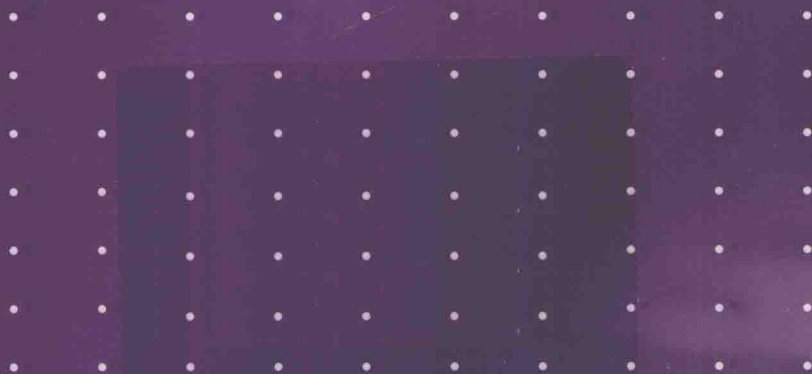


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

数字电路与 系统设计基础 (第2版)

■ 主编 黄正瑾
■ 参编 李文渊 秦文虎 戴义保
高翔 管秋梅
■ 主审 田良



教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

数字电路与 系统设计基础（第2版）

Shuzi Dianlu yu Xitong Sheji Jichu

■ 主编 黄正瑾

■ 参编 李文渊 秦文虎 戴义保

高翔 管秋梅

■ 主审 田良

• • • • • • • • •
• • • • • • • • •
• • • • • • • • •
• • • • • • • • •
• • • • • • • • •
• • • • • • • • •
• • • • • • • • •

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是教育部面向 21 世纪课程教材《计算机结构与逻辑设计》的第二版。

本书保持第一版以计算机组成方框为线索介绍数字技术的基本原理和用数字功能模块构建数字系统的方法与理念的结构。其特色是以设计为纲，以系统设计为中心，出现代设计方法。例如除介绍传统的分析设计方法外，增添了用模块结合算法实现组合逻辑电路，按算法流程图或 ASM 图并以模块为中心实现时序逻辑电路，以及用存储器配合微程序方法设计控制器等。还增加了关于 SCFL 高速器件的介绍。各章内容的编排与格式也有所创新。

本书可作为高等学校电气类、电子信息类、自动化类专业“数字电子技术”类课程 64 学时（不含第 9 章）或 80~96 学时（含第 9 章）的教材，或作为“数字电子技术”、“数字系统课程设计”两门课程的合用教材，也可供相关学科的工程技术人员参考。

图书在版编目 (C I P) 数据

数字电路与系统设计基础 / 黄正瑾主编;李文渊等编. -- 2 版. -- 北京:高等教育出版社,2014. 8

ISBN 978 - 7 - 04 - 040583 - 5

I. ①数… II. ①黄… ②李… III. ①数字电路 - 系统设计 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 165126 号

策划编辑	平庆庆	责任编辑	平庆庆	封面设计	王 洋	版式设计	杜微言
插图绘制	杜晓丹	责任校对	窦丽娜	责任印制	刘思涵		

出版发行	高等教育出版社	网 址	http://www.hep.edu.cn
社 址	北京市西城区德外大街 4 号		http://www.hep.com.cn
邮政编码	100120	网上订购	http://www.landraco.com
印 刷	煤炭工业出版社印刷厂		http://www.landraco.com.cn
开 本	787mm × 1092mm 1/16	版 次	2001 年 6 月第 1 版
印 张	33. 25		2014 年 8 月第 2 版
字 数	820 千字	印 次	2014 年 8 月第 1 次印刷
购书热线	010 - 58581118	定 价	48. 00 元
咨询电话	400 - 810 - 0598		

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题，请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 40583 - 00

序

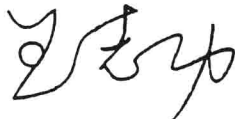
自 1999 年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。
2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过 2~3 年的试用,形成适用于本层次教学的教材。
3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。
4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想,把这项工作扎实持续地推进下去,为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材,为提高高等教育教学质量,深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010 年 12 月

第二版前言

我们于2001年编写出版的教材《计算机结构与逻辑设计》在东南大学电类非计算机专业已经使用了12年。该书编写的宗旨是致力于培养学生的系统观念,以适应电子系统日趋数字化、智能化和超大规模集成化的趋势。其主要特色是将传统的数字电路与计算机的基本组成硬件有机地结合,以计算机作为数字系统的典型实例,介绍数字技术的基本原理、常用电路、分析与设计方法和用数字功能模块构建数字系统的理念,同时大幅度削减小规模IC以及只对其分析设计有效的概念和方法方面的内容,适当引进了ASIC、PLD设计、语言描述和逻辑模拟等在现代逻辑设计中有效的新概念、新方法……十余年来,我们的努力如愿以偿,学生的总体设计能力有了长足的进步,在课程设计、毕业设计、课外研修和各类竞赛中皆得到充分体现。

