	86
4.3	组合电路中的竞争与冒险	86
4.3.1	实验目的	86
4.3.2	实验任务	86
4.3.3	实验原理	86
4.3.4	实验内容	89
4.3.5	研究内容	89
4.3.6	预习要求	89
4.3.7	实验报告要求	89
4.3.8	思考题	89
4.4	计数器电路实验	90
4.4.1	实验目的	90
4.4.2	实验任务	90
4.4.3	实验原理	90
4.4.4	实验内容	92
4.4.5	研究内容	92
4.4.6	预习要求	92
4.4.7	实验报告要求	93
4.4.8	思考题	93
4.5	定时控制电路的设计	93
4.5.1	实验目的	93
4.5.2	实验任务	93
4.5.3	实验电路与实验	94
4.5.4	预习要求	96
4.5.5	实验内容	97
4.5.6	研究内容	97

4.5.7	实验报告要求	97
4.5.8	思考题	97
第5章	可编程器件实验	98
5.1	点亮数字人生	98
5.1.1	实验目的	98
5.1.2	实验任务	98
5.1.3	实验原理	98
5.1.4	实验设计与实现	99
5.1.5	预习要求	99
5.1.6	实验内容	100
5.1.7	研究内容	101
5.1.8	实验报告要求	101
5.2	多路选择器	101
5.2.1	实验目的	101
5.2.2	实验任务	101
5.2.3	实验原理	101
5.2.4	预习要求	102
5.2.5	实验内容	102
5.2.6	研究内容	103
5.2.7	实验报告要求	103
5.3	四位加法器	103
5.3.1	实验目的	103
5.3.2	实验任务	103
5.3.3	实验原理	103
5.3.4	预习要求	105
5.3.5	实验内容	105
5.3.6	研究内容	106
5.3.7	实验报告要求	106
5.4	计数器的设计	106
5.4.1	实验目的	106
5.4.2	实验任务	106
5.4.3	实验原理	107
5.4.4	预习要求	107
5.4.5	实验内容	108
5.4.6	研究内容	109
5.4.7	实验报告要求	109
5.5	串行密码锁	109
5.5.1	实验目的	109
5.5.2	实验任务	109

5.5.3	实验原理	109
5.5.4	预习要求	110
5.5.5	实验内容	111
5.5.6	研究内容	112
5.5.7	实验报告要求	112
5.6	彩灯实验	112
5.6.1	实验目的	112
5.6.2	实验原理	112
5.6.3	预习要求	113
5.6.4	实验内容	113
5.6.5	研究内容	115
5.6.6	实验报告要求	115
5.7	交通灯综合实验	116
5.7.1	实验目的	116
5.7.2	实验任务	116
5.7.3	实验原理	116
5.7.4	预习要求	117
5.7.5	实验内容	117
5.7.6	研究内容	120
5.7.7	实验报告要求	120
5.8	贪吃蛇游戏综合实验	120
5.8.1	实验目的	120
5.8.2	实验内容	120
5.8.3	实验报告要求	120
附录 A	器件引脚图	121
附录 B	CPLD 引脚	126
附录 C	点亮数字人生例程	129

第 1 章 概 述

1.1 数字电路实验基本知识

数字逻辑电路是信息类学科的一门实践性很强的基础课,实验是课程教学中的一个重要环节,通过实际对硬件电路的操作,可以使学生对理论知识有更深入的理解,并对数字电路从外形到功能有更感性的认识。在具体实验过程中,学生通过从简单到复杂的数字逻辑电路设计,从而掌握数字逻辑设计实现的一般方法,并掌握一定的硬件调试以及排错技术,为以后的专业学习打好基础。

随着电子技术的不断发展,数字电路的集成化的规模已经异常庞大,目前我们能接触到的数字电路几乎都是集成化的电路。这些集成电路按集成度可分为小规模、中规模、大规模和超大规模等。小规模集成电路在一块硅片上大约集成了 1~10 个门电路,通常为逻辑单元电路,如逻辑门、触发器等,目前常见的有 74LS 系列的集成电路等。至于中规模到超大规模的集成电路能包含更多的门电路,有些超大规模的集成电路包含上千万门资源,通常是一个完整的数字系统。同时在集成电路的结构上可以分为专用集成电路(Application Specific Integrated Circuit, ASIC)和可编程逻辑电路(Programmable Logic Device, PLD),顾名思义 ASIC 是指应特定用户要求或特定电子系统的需要而设计、制造的集成电路,这种电路功能结构固定,而可编程逻辑电路 PLD 的逻辑功能由用户对器件编程来决定,这两者各有特点和应用场景。

