

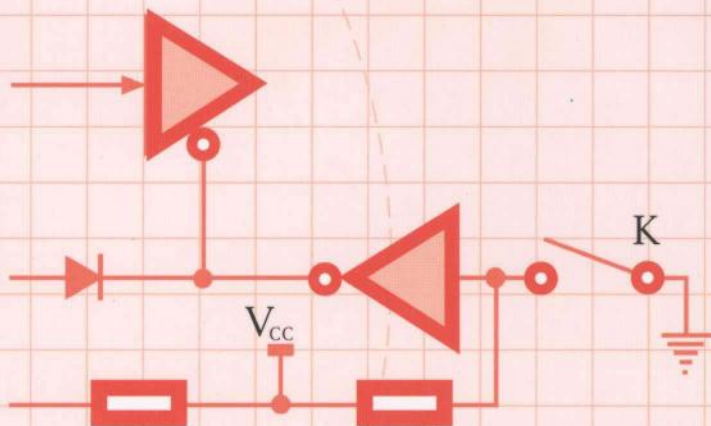
教育部“国家级精品课”教材

电子信息科学基础实验课程丛书

SHUZI LUOJI DIANLU SHIYAN

数字逻辑电路实验

数字逻辑电路实验课程组 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

教育部“国家级精品课”教材
电子信息科学基础实验课程丛书

数字逻辑电路实验

数字逻辑电路实验课程组 编著



北京大学出版社
PEKING UNIVERSITY PRESS

图书在版编目(CIP)数据

数字逻辑电路实验/数字逻辑电路实验课程组编著. —北京: 北京大学出版社, 2011. 9

(电子信息科学基础实验课程丛书)

ISBN 978-7-301-19501-7

I. ①数… II. ①数… III. ①数字电路: 逻辑电路—实验—高等学校—教材 IV. ①TN79-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 187053 号

书 名: 数字逻辑电路实验

著作责任者: 数字逻辑电路实验课程组 编著

责任编辑: 王 华

标准书号: ISBN 978-7-301-19501-7/TN · 0077

出版发行: 北京大学出版社

地 址: 北京市海淀区成府路 205 号 100871

网 址: <http://www.pup.cn> 电子信箱: zpup@pup.pku.edu.cn

电 话: 邮购部 62752015 发行部 62750672 编辑部 62765014 出版部 62754962

印 刷 者: 涿州市星河印刷有限公司

经 销 者: 新华书店

730mm×980mm 16 开本 17.75 印张 290 千字

2008 年 2 月第 1 版 2011 年 9 月第 2 次印刷

定 价: 35.00 元

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

举报电话: (010)62752024 电子信箱: fd@pup.pku.edu.cn

内 容 简 介

本书是北京大学电子信息科学基础实验中心《电子信息科学基础实验课程丛书》之一。全书分为三部分,第一章是数字逻辑电路实验导论,第二章是数字逻辑电路实验部分,第三章是可编程逻辑器件 GAL 及 ABEL 语言。第一章有实验的有关规定,正确地撰写实验报告,数字电路实验基础知识;第二章精选了 14 个逻辑电路实验,包含实验目的、实验原理、实验内容、思考题等。第三章包含可编程逻辑器件概述,PAL、GAL 的基本电路、设计方法及 ABEL 语言编程。书末的附录有常用集成电路芯片的参数及性能介绍。

本书介绍了数字逻辑电路和可编程逻辑电路实验的基本知识,内容丰富,实用性强。通过本书精心安排的科学而系统的实验训练,培养学生的逻辑思维能力、分析和解决问题的能力、综合设计的能力,培养学生知识自我更新和不断创新的能力。本书可作为高等院校电子信息类本科生数字逻辑电路实验教材,也可作为教师和工程技术人员的参考书。

丛书序言

本科教育是北京大学长远发展中最基础、最重要的工作之一,而实验教学是本科教育特别是一些基础学科教育的重要组成部分,是衡量学校教育质量的重要指标,是培养学生的实验能力以及实践与创新精神的重要过程,是培养高水平、创新型人才的重要手段,同时也是新的形势对高等教育教学的迫切要求。

我校根据改革开放以后国内高等教育形势、规模和人才需求结构的变化,借鉴国际上先进的教学理念并结合我国的实际情况,制定了“加强基础、淡化专业、因材施教、分流培养”的教学改革十六字方针。为了适应电子信息技术的发展,全面培养电子与信息科学类专业的高素质创新型人才,我校于2000年9月成立了北京大学电子信息科学基础实验中心,全面负责全校电子信息类基础实验课程的实施、改革和建设工作。