这12年正是数字IC技术与计算技术发展更加迅猛的时期,随着数字IC规模的进一步扩大、SoPC技术的出现以及嵌入式处理器的普遍使用,使得传统的数字化产品进入了更先进的数码产品时代。如今在候机大厅、地铁、公交和其他公共场所,手持手机、i-pad聊天、游戏的人不论男女老幼,比比皆是,旅游景点用数码相机、数码摄像机留影的游客随处可见,市场货架上各式各样的MP3播放器、数码小音箱、MP4视频播放器、数码家庭影院、平板电脑、笔记本电脑琳琅满目。这些功能越来越强、体积越来越小、价格越来越低的复杂数字系统的出现与普及,迫使我们的教学不得不把数字逻辑设计与分析的重心由规模较小的电路转向规模较大的数字系统;以现代先进的设计方法与理念取代传统的设计方法与理念。而这种转变又要求我们的技术基础课教材除了保持厚重的基础外,还应当理念更先进,目标更深远,思路更宽阔,方法更灵活,以营造出合适的环境与气氛,与反映最先进技术的专业课接轨。

《计算机结构与逻辑设计》相对以往的教材虽然有很多适应形势的变化,但其所涉及的设计技术仍然是以传统设计方法为主导的,某些内容与理念还不能适应先进的数码产品时代的需求,加之由于非常特殊的原因,教材中错误较多。所以我们在原《计算机结构与逻辑设计》的基础上,编写了这本教材,并根据本书的中心内容将教材更名为《数字电路与系统设计基础》。编写本书时除保留原书的一些优点与特色外,主要依据下列原则:

以设计为纲 全书自始至终围绕设计这个纲展开,绪论即通过一个电压峰值测量系统的设计实例介绍数字系统设计的软、硬件实现方法,并提出一个贯穿全书的数字抢答器系统典型设计课题。

以系统设计为中心 与多数教材只在最后一章介绍数字系统设计的做法不同,从第2~3章开始就注意启发读者系统设计的意识,引进算法流程图、ASM图、VHDL等系统设计的工具,将传统的数字电路的分析、设计方法提高了一个档次。随后从第2章起,将绪论提出的抢答器课

题,采用所在章节的知识完成相关子系统的设计作为每章的结束,对读者展示与启发系统设计的具体方法与思路。

突出现代设计方法 除介绍传统的数字电路设计方法外,特别重视介绍模块设计、算法设计、微程序设计、存储器等现代设计方法,即使在第2~3章基础部分,也增添了以模块按算法设计、以模块为中心的设计、按概念设计等适合数字系统设计的设计方法与思路。

兼顾与软件设计方法有关的硬件结构 虽然对原教材中关于计算机组成原理的内容有所削弱,但对数字系统存储器+程序的设计方法有简明而系统的介绍,对非计算机专业的低年级学生有一定的帮助。

注重科学思维与工程意识 每章有总结,总结中注意科学思维方法的训练和工程意识的培养,注意对不同章节内容的对比、联系与共性的概括,对教材中的一些设计方法不仅介绍怎么做,还特别重视为什么这样做。

注重视野的开拓 正文中安排了一些阅读材料,包括对一些与数字系统有关的器件的介绍,习题中安排了思考题和拓展题,甚至包括一些教材中没有涉及的内容,供有兴趣、有余力的读者选用,以拓展初学读者的视野,启迪他们的思维。

适合因材施教 该书内容涉及虽广但深浅详略有别,或较深挖掘,或点到为止,以适用为度,又留有扩展空间。习题分为基本题、思考题和扩展题3类,扩展题中还包括一些教材中没有涉及的内容,供不同的对象选取,因而很适合因材施教。