在数字电路的实验中,主要是使用各种集成电路芯片进行设计,教学的核心内容是充分掌握和正确使用这些集成电路,用于构成数字逻辑系统,同时实验过程中充分使用各种仪器设备对电路进行调试,进而掌握数字电路设计的方法和技巧。

1.2 实验集成电路及封装

在我们的课程实验中,主要使用一些通用的集成电路芯片,由于 TTL 在世界范围内应用很广,所以主要使用 TTL74 系列电路作为实验用器件,采用单一+5V 作为供电电源,另外,也使用一些 CMOS 芯片作为实验芯片。

TTL(Transistor-Transistor Logic)即 BJT-BJT 逻辑门电路,是数字电子技术中常用的一种逻辑门电路,应用较早,技术已比较成熟。TTL 主要由 BJT(Bipolar Junction Transistor 即双极结型晶体管,晶体三极管)和电阻构成,具有速度快的特点。最早的 TTL 门电路是 74 系列,后来出现了 74H 系列、74L 系列、74LS、74AS、74ALS 等系列。但是由于 TTL 功耗大等缺点,正逐渐被 CMOS 电路取代。CMOS 由 PMOS 管和 NMOS 管共同构成,它的特点是低功耗。由于 CMOS 中一对 MOS 组成的门电路在瞬间要么 PMOS 导通,要么 NMOS 导通,要么都截止,比线性的三极管(BJT)效率要高得多,因此功耗很低。

在使用集成电路时必须正确了解集成电路参数的意义和数值,并按规定使用,特别是必须严格遵守集成电路参数的限定,因为即使瞬间超出限定范围,也会使器件遭受损坏。

对于 TTL 器件在具体使用的过程中应注意以下几个问题。

(1) 电源电压应严格保持在 $5V \pm 10\%$ 的范围内,过高易损坏器件,过低则不能正常工作。应特别注意电源与地线不能错接,否则会因过大电流而造成器件损坏。

(2) 多余输入端最好不要悬空,虽然悬空相当于高电平,并不能影响与门(与非门)的逻辑功能,但悬空时易受干扰。

(3) 输出端不允许直接接电源或接地;输出不允许直接并联使用(集电极开路门和三态门除外)。

(4) 应考虑电路的负载能力(即扇出系数),要留有余地,以免影响电路的正常工作。扇出系数可通过查阅器件手册或计算获得。

(5) 在高频工作时,应通过缩短引线、屏蔽干扰源等措施,抑制电流的尖峰干扰。

对于 CMOS 数字集成电路在使用过程中应注意以下 4 点。

(1) V_{DD} 端接电源正极, V_{SS} 端接电源负极(地)。绝对不许接错,否则器件因电流过大而损坏。

(2) 多余输入端不能悬空。应按逻辑要求接 V_{DD} 或接 V_{SS} , 以免受干扰造成逻辑混乱,甚至还会损坏器件。

(3) 输出端不允许直接接 V_{DD} 或 V_{SS} , 否则将导致器件损坏,除三态(TS)器件外,不允许两个不同芯片输出端并联使用。

(4) 输入信号的高电平应小于 V_{DD} , 低电平应小于电路系统允许的低电压;当器件 V_{DD} 端未接通电源时,不允许信号输入,否则将使输入端保护电路中的二极管损坏。

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 是双列直插封装示意图。

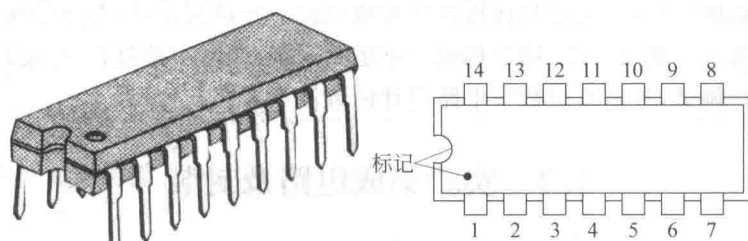


图 1.1 双列直插封装示意图

在使用集成电路前,必须认真查对识别集成电路的引脚,确认电源、地、输入、输出、控制等端的引脚号,以免因接错而损坏器件。对于双列直插封装的引脚认读方式如下。

(1) 从顶视图看,将文字、符号标记正放,器件一端有一个半圆的缺口,这是正方向的标志。同时一般在左下角有一圆点,该圆点处的引脚为 1 号引脚,然后引脚号按逆时针方向增加,如图 1.1 中的引脚号。双列直插封装 IC 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做改变,引脚间距不能改变。将器件插入实验平台的管座中,从插座中拔出时要小心,不要将器件引脚压弯或折断。