根据我校电子信息科学类专业本科生理论基础扎实、人数相对工科院校较少的特点,近年来,实验教学中心进行了具有研究、综合型大学特点的“电子信息科学基础实验课程体系”的建设。形成了模块化、多层次,具有理工相结合特色的实验课程体系,并将专业基础实验课程纳入到课程体系中来。实验课程既与相应理论课程相互呼应,同时又保持了自身的体系与特色。

在学校和信息科学技术学院领导的关心和支持下,实验教学中心组织在教学第一线的骨干教师,总结多年来实践教学和改革经验,并参考兄弟院校的实践教学改革成果,编写了电子信息科学基础实验课程丛书。该套丛书具有理工相结合特色,实验内容选择上注重深度,注重启发性、研究性和综合性,同时将EDA等技术有机地融入到实验课程中去,以便全面地培养学生的综合研究能力和创新意识。

电子信息科学基础实验课程丛书共12本,涵盖了北京大学电子信息科学基础实验课程体系的4个层次。

基础实验层次:

《电路基础实验》、《电子线路实验》、《数字逻辑电路实验》

综合设计层次:

《电子线路计算机辅助设计》、《微机原理与接口技术》、《可编程逻辑电路设计》

研究创新层次:

《电子系统设计》、《嵌入式系统开发原理与实验》

专业基础层次：

《通信电路实验》、《光电子实验》、《集成电路设计》、《数字信号处理实验》

本套丛书的筹划和编写得到了原电子学系主任王楚教授的关心和指导，信息科学技术学院陈徐宗副院长，实验教学中心顾问唐镇松教授、沈伯弘教授在整个编写过程中，都进行了严格把关和悉心指导。同时，北京大学教务部、北京大学出版社和信息科学技术学院的领导都给予了大力支持和帮助。在此，向他们致以崇高的敬意，并表示衷心的感谢。向所有关心、支持和帮助过本丛书编写、修改、出版、发行工作的各位同仁致以诚挚的谢意。

限于作者的水平和经验，丛书中的疏漏和不足，敬请专家和读者批评指正，不吝指教。

北京大学
电子信息科学基础实验中心
2008年9月

前 言

“数字逻辑电路实验”课程,潜心研究国内外最先进的“数字逻辑电路”学科规范和知识体系,经过多年的教学改革,目前课程教学理念先进,教学大纲合理,教学内容富有特色;既发扬了北大传统理科优势,又注重理论与工程实践的结合。对培养学生分析和解决问题、创造性思考能力有很好的作用。

“数字逻辑电路实验”课程的改革 1995 年列为国家教委高等教育面向 21 世纪“信息与电子科学类教学内容和体系改革”项目。在王楚教授、沈伯弘教授的主持和亲自参加下,“数字逻辑电路实验”列为子项目,该项目于 2001 年获得国家级教学成果一等奖,1997 年《电子线路课程建设》获国家级教学成果二等奖。《电子线路课程建设》包括“数字逻辑电路实验”课程建设。

王楚教授亲自指导并参加了“数字逻辑电路实验”课程的建设 and 改革工作。实验课程组完成了教学内容、课程系统、实验装置等方面的改革建设,提出了从基本门电路、小系统的设计和可编程逻辑电路三个层次的实验课程体系,设计并设置了相关的实验内容及实验装置。由王楚主持编写、刘新元参加编写完成了该课程 11 个实验的讲义和可编程逻辑器件 GAL 及 PLD 设计语言 ABEL 教学参考资料初稿,参加此项工作的还有陈志杰、侯培、吴建军等人。

近年来,大量教授、副教授充实本课程的教学队伍,完成了新老交替。课程组继续进行教学改革,构建了厚基础、高起点、具有数理背景和理工科相结合的新的知识体系。使得实验课程有了进一步的提升。

在学院的领导下,在电子学系唐镇松教授的指导下,对本课程教学内容进行了改革,增加的实验有:组合逻辑电路的应用、计数器和脉宽测量、 m 序列、数字锁相环、同步时序系统设计仿真、程序控制反馈移位寄存器仿真。重排的实验有:数模和模数转换。唐镇松教授提出了这些实验的方案,并指导课程组编排了相关实验。毛新宇编排了 m 序列、数字锁相环、计数器和脉宽测量,唐镇松编排了数模和模数转换实验,殷洪玺编排了组合逻辑电路的应用实验,张广骏编排了同步时序系统设计仿真、程序控制反馈移位寄存器仿真。最终形成了本书的 14 个实验。