本书共9章,第1~4章是数字逻辑电路分析与设计的基础部分,第4~7章则是介绍数字系统中的重要部件及有关设计方法,第8章介绍数字系统及控制器的设计,因此教学的重点应放在第2、3、8章。其余各章都包含一些阅读内容,可安排学生自学,但每章也有各自所要阐明的中心问题,如第5章主要使学生领会设计复杂运算电路的方法,选择合适的算法将复杂运算转换为基本运算的组合,从而用基本运算电路配合控制程序实现的思路等。对每一章及其不同部分的教学方法应有所区别,主要应突出方法和思路,而一些知识性的内容宜安排学生自学。第9章介绍数字集成逻辑电路及其应用,其中若干内容属模拟电路范畴,对先数字后模拟的教学模式,前8章可供64学时使用(第9章作为学生的阅读材料),而对于先模拟后数字的教学安排,第9章可插入至第2章、第3章的合适部分使用,总学时数为80~96学时。

使用本书教学必须配合开设相应的实验课程,实验学时取32~48学时(含数字系统设计实验)为宜,其中数字系统设计实验也可通过另设“数字系统课程设计”课程予以安排。

本书由黄正瑾主编,由东南大学部分执教本课程或相关实验课程多年的教师共同编写,分工如下:第0章黄正瑾,第1章秦文虎,第2章戴义保,第3章李文渊,第4章高翔、管秋梅,第5章李文渊,第6章高翔,第7章秦文虎,第8章黄正瑾、管秋梅,第9章黄正瑾、李文渊、管秋梅,由黄正瑾负责整理和统稿,另每章末之设计实例由黄正瑾、管秋梅完成。

本书特聘东南大学田良教授审阅,他在审阅过程中每一章都反复审阅数遍,从概念、文字到符号都严格推敲,一丝不苟,经历严寒酷暑,费时半年以上,谨在此表示最诚挚的致谢。同时也向

本书的编辑平庆庆表示衷心感谢,她的辛勤劳动是本书能顺利出版的重要保证。

在本书编写过程中还得到了黄清、汤勇明、仲雪飞、陈洁、杨兰兰、李旭、汪峥、黄永明、高庆、高萍、张鹏以及其他曾经或正在为“计算机结构与逻辑设计”课程辛勤耕耘的老师们的热情帮助,在此一并致谢。

由于水平所限,错误难免,敬请诸位专家和广大读者批评指正,不胜感激。

黄正瑾

2014年2月于南京

第一版前言

由于计算机科学和电路集成技术的迅猛发展,电子系统日趋数字化、复杂化和大规模集成化,且电子系统设计原理与大型软件设计的原理极为相似,所以电子类专业的教学重点应转向对大规模复杂系统的分析和管理工作。对于数字电子技术等技术基础课程,则必须注意培养学生的系统观念。这已是广大数字电子技术教师的共识。

我国已往的数字电子技术类教材通常只讨论数字功能模块的设计,学生学过该课程以后缺少系统的概念和用逻辑模块构成系统的训练,因而不能适应面向 21 世纪的需要。本书将原数字电子技术课程和计算机组成原理课程的部分内容组合在一起,正是为了解决这个问题。

加强系统观念为什么要与计算机相结合呢?首先,因为计算机是一个典型的数字系统,介绍计算机的基本组成及其运行方式,则在数字电路部分所获得的知识将学有所用,而不再是一个个孤立的、互不相干的逻辑模块,系统的概念自然形成;其次,现代数字系统与计算机处理问题的思想和方法本质是相同的,学习了计算机的组成原理,对数字系统的组成原理也就触类旁通;再则,21 世纪电子系统的功能将日趋复杂,计算机是这些复杂系统的核心,而且由于集成技术的高度发展,完全有可能将系统的计算机控制部分与系统其他部分集成在同一块芯片上,也就是说,21 世纪的每个电子系统中都可能包含一个专用的计算机,这样,对电类(非计算机)专业的工程师的要求,不仅能使用计算机,还应能设计简单的专用计算机,因此,在介绍数字电路的同时就辅以计算机硬件的基本知识无疑是事半功倍的。其实加强系统观念并与计算机相结合并非创举,很多国外新出版的数字电路教材都附有一章关于计算机的内容作为数字电路的实例。但本书不采用这种做法,而是将数字电路与计算机硬件知识“有机”地结合,在介绍数字电路的基本知识后,就以计算机的组成框图为线索,逐个地介绍各部分的基本原理,着重其电路实现方法,通过介绍计算机的硬件来学习数字电路的应用和设计,学生在学完数字电路的同时,计算机结构的概念也建立起来,为后续课程打下必要的基础。本书也不同于微机原理和计算机组成等教材,它只讨论计算机中指令的执行而不研究计算机中指令的运用,在介绍计算机结构时基本不涉及软件,也不以某个具体计算机为背景(必要时则用模型机作为例子讨论),以方便学生学习与理解。

本书在内容和体系上还有如下特点:

我国以前的数字电子技术类教材都是以分析和设计小规模集成电路为核心内容的,有的虽然加进了可编程器件等内容,但只是作为一个单列的附加成分,全书体系并无根本的变化。本书的特点之一就是大幅度削减关于小规模集成电路的内容,将那些只对小规模电路设计有效的概念和方法,诸如以 $J-K$ 触发器为主的时序电路设计方法,各种逻辑简化技巧等都弃而不用,代之以对 ASIC,特别是对 PLD 设计有效的方法。对在现代逻辑设计中必须涉及的新概念、新方法,像语言描述、逻辑仿真等则适当引进,使教材在一定程度上能满足面向 21 世纪的需要。

本书在写作体系上,不追求每一个单元的系统的完整,而是从认知规律出发,合理地安排思维的逻辑序列,将每一个必须讲述的内容,安放在最合适讲述的地方,例如对于可编程逻辑器件,

不是专列一章,而是分散放在门网络和时序逻辑电路、存储器等章中,便于学习领会,但在适当的时候,对这些分散的内容加以必要的总结,从纵和横两个方向,加强学生对每一个知识点的全面理解,并特别重视对分析方法和设计方法的总结以及对现代工程意识的培养,以提高学生的综合能力。

本书有插图 500 余幅,可谓图文并茂,并力求以通俗、形象的方式阐述各知识点,帮助读者理解。本书曾在数届学生中成功地进行过自学试点,所以也是一本适合自学的教材。

本书有习题 460 余道,涉及的范围较广,梯度较大。本书的正文只介绍必须掌握的基本内容和一些必要的知识,习题则除了有与课文相配合的基本练习和思考题外,还安排了许多较深入的题目,部分非基本的教学内容也以习题的面目出现,以适应不同读者的需要。

本书每章末有一段简短的总结,读者可以从其中理清一章的脉络和重点,有的还能读到必要的思想方法,对正确理解全章内容起到画龙点睛的作用。

本书对各章节的内容采用了模块化处理方式。例如本课程通常安排在模拟电子线路课程之前开设,而将有关电路级的内容,例如集成逻辑门内部电路、张弛振荡器等放在模拟电路课程中讲授(本书中门电路结构用一种开关模型代替),但在本书最后仍然有一章“集成逻辑器件及其应用”,该章无论放在最后或分段插在前面合适部分讲授都同样适合,以适应不同的教学安排。

本书适用于“计算机结构与逻辑设计”课程,该课程是我校电工电子系列课程教学内容和课程体系改革中建立的一门新课,它与“电路基础”、“电子电路基础”、“面向对象的程序设计”、“微机系统与接口”、“信号与系统”、“电磁场与电磁波”、“信息通信网络概论”和“自动控制原理”共 9 门课程组成了我校所有电类专业的公共技术基础课平台(实践课程未包括)。“计算机结构与逻辑设计”课程的开课时间介于“面向对象的程序设计”、“微机系统与接口”两门课程之间。由于“计算机结构与逻辑设计”课程与“电子电路基础”在内容上做了合理分工,将有关电路级的内容归于后者,因而可以在“电子电路基础”课程之前,即与“电路基础”课程同期开设(大学二年级第一学期),这样,学生就能较早地学习其他计算机类的课程。

“计算机结构与逻辑设计”课程于 1983 年开始试点,与其他相关课程已经磨合多年,取得一定的经验与成果。但它毕竟是一门新课,只在部分学校开设过,热切期望专家、同行及广大读者提出宝贵意见。同时由于作者水平所限,错误在所难免,恳请专家、同行及广大读者批评指正。

本书编写工作始终在东南大学教务处、东南大学教学改革课题组的支持和沈永朝老师、邹家禄老师的领导下进行,严家万老师对本书的基本结构直至若干细节都做了具体指导,宋继亮老师提供了他所撰写的《VHDL 简明教程》作为本书的附录,林钟老师、黄頌老师、梁俊老师也对本书的编写工作提供了许多有益的帮助,特别是教育部高等学校工科电工课程教学指导委员会委员、南京航空航天大学沈嗣昌教授审阅本书提出的宝贵意见和建议,高等教育出版社姚玉洁编审对本书严格、认真的编辑,都是本书能顺利出版的重要条件,在此一并致谢。