(3) 74 系列器件一般右下角的最后一个引脚是 GND,左上角的引脚是 V_{CC} 。例如,14 脚器件引脚 7 是 GND,引脚 14 是 V_{CC} ;20 脚器件引脚 10 是 GND,引脚 20 是 V_{CC} 。但也有些例外,如 16 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,找对电源和地,避免因接线错误造成器件损坏,具体集成电路的引脚图请参见附录 A。

(4) 若集成电路芯片引脚上的功能标号为 NC,则表示该引脚为空脚,与内部电路不连接。

在实验中我们也引入了可编程逻辑器件实验,使用的是 Altera 公司的 EPM240 芯片,该芯片会在第 3 章专门介绍。

1.3 数字电路实验基本要求

与其他实验一样,数字电路实验基本包括三个主要环节:实验预习、实验开展和实验总结,这三者缺一不可,每一步都需要做好才能将实验做好。在具体的实验过程中首先要确定实验内容,设计出实验电路,然后采用较好的实验方式和步骤,同时充分掌握和正确利用集成电路器件及其构成的数字电路独有的特点和规律,合理选择仪器设备和元器件,再进行调试并进行实验记录,最后实验完成后写出完整的实验报告和体会。

1. 实验预习

认真预习是做好实验的基础,实验预习的好坏关系着实验能否顺利开展,而且直接影响实验效果。每一个实验都有实验预习要求,同学需要认真阅读实验指导书,明确实验目的要求,理解实验原理,并认真复习有关实验的基本原理,掌握有关器件使用方法,拟出实验方法和步骤,做到实验过程中心中有数,并利用仿真软件对所预习的实验内容进行仿真模拟,以保证所预习设计的内容正确,这样不但可拓宽设计思路,也可大大节省实际在实验室操作的时间和调试的时间,提高实验效率。

在实验预习的过程中,完成预习报告,其内容如下。

(1) 对于通用逻辑器件的实验,应该设计好实验电路图,该图应该是逻辑图和连线图的混合,既便于连接线,又反映电路原理,并在图上标出器件型号、使用的引脚号及元件数值,必要时还必须用文字说明。

(2) 若逻辑设计采用硬件描述语言,则必须给出源程序及必要的文字注释,以及引脚连接关系。

(3) 如果需要时请给出软件仿真结果或波形。

(4) 拟订具体实验方法和步骤。

(5) 拟好记录实验数据的表格,同时给出理论值。

2. 实验开展

在具体进行实验的过程中,首先应该根据预习报告,准备好实验所需的仪器设备和装置并安放适当;然后按照预定的实验方案和步骤,连接实验电路并进行调试,同时记录实验所得各项数据、波形及出现的问题。

在实验中,如果出现问题或错误,应该根据预习报告仔细检查电路,独立思考,耐心排除,并记下排除故障的过程和方法。在实验过程中不顺利,并不是坏事,常常可以从分析问

题中增强对理论知识的理解和提高硬件调试的能力;相反,实验“一帆风顺”不一定收获大,能独立解决实验中所遇到的问题,把实验做成功,收获才是最大的。

实验数据的记录是实验过程中获得的第一手资料,实验过程中所得到的数据和波形必须和理论基本一致,所以记录必须清楚、合理、正确,若不正确,则要现场及时重复调试,找出原因。

在实际实验过程中,应该遵守以下实验要求。

- (1) 参加实验者要自觉遵守实验室的规章制度。
- (2) 按电路图正确连接实验线路,仔细检查无误后方可通电。
- (3) 严禁带电更换芯片、接插线或改接线路。
- (4) 发生芯片过热、异味,甚至冒烟等情况时,应立即切断电源,保护现场,并报告指导教师和实验室工作人员等待处理,找出原因、排除故障后才能重新实验。
- (5) 实验前应检查实验仪器编号与座位号是否相同,仪器设备不准随意搬动调换。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。
- (6) 每个实验做完后,应让指导老师检查记录。
- (7) 实验结束后关闭电源,拔除电源插头,并将仪器设备、工具、导线等按规定整理好。
- (8) 实验中要严肃认真,保持安静,并注意实验室环境卫生。

3. 实验报告

实验报告是对整个实验的一个总结,它能够培养总结能力和分析思维能力,是一项重要的基本训练。通过完成实验报告能够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、实验内容和结果、实验使用仪器和电路,以及对整个实验的分析讨论等,其中实验内容和结果是报告的主要部分,它应包括实际完成的全部实验,并且要以预习实验报告的内容为基础完成实验报告。实验报告应包含如下内容。