本书由多年从事电子信息课程体系、课程内容及教学方法改革等工作的数字逻辑电路实验课程组的教师编写。在出版本书中,参加最后修订的有:吴建军修订第一章;刘新元修订第二章实验一、二、三、四和第三章;郭强修订实验五;

毛新宇、郭强修订实验六；毛新宇、刘璐修订实验十、实验十一；刘璐修订实验七、八、实验十二；吴建军修订实验九；程宇新修订实验十三和实验十四。郭强编写了附录并负责本课程实验装置的电路板制作及部分电路板设计。

唐镇松教授进行了全书第一章和第二章的审校，谢柏青教授进行了本书第三章的审校。

本书的编写得到了北京大学教材建设立项项目的支持，对此表示衷心的感谢。同时感谢北京大学教务部和北京大学出版社的大力支持。信息科学技术学院主管本科生教学的陈徐宗院长，电子信息科学基础实验中心的王志军主任也给予了大力支持，学院教学督导组谢柏青教授经常参加本课程组的教学研究活动，指导教学。他们也对本书提出了许多有益的建议。在此一并感谢。

本课程建设长达 20 多年，参加此课程建设和教学改革工作的老师很多，在此深表谢意。

由于作者的水平有限，时间仓促，书中难免出现不足和错误，敬请读者不吝赐教。

编者
于北京大学
2008 年

目 录

第一章 数字逻辑电路实验导论	(1)
1.1 序论	(1)
1.2 实验的有关规定	(1)
1.2.1 实验要求	(1)
1.2.2 实验操作要求	(2)
1.2.3 实验室管理要求	(2)
1.3 正确地撰写实验报告	(3)
1.3.1 实验报告的内容	(3)
1.3.2 实验报告的例子	(5)
1.4 数字电路实验基础知识	(8)
1.4.1 数字集成电路的分类及主要参数	(8)
1.4.2 TTL 与 CMOS 数字集成电路使用注意事项	(10)
第二章 数字逻辑电路实验部分	(12)
实验一 逻辑门电路测试之一	(12)
实验二 逻辑门电路测试之二	(18)
实验三 单稳态电路与无稳态电路	(22)
实验四 晶体振荡器	(28)
实验五 组合逻辑电路的应用	(31)
实验六 计数器和脉宽测量	(40)
实验七 同步时序系统设计	(48)
实验八 单次触发的异步时序逻辑系统设计	(64)
实验九 程序控制反馈移位寄存器	(65)
实验十 m 序列	(71)
实验十一 数字锁相环	(78)
实验十二 模数和数模转换	(82)

实验十三 同步时序系统设计仿真	(94)
实验十四 程序控制反馈移位寄存器仿真	(109)
第三章 可编程逻辑器件 GAL 及 ABEL 语言	(112)
3.1 概述	(112)
3.2 可编程逻辑器件概述	(113)
3.2.1 可编程逻辑器件简介	(113)
3.2.2 实现编程的工艺	(115)
3.2.3 PLD 的开发过程	(118)
3.3 PAL 的基本电路	(119)
3.3.1 组合逻辑 PAL	(119)
3.3.2 有寄存器的 PAL	(124)
3.3.3 利用 PAL 设计电路的过程	(127)
3.3.4 器件的工业型号	(130)
3.3.5 PAL 的封装	(131)
3.4 GAL 的基本电路——带有结构编程的 PAL	(132)
3.4.1 从 PAL 发展到 GAL——通用型 PAL	(132)
3.4.2 16V8 型和 20V8 型 GAL	(137)
3.4.3 GAL 器件简介	(140)
3.5 GAL(PAL)的编程	(149)
3.5.1 可编程单元的代码	(149)
3.5.2 熔丝图文件与 JEDEC 文件	(153)
3.5.3 GAL 的编程过程	(156)
3.5.4 在线可编程 GAL——ispGAL16Z8	(158)
3.6 ABEL 软件简介	(160)
3.6.1 ABEL 软件的功能	(160)
3.6.2 ABEL 软件的运行	(162)
3.6.3 设计文件(源文件)的格式	(164)
3.6.4 设计文件举例及几种语句与符号	(166)
3.7 DECLARATIONS(定义段)语句	(170)
3.7.1 器件定义语句	(170)
3.7.2 引脚定义语句	(171)
3.7.3 节点定义语句	(173)
3.7.4 常量定义语句	(175)