黄正瑾 于东南大学

2000. 11

目 录

第 0 章 绪论	1	总结	26
§ 0.1 数字信号与数字电路	1	习题	26
0.1.1 数字信号的特点	1	第 2 章 逻辑函数与门网络	30
0.1.2 数字信号的优点	2	§ 2.1 逻辑代数的基本知识	30
§ 0.2 数字系统的实现方法	3	2.1.1 逻辑代数的基本运算	30
0.2.1 全硬件实现	3	2.1.2 逻辑代数的基本定律	34
0.2.2 程序 + 存储器的实现方法	4	2.1.3 逻辑代数的基本规则	35
§ 0.3 计算机的基本结构与运行方式	6	2.1.4 逻辑代数的常用公式	36
0.3.1 计算机的基本结构	6	2.1.5 逻辑运算的完备集	37
0.3.2 计算机的运行方式	7	§ 2.2 逻辑函数及其描述方法	37
* § 0.4 数字系统设计实例	8	2.2.1 逻辑表达式	37
§ 0.5 本书的主要内容与学习方法	9	2.2.2 逻辑图	38
总结	9	2.2.3 真值表	38
习题	10	2.2.4 卡诺图	39
第 1 章 数字系统中的数制和码制	11	2.2.5 标准表达式	39
§ 1.1 数字系统中的数制	11	* 2.2.6 最大项和标准或 - 与	
1.1.1 十进制	11	表达式	41
1.1.2 R 进制	11	2.2.7 非完全定义逻辑函数的描述	42
1.1.3 二进制	12	§ 2.3 门电路的基本知识	44
1.1.4 二进制的优点	12	2.3.1 正逻辑与负逻辑	44
1.1.5 数制间的转换	14	2.3.2 非门的电路模型	44
1.1.6 八进制与十六进制	15	2.3.3 其他门电路	45
§ 1.2 数字系统中数的表示方法		2.3.4 门电路的主要技术要求	46
与格式	17	2.3.5 互补输出结构与开路门、	
1.2.1 码的概念(二进制码与		三态门	51
循环码)	17	2.3.6 数字信号的传送与传输门	
1.2.2 实数在数字系统中的		(TG)	54
表示方法	18	2.3.7 集成门电路的外部封装	55
* 1.2.3 定点数与浮点数	21	§ 2.4 逻辑函数的简化	55
1.2.4 十进制数的表示方法	23	2.4.1 逻辑简化的意义与标准	55
* § 1.3 非数值数据在数字系统中的		2.4.2 公式法简化	56
表示方法	24	2.4.3 卡诺图法简化	57

* 2.4.4 计算机辅助逻辑简化	59	3.3.2 以集成计数器为核心的时序 逻辑电路的分析方法	139
§ 2.5 组合逻辑电路	60	3.3.3 以集成移位寄存器为核心的 时序逻辑电路的分析方法	145
2.5.1 组合逻辑电路的定义与特点	60	3.3.4 以集成寄存器(锁存器)为核心 的时序逻辑电路分析	149
2.5.2 组合逻辑电路的分析	61	3.3.5 异步时序逻辑电路的分析	152
2.5.3 用混合逻辑电路图的方法描述 组合逻辑电路	65	3.3.6 时序逻辑电路的延时分析	155
2.5.4 组合逻辑电路的语言描述	67	§ 3.4 时序逻辑电路的设计方法	156
2.5.5 几种常用的组合逻辑模块	69	3.4.1 传统的时序逻辑电路设计 方法	156
§ 2.6 组合逻辑电路的设计	82	3.4.2 采用 MSI 时序逻辑功能模块 设计	165
2.6.1 根据真值表设计	82	3.4.3 时序逻辑电路的其他设计 方法	170
2.6.2 使用模块根据算法设计	89	* § 3.5 时序逻辑电路设计实例	174
2.6.3 用存储器与可编程逻辑器件 实现组合逻辑电路	92	总结	179
§ 2.7 电子设计自动化与逻辑模拟	93	习题	180
* 2.7.1 电子设计自动化(EDA) 概述	93	第 4 章 可编程逻辑器件	190
2.7.2 逻辑模拟	94	§ 4.1 专用集成电路	190
§ 2.8 组合逻辑电路的竞争与险象	99	4.1.1 掩模设计	190
2.8.1 产生险象的原因	99	4.1.2 编程设计	191
2.8.2 消除险象的方法	102	§ 4.2 可编程逻辑器件的电路结构	194
* § 2.9 组合逻辑电路设计实例	102	4.2.1 简单可编程逻辑器件 (SPLD)	194
总结	104	4.2.2 复杂可编程逻辑器件 (CPLD)	200
习题	106	4.2.3 现场可编程门阵列(FPGA)	204
第 3 章 时序逻辑电路	117	4.2.4 CPLD 与 FPGA 的性能比较	206
§ 3.1 触发器的原理与应用	117	§ 4.3 可编程逻辑器件的使用	209
3.1.1 基本 SR 触发器	117	4.3.1 PLD 的设计流程	209
3.1.2 锁存器	121	4.3.2 开发软件使用方法	211
3.1.3 触发器的无竞争触发方式	122	§ 4.4 VHDL 语言	213
3.1.4 带直接清除端的触发器	126	4.4.1 概述	213
3.1.5 触发器的应用	127	4.4.2 程序包	214
§ 3.2 时序逻辑电路的基本结构与 描述方法	129	4.4.3 实体	214
3.2.1 时序逻辑电路的基本结构与 行为特征	129	4.4.4 结构体	215
3.2.2 时序逻辑电路的描述方法	129	* § 4.5 可编程片上系统(SoPC)	221
§ 3.3 时序逻辑电路的分析方法	136		
3.3.1 传统的时序逻辑电路分析 方法	136		