- (1) 实验内容、目的及实验环境条件,包括使用的主要仪器设备和软件环境。
- (2) 实验过程中所采用的电路设计方案以及采用这个方案的文字说明,并辅以软件模拟的结果。
- (3) 实验中所记录的实验数据、波形等,将实验数据整理成更直观的表格、图形等。
- (4) 结合模拟仿真的结果,对实验数据进行分析、讨论,给出实验结论,对一些重要的实验数据,进行更深一层次的分析。
- (5) 对实验过程中出现的问题进行说明,并总结实验中有何收获,和个人的一些心得体会以及对实验的意见与建议。

在实验过程中,连接实验电路是非常重要的,连线错误不仅会引起电路故障,严重时甚至会损坏器件,因此,注意布线的合理性和科学性是十分必要的,正确的连线原则大致有以下几点。

- (1) 一切以电路图为基础进行连线,连线过程中的每一步都对应到电路图上。
- (2) 接插集成电路芯片时,先校准两排引脚,使之与实验底平台上的插座对应,轻轻用力将芯片插上,然后在确定引脚与插座完全吻合后,再稍用力将其插紧,以免造成集成电路引脚弯曲,折断或者接触不良。
- (3) 不得将集成电路芯片方向插反,一般 IC 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。

(4) 连线时,最好采用各不同颜色的连接线以区别不同用途,如电源线用红色,地线用黑色。

(5) 连线应有秩序地进行,随意乱接容易造成漏接、错接,较好的方法是首先接好固定电平点,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,再按信号源的顺序从输入到输出依次接线。

(6) 连线应避免过长,避免从集成器件上方跨接,避免过多的重叠交错,以利于后面接线、更换元器件以及故障检查和排除。

(7) 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,布线时,顺便对单个集成器件进行功能测试。这是一种良好的习惯,实际上这样做不会增加布线工作量。

(8) 连线和测试调试工作是不能分开的,往往需要交替进行,对大型实验来说由于元器件很多,可将总电路按其功能划分为若干个相对独立的部分,逐个布线、调试(分调),然后将各部分连接起来(联调)。

1.4 数字电路的基本测试和调试方法

在数字电路实验中,调试、测试以及电路故障的查找、排除都是必不可少的能力和技术,这种能力和技术的培养是通过在实践中不断探索总结出来的,需要具有敏锐的观察和缜密的逻辑推理,使用一些技巧,才能掌握好电路调试测试的方法。

具体来说,电路测试的目的是验证电路设计的正确性和功能的完整性,对组合逻辑电路来说就是验证其输出与输入的关系是否与真值表相符,对时序逻辑电路来说就是验证其状态的转换是否与状态图或时序图相符合。在电路测试过程中,如果发现与预期结果不一致的情况时要分析原因,找出故障所在,并解决它。

数字电路测试大体上可分为静态测试和动态测试两种。

1. 静态测试

静态测试是在电路输入保持不变的状态下测试输出与输入的关系。电路连接好后一般先进行静态测试,将电路的输入端分别接到逻辑电平开关上,输出连接到指示灯或者通过电压表进行测量,然后按照功能表或真值表给定电路若干组静态输入值,测试电路的输出值,检查输出是否与预期或真值表相符,通过这些来判断此电路静态工作是否正常。静态测试是检查设计是否正确,接线是否无误的重要一步,如果静态测试通过,一般意味着电路连接与所设计相同。

对于时序逻辑电路的测试,由于受到时钟的控制,测试过程中要控制时钟的变化,分为单步和连续两种方式,电路连接好后要重点观察时钟的改变是否能让信号随着预期状态图变化。在单步方式下以单脉冲源作为时钟脉冲,逐个时钟进行观测,来判断输出状态的转换是否与状态图相符;连续工作方式下以连续脉冲源作为时钟脉冲,用示波器观察波形,来判断输出波形是否与时序图相符。

2. 动态测试

动态测试是在静态测试基础上,按设计要求在输入端加动态脉冲信号,观察输出端波形

是否符合设计要求。动态测试需要使用示波器才能观测,通过在输入端加上周期性信号,然后观察输入、输出波形的变化,如果电路能正常工作表明电路设计成功。有些数字电路只需进行静态测试即可,有些数字电路则必须进行动态测试,一般来说,时序电路应进行动态测试。

同时通过动态测试可以测量电路的频率响应,找到电路能正确工作的最高输入脉冲频率,也就是电路的最高工作频率。电路的最高工作频率也可以根据芯片的参数和电路的设计推断出来。