3.8	逻辑功能描述与仿真测试	(175)
3.8.1	逻辑方程	(175)
3.8.2	真值表	(177)
3.8.3	测试矢量表	(181)
3.8.4	仿真跟踪的级别	(186)
3.9	状态图设计语句	(190)
3.9.1	状态与转移条件的表述	(190)
3.9.2	状态转移语句格式与 Goto 语句	(192)
3.9.3	Case 语句和 If-Then-Else 语句	(194)
3.9.4	With-Endwith 语句	(196)
参考书目		(200)
附录		(201)

第一章 数字逻辑电路实验导论

1.1 序 论

在当代科学技术日新月异的发展趋势下,电子和计算机技术已被广泛应用于社会生活的诸多领域,它们所掀起的“数字化浪潮”方兴未艾。作为当今诸多高新数字电子技术的基石,数字逻辑电路知识及其实验是电子技术领域人才所必须掌握的基础知识之一。

数字逻辑电路是一门实践性很强的专业基础课程,其实验对电子类专业学生是一个非常重要的教学环节,要求培养学生在理论指导下进行科学实验的基本技能,提高学生解决实际问题的能力。随着近十年来数字电子技术的迅猛发展,各种中、大乃至超大规模数字逻辑集成电路在通信系统、控制系统、信号处理等方面日益展示出了强大的功能和处理能力,这对学生的综合分析和设计能力提出了更高的要求。因此在本实验教材的编排方面,汲取了以往教学中的经验,注意了 TTL 和 CMOS 集成电路并重,加强了常用中大规模集成电路的应用以及实验设计等内容。

本门课程的内容跨越了基本门电路(含脉冲电路)、小系统的设计、可编程逻辑电路等几个组成部分。课程学习的主要目的有:

- (1) 了解基本数字电路的工作原理及常用电路组成;
- (2) 系统掌握基本的逻辑分析和设计方法,并培养学生使之具备科学分析和测试等方面的能力,养成规范设计的工作习惯;
- (3) 通过可编程电路实验初步具备现代逻辑电路组成的入门知识,掌握使用可编程器件组成系统的方法;
- (4) 培养学生设计、实现小型数字逻辑电路系统的能力。

1.2 实验的有关规定

1.2.1 实验要求

- (1) 实验前认真预习,完成预习报告,预习报告应包括实验设计和实验步

骤,没按要求完成预习报告的同学不能直接进行实验;

(2) 实验中应按照正确的操作规程使用仪器和设备,记录观测的数据和现象;

(3) 实验后应认真完成实验报告,并将实验报告包括预习报告和实验中记录的数据一起及时交给指导教师。

指导教师将根据同学实验前的预习情况,实验课上的表现,以及实验报告的完成情况来确定其成绩。

1.2.2 实验操作要求

在实验中必须关掉电源才能插、拔芯片或焊接元器件,不可带电插拔或焊接。注意爱护实验设备,上电后电烙铁要尽量远离示波器、信号发生器、万用表等各种仪器设备,严禁私自用加热后的电烙铁随意烫触电路板外的其他设备。当然如果确认发生电源接线接触不良等情况,可在征得负责教师同意的情况下,将接线从设备取下用电烙铁修理。

正确使用稳压电源、信号发生器等设备。本实验中各芯片的电源电压由稳压电源提供,根据所用逻辑器件的要求,选用电源电压一般使用 $+5\text{V}$,应该调整稳压电源的输出电压并使用万用表确认达到这个数值后,才可将电源输出加到实验装置板上,注意先接地线,再接 $+5\text{V}$ 电压;使用到的脉冲信号输入,通常由信号发生器提供,注意为了保护芯片,输入信号幅度应该保证在 $0\sim+5\text{V}$ 的范围内,应注意信号发生器显示的输出信号振幅是在其负载与信号源输出电阻相匹配条件下标定的,在信号源的负载与其输出阻抗不一致时,输出信号幅度与指示值不符,每次实验都应该正确调整好信号发生器的幅值以及偏置以达到这样的要求,并且接入电路前使用示波器检查核对,同样要注意先接地线,再接信号。实验时应该先加电源电压,后加输入信号;结束实验时先断开输入信号,后断开电源电压。禁止把电源、信号加到实验电路板上后再调整各项参数。碰到异常现象,如打火,冒烟等,首先应立即切断电源,及时向教师报告。