* § 4.6 PLD 设计举例	221	管理	283
总结	225	6.4.1 存储器的层次化体系	283
习题	226	6.4.2 超高速缓存与主存之间 的数据交换	284
第 5 章 算术逻辑运算电路	228	* § 6.5 存储器设计实例	285
§ 5.1 基本算术运算电路	228	总结	287
5.1.1 加法器	228	习题	287
5.1.2 数值比较器	232	第 7 章 终端、总线和接口	293
5.1.3 移位运算	233	§ 7.1 外部信息与二进制代码之间 的转换	294
§ 5.2 复杂运算电路的设计	234	7.1.1 部分输入设备的转换原理与 相关接口	294
5.2.1 用基本运算电路配合控制程序 的实现方法	234	* 7.1.2 部分输出设备的转换 原理	299
5.2.2 乘法电路	237	§ 7.2 数模与模数转换	304
* 5.2.3 除法电路	245	7.2.1 传感器与信号调理电路	304
§ 5.3 BCD 码算法	250	7.2.2 数模转换的基本原理	305
5.3.1 1 位 BCD 码运算	250	7.2.3 常用的 D/A 转换方案	305
5.3.2 多位 BCD 码加法电路	251	7.2.4 D/A 转换的主要技术指标	310
5.3.3 BCD 码乘法	253	7.2.5 A/D 转换的基本原理	312
§ 5.4 逻辑运算和中规模集成 ALU	253	7.2.6 几种常见的 A/D 转换方案	316
* § 5.5 运算电路设计实例	255	§ 7.3 系统总线	324
总结	257	7.3.1 总线的标准	324
习题	258	7.3.2 设备与总线的连接	324
第 6 章 存储器	261	7.3.3 计算机总线的分类与标准	326
§ 6.1 半导体存储器	261	§ 7.4 接口电路	327
6.1.1 存储器的基本结构	261	7.4.1 计算机与终端的信息交换 方式	327
6.1.2 线性译码方式	262	* 7.4.2 数模和模数转换常用集成 芯片及其与数字系统之间 的接口	331
6.1.3 双向译码方式	263	§ 7.5 数字数据的远地传送	335
6.1.4 存储器容量的扩展	266	7.5.1 数据串行传送方式	335
6.1.5 静态 RAM 的读/写过程	267	7.5.2 校验码及校验电路	336
6.1.6 动态 RAM 的概念	269	7.5.3 串并转换与并串转换电路	337
§ 6.2 只读存储器	271	* § 7.6 接口电路设计实例	338
6.2.1 固定 ROM	272	总结	340
6.2.2 可编程 ROM	272	习题	341
6.2.3 用 ROM 实现时序逻辑 电路	273		
* § 6.3 其他存储器	277		
6.3.1 磁表面存储器	277		
6.3.2 光学存储器	281		
* § 6.4 计算机中的存储器体系与			