在数字电路实验中,出现问题是难免的,这就需要对电路进行调试,分析问题,找出问题的原因,从而解决它。在调试过程中,要熟悉经常发生的典型问题和解决方法。一般来说,电路产生问题的原因有以下4个方面:接线错误、器件故障、设计错误和测试方法不正确。

1) 接线错误

接线错误是最常见的错误,大部分的电路故障是由接线错误引起的。接线错误造成的现象多种多样,例如,芯片的某个功能块不工作或工作不正常,电路中信号电压不正常,芯片不工作或发热,电路中一部分工作状态不稳定等。常见的接线错误主要有以下5种。

(1) 忘记接芯片的电源和地,这是最常见的,由于很多电路图上都隐藏了芯片的电源和地的接线,因而致使在连线的过程中没有连接芯片的电源和地。

(2) 连接线与插座接触不良,主要是连接线没有很好地插入插座中。

(3) 连线经多次使用后或者受到挤压折叠,有可能外面塑料皮完好,但内部已经断开。

(4) 连线时多接、漏接、错接。

接线错误的解决方法大致包括以下5种。

(1) 熟悉所用器件的功能及其引脚号,知道器件每个引脚的功能。

(2) 检查芯片的电源和地是否接对、接好。

(3) 检查连线和插座接触是否良好。

(4) 检查连线有无错接、多接、漏接。

(5) 检查连线中是否有断线。

在检查线路时最重要的是接线前要画出接线图,按图接线,不要凭记忆随想随接,还有就是接线要规范、整齐,同类的尽量用同一种颜色的连线,例如电源使用红色,地使用黑色,方便区分,在连线的过程中尽量走直线、短线。

2) 器件故障

器件故障是器件失效或器件接插问题引起的故障,表现为器件工作不正常。如果器件芯片工作不正常,可以通过标准测试设备进行测试,对失效的芯片进行更换。另外一种器件问题主要出在芯片的接插上,如引脚折断或者芯片的某个引脚被折弯而未插到插座中等,也会使器件工作不正常。对于芯片的接插错误有时不易发现,需仔细检查。

3) 设计错误

设计错误是指对实验内容理解错误,造成电路设计一开始就有问题,自然就会造成与预想的结果不一致。出现这一问题的主要原因是对实验要求没有理解,或者是对所用芯片的功能没有掌握,解决这一问题必在实验前理解实验要求,掌握实验原理,精心设计,画好逻辑电路图和接线图。

4) 测试方法不正确

测试方法不正确也会引起观测错误,这个主要是测试方法或者仪器使用不正确造成的。例如,一个稳定的波形,如果用示波器观测,而示波器没有同步,则造成波形不稳的假象。因此在数字电路实验中,尤其要学会正确使用各种仪器。还有就是本来的测试方案就不正确或者理论预期值计算错误等都会造成实验问题,克服这一类问题需要实验者认真仔细地准备实验,做好预习。

当测试中发现结果与预期不一致时,千万不要慌乱,应仔细观测现象,冷静思考问题所在。首先检查仪器、仪表的使用是否正确,按电路接线图逐级查找问题出现在何处。通常从发现问题的地方,一级一级向前测试,直到找出故障的初始发生位置,然后仔细认真地检查连线是否正确。如果没有问题,再检查芯片引脚是否全部正确插进插座中,有无引脚折断、弯曲、错插等问题以及连接线路是否有断线或多线的情况。确认无上述问题后,取下芯片进行测试,以检查器件好坏,或者直接换一个好器件。如果器件和接线都正确,则需考虑设计问题或者测试方案的问题。

在实际操作过程中,电路的调试有一定的方法和技巧,下面介绍一些通用的调试方法和技巧。

(1) 查线法。由于在实验中大部分故障都是由于连线错误引起的,因此,在故障发生时,复查电路连线为排除故障的有效方法。应着重注意:导线是否导通,有无漏线、错线,连线与插座接触是否可靠,芯片是否插牢、是否插反、是否完好等。

(2) 观察法。用万用表或示波器直接测量芯片的电源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,测试各输入输出端的电平,从而判断出是否是管座、芯片、连接线等原因造成的故障。

(3) 信号激励法。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) 信号追踪法。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响应以及是否正确,必要时可多次输入不同信号。

(5) 替换法。对于多输入端器件,如有多余端则可调换另一输入端试用。必要时可更换芯片,以检查芯片功能不正常所引起的故障。

(6) 动态跟踪法。对于时序逻辑电路,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。

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,还有一种问题就是实验平台本身出了故障,这就需要指导老师协助调试。

实验测试和调试经验对于故障的排查大有帮助。只要充分预习,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故障。