实验结束后应有条不紊关闭各种仪器的电源,清理桌面,拔掉烙铁电源插头及将仪器面板上的控制旋钮放到正确的“准备”位置上。特别是万用表应将量程置于空挡,如无空挡则应置于直流电压量程的最高挡,不应该置于电阻挡,更不应该置于电流挡。机械万用表用完后,两个转盘必须放在“ \cdot ”位置上。

如发现以上违规操作,特别是教师提醒警告后仍然明知故犯的,将扣除相关同学的实验课分数,造成设备损坏者将承担相关责任并被记录在案。

1.2.3 实验室管理要求

为尊重任课教师和其他同学,请参考分组安排准时到达实验室上课。如果

发生迟到、未完成实验而早退等意外情况,应当向当堂教师做出合理解释说明,并自行努力补齐缺失的课程内容。考勤记录缺席严重的同学,要自负本课程不能通过的责任。

实验前检查实验台上的各类仪器设备是否完整齐备。如有缺失故障,应立即向实验室管理老师报告处理,严禁私自挪动、拿走实验室设备。

实验结束后打扫桌面,关闭所使用仪器设备电源,待老师检查认可后方可离开。

1.3 正确地撰写实验报告

要圆满地完成一项实验,必须把握好三大环节,即实验前的充分预习、实验中的正确操作及实验后完整报告的撰写。写好实验报告不仅是实验课程学习不可或缺的重要组成部分,还是今后写作技术报告或科技论文的基础。因此,每一位同学都必须认真对待。

1.3.1 实验报告的内容

实验报告应该包含哪些内容呢?一般而言,一份完善的实验报告应由实验题目、实验目的、实验原理、实验仪器和设备、实验方法和步骤、数据记录和分析、问题讨论这几部分构成。下面逐一加以说明介绍。

1. 实验题目

每份实验报告的题目包括:本次实验的题目,实验者的姓名,合作者的姓名(如果有的话),实验日期,提交报告的日期等内容。

2. 实验目的

实验目的叙述要简洁明了、恰如其分。切忌用过于笼统的语言来描述它,更不要把它扩大到超出在一个实验中实现的可能,例如写“研究 LC 振荡器的特性”就不如写“研究 LC 振荡器的起振条件”更贴切。

3. 实验原理

实验原理主要简略描述该实验的主要原理,其中应包括电路原理图、主要公式等。可以结合理论课程的学习写出对实验背景的了解,不宜完全照搬实验讲义的内容。

4. 实验仪器和设备

列写清楚实验中所使用的仪器仪表设备和主要元器件的型号、规格,甚至制造厂家也是极其必要的。因为别人能据此对你的实验结果的可靠性和精确程度作出初步的判断,也可供想重做该项实验并得到相同结果的人参考。

目前实验中应用集成电路愈来愈多,国产的集成电路大都已有国际标准或国家标准,例如 TTL 电路中的 T000 系列、T1000 系列等,CMOS 电路中的 C0000 系列、CC0000 系列等。国外生产的集成电路,尽管类型和型号相同,如果生产厂家不同,则性能往往会有差异,这一点大家应加以注意。

5. 实验方法和步骤

实验方法和步骤要用实验者本人的语言简明扼要地描述,而非照抄实验讲义上的内容。

6. 实验结果

实验结果包括实验中实际测得的数据(有时也可能是波形)和根据测得的数据计算得到的数据两种。这里需要注意以下几个问题:

(1) 测得的数据要根据误差的要求,正确选取其有效数字的位数,而计算所得数据的精度(有效数字的位数)要与测得的数据的精度相吻合。

(2) 用测得的数据列表表示时,每张表格都应加上说明标题,表中所列的数据应附有单位,同一类型的量采用的单位应力求相同。计算所得的数据也可列在同一表格中,但要清楚地说明它是计算所得数据。

(3) 有时需要将测得的数据绘制成图形或曲线。那么,每根曲线的水平和垂直坐标轴都应标明所代表的量、采用的单位及刻度大小。每张图上的数据点应使用记号表示得十分清晰,每根曲线都应画得光滑、连续,而不是机械地用每个数据点连成的多段折线或多段弧线来表示。有时,如需将实验结果与理论曲线进行比较,则理论曲线也应画在同一张图上,所使用的单位和刻度也应相同。