第 8 章 数字系统与控制器设计	348	§ 9.2 门电路	402
§ 8.1 数字系统的设计过程	348	9.2.1 门电路的基本结构	402
8.1.1 系统调研,确定初步方案	349	9.2.2 门电路的传输特性与技术 指标	402
8.1.2 逻辑划分,确定详细方案	350	9.2.3 几种常用的门电路工艺与 结构	403
8.1.3 选择器件,确定具体电路	352	9.2.4 动态门的概念	419
§ 8.2 全硬件数字系统控制器设计	358	* § 9.3 高速 MOS 门电路	420
8.2.1 硬件控制器设计	358	9.3.1 SCFL 电路的基本结构	420
8.2.2 微程序控制器	362	9.3.2 SCFL 数字单元电路	422
§ 8.3 数字系统的软件实现方法	364	9.3.3 其他 SCFL 电路	425
8.3.1 模型计算机的指令系统	364	§ 9.4 开关信号的产生	427
8.3.2 模型计算机 CPU 的组成(硬件 结构)	368	9.4.1 张弛振荡原理	427
§ 8.4 模型计算机的控制器设计	370	9.4.2 双稳态触发器	431
8.4.1 指令的执行过程分析	370	9.4.3 单稳态触发器	434
8.4.2 组合电路控制器设计	373	9.4.4 自激多谐振荡器	439
8.4.3 模型计算机微程序控制器	377	9.4.5 555 定时器	441
* § 8.5 数字系统与控制器设计实例	383	* 9.4.6 负阻器件及其应用	445
总结	388	* § 9.5 集成电路应用设计实例	446
习题	389	总结	447
第 9 章 数字集成逻辑电路及其应用 ..	392	习题	448
§ 9.1 晶体管开关电路	392	附录一 国家标准 GB 4728.12—85 《电气图用图形符号 二进制 逻辑单元》简介	460
9.1.1 MOS 晶体管的开关特性	392	附录二 VHDL 简明教程	466
9.1.2 单沟道模拟开关电路	393	附录三 英汉名词术语对照	509
9.1.3 CMOS 双向模拟开关单元	394	参考文献	514
9.1.4 CMOS 多路模拟开关 (AMUX)	395		
9.1.5 双极型模拟开关	397		
9.1.6 二极管开关	400		

第0章 绪 论

数字电路系统是绝大多数现代电子产品的主体。计算机是一种由硬件和软件组成的通用数字系统,利用计算机通过设计和运行面向各种不同应用领域的软件,就能实现各种专用的数字系统。本书主要介绍数字电路的分析方法、设计方法,并结合计算机的简单组成原理、运行方式介绍构造数字系统的两种基本思路。

现在大多数电子产品都实现了数字化,诸如数字电视(Digital TV)、数码相机(DC)、数码摄像机(DV)等,采用计算机控制的电子产品、机电设备更是比比皆是,数字化与计算机化是电子产品发展的必然趋势。

数字化电子产品和计算机控制的电子产品、机电设备与传统电子产品、机电设备的根本区别就在于其处理电路的核心部分采用的是用以处理数字信号的数字电路。

§0.1 数字信号与数字电路

0.1.1 数字信号的特点

表征自然界物质属性的物理量可分为模拟(Analog)量和数字(Digital)量两大类。模拟量是指那些量值可在一定的范围内连续变化,或者说在一定的范围内有无穷多个取值可能的量。绝大多数物理量都是模拟量,例如温度、湿度、语音等。用电子技术处理这一类物理量时,应当用电信号去模拟它们,例如可以用话筒将声音转换为电压(或电流)幅值随声波变化的电信号,如图0.1(a)所示。用这种方法得到的电信号,在时间和幅值上都是连续的,称为模拟信号(Analog Signal)。另一种物理量是数字量,例如人数、物品的个数等,其特点是其取值是离散的,只能是一个范围内的某些特定值,且分别与某个数字相对应。用电子技术处理这一类物理量时,所选取的

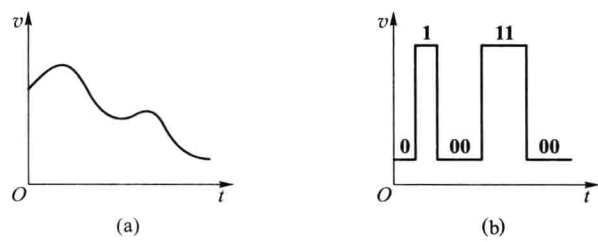


图 0.1 模拟信号与数字信号
(a) 模拟信号 (b) 数字信号

电信号应反映其数字信息。现在最通用的方法就是用电压幅值的高(代表数字**1**)和低(代表数字**0**)所描述的二进制数字表示它们,像图0.1(b)所示那样(它表示一个二进制数**1001100**,即十进制数76),这就是数字系统与计算机所使用的数字信号(Digital Signal)。显然,数字信号在时间和幅值上都是离散的。

模拟信号可以通过模数转换电路(ADC)转换成数字信号。例如图0.2(a)所示的模拟信号,可以通过采样、量化与编码处理先变换成图0.2(b)所示的阶梯状离散样本信号,再经模数转换电路将这些阶梯状离散样本信号量化为一连串数字(从左至右为3、4、4、2、1、2),并编码成如图0.2(c)所示的3位编码数字信号 $B_2 B_1 B_0$ (从左至右为**011**、**100**、**100**、**010**、**001**、**010**,转换的理论和实现方法在第7章介绍)。反之,数字信号也可通过数模转换电路(DAC)转换成模拟信号。