(4) 任何一次实验的结果都存在误差。认真地对实验所得结果进行误差分析,不仅是提高实验质量的关键,还能提高对实验过程的洞察力以及培养分析问题和解决问题的能力。

分析实验误差应包括:误差的计算,误差变化规律的探寻,误差产生原因的分析以及对误差贡献大小不同因素的区分等。如果本次实验是验证某项理论,那么,就应把实测数据与理论计算结果进行对比分析,说明产生误差的原因及影响的大小。

7. 思考题及讨论

思考题及讨论包括两部分:

(1) 实验讲义中思考题的讨论;

(2) 实验结果或实验过程中奇异现象和结果的讨论。如果实验数据揭示出一种未曾预料到的结果,那么,应在讨论部分加以陈述,并力争对此种新现象作出初步的解释与判断。最后,实验者对该项实验的改进建议(诸如实验方案的修正,内容的增删,步骤的改进,精度的提高等)。

除了以上所阐明的那些内容要求外,一份优秀的实验报告,还应做到文理通顺,字迹工整,图形美观,页面整洁。

1.3.2 实验报告的例子

以下选录了一份写得比较完整的实验报告,供学习参考。

实验题目:全加器及其应用

实验日期: 年 月 日 实验者:

提交报告日期: 年 月 日 合作者:

[报告正文]

一、实验目的

1. 掌握全加器的逻辑功能;
2. 熟悉全加器的使用。

二、实验原理

全加器可以进行两个加数以及一个低位进位数三者相加的运算,它是计算机中最基本的运算单元电路。

一位全加器有三个输入端:被加数 A_n 、加数 B_n 、低一位向本位的进位数 C_{n-1} 。有两个输出端:全加和、向高位的进位数 C_n 。

74LS183 是中规模集成电路双全加器,内部由两个电路相同、相互独立的全加器组成,其全加器真值表如表 1.1 所示,逻辑符号如图 1.1 所示。

表 1.1 全加器真值表

输入			输出	
A_n	B_n	C_{n-1}	F_n	C_n
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

该全加器逻辑表达式为:

$$F_n = \overline{A_n}B_nC_{n-1} + A_n\overline{B_n}C_{n-1} + A_nB_n\overline{C_{n-1}} + \overline{A_n}\overline{B_n}C_{n-1}$$

$$C_n = \overline{A_n}\overline{B_n} + \overline{B_n}C_{n-1} + C_{n-1}\overline{A_n}$$

利用全加器,可组成全减器,实现代码间的相互转换。

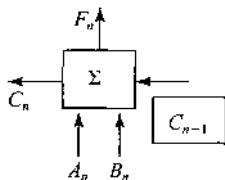


图 1.1 全加器逻辑符号图

三、实验仪器和设备

- | | | |
|--------------------------------------|-----------|-----|
| 1. 直流稳压电源 | HP E3620A | 1 台 |
| 2. 双踪示波器 | HP 54603B | 1 台 |
| 3. 信号发生器 | HP 33120A | 1 台 |
| 4. 万用表 | MF 500 | 1 块 |
| 5. 实验电路板 | | 1 块 |
| 6. 74LS86、74LS183 各两片,74LS00 一片,导线若干 | | |

四、实验方法和步骤

1. 4 位全加器的实现

我们使用的 74LS183 每片由两个相互独立的一位全加器组成,要实现 4 位全加,需要进行串行进位,其电路原理如图 1.2 所示,其中 C_0 配置为“0”。

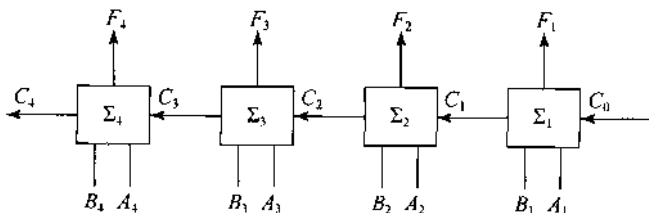


图 1.2 串行进位 4 位全加器电路原理图

根据芯片的管脚定义画出连线图,在电路板上实现电路连接并检测电路功能。

对如下数据进行设置计算:

$$1010+0101, \quad 0110+0111, \quad 1011+1101, \quad 0101+1100$$

2. 4 位全减器的实现

在逻辑电路中没有单独的全减器,可以通过“被减数”加“减数的补码”使减数运算变为加法运算,因此在图 1.2 电路的基础上,使用异或门 74LS86 组成一个二进制的原码、反码选择电路,电路如图 1.3 所示。