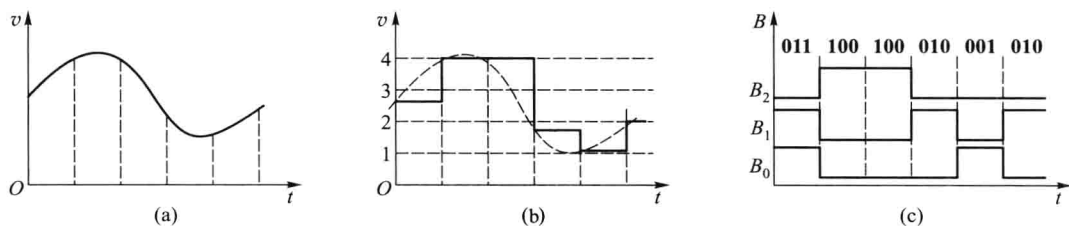


图0.2 模拟信号转换为数字信号

(a) 模拟信号 (b) 离散样本信号 (c) 编码数字信号

0.1.2 数字信号的优点

处理(Process)模拟信号和数字信号的电路分别称为模拟电路(Analog Circuit)和数字电路(Digital Circuit)。这里所说的处理包括信号的产生、放大、变换、存储等。

图0.1(a)所示模拟信号的信息是用其幅值携带的(也可以用频率或相位等参量携带),所以在处理过程中必须保持信号的波形精确不变,但要做到这一点是不容易的,因为处理过程中不可避免地会因器件的限制和环境的影响出现畸变和干扰,使得处理后的信号失真,而要使处理后的信号达到很高的保真度,就必须使用高质量的器件和采取各种补偿措施,这些都将使电路的成本和制作难度大大增加。

数字信号是用电压幅值的高和低携带信息的,在处理过程中出现的畸变或干扰,只要不使幅值的高、低混淆,所携带的信息便不会丢失,而做到这一点通常并不难,可见数字设备具有极高的可靠性和稳定性。而且,只要采样的频率足够高(即图0.2(b)中时间区间的分割密度高)、所使用的数字位数足够多(即图0.2(b)中电压层次的分割数目多),就能达到很高的处理精度;而用模拟方法实现时,由于系统各部分误差的累积影响,要达到与数字方法同样的精度和质量,设备往往相当复杂和昂贵。

此外,数字技术还有以下优点:

- (1) 数字信息可以通过打印或制成光盘长期保存;
- (2) 便于用计算机控制或处理;
- (3) 集成化程度高

由于数字集成电路制作工艺比较成熟,集成技术发展极快,自1985年以来,集成规模以每6

年扩展 10 倍的惊人速度不断提高,目前集成工艺已进入深亚微米领域,集成规模高达每片数百万只晶体管,一个电路系统往往只需一片集成电路就可以实现,这不仅使设备的体积小、重量轻、生产周期短,而且还大大提高系统的可靠性。

(4) 设计方便,自动化程度高

数字电路的设计与模拟电路相比,偏重于逻辑而不是偏重于参数选取,因此更便于使用计算机工具,目前许多高质量的数字系统开发工具纷纷面世,为设计数字系统提供了极为方便的条件,特别是各类现场可编程逻辑器件(FPLD)^①及相应开发工具的出现,使得科技人员在自己的实验室内即可自行设计和制作专用集成电路(ASIC)^②,并可通过各类仿真工具^③校验设计的结果,这些都大大缩短了设计的进程,节约了设计的成本,提高了设计的质量。而对于模拟电路的设计,目前还远没有达到这样的水平。

虽然自然界绝大多数的物理量都是模拟量,但可利用模数转换电路转换为数字量,然后再用数字电路处理。所以,绝大多数现代电子产品的主体部分都采用数字电路,而只是在高频率、大功率、高电压或微弱信号处理等情况下,由于超出了目前的数字集成电路的应用范围,不得不采用模拟方法处理。然而,用模拟方法处理的这些问题,往往是决定电子产品性能高低的关键,所以对模拟电路的研究仍然是电子技术的一个极为重要的方面。

§ 0.2 数字系统的实现方法

0.2.1 全硬件实现

下面用一个实例说明如何用数字电路处理一项工程中的任务。

假定要测量一段任意波形电压的峰值(最大值),并用数码显示出来。参照图 0.2 所示的思路,不难得到设计方案如下:按一定频率对电压信号采样保持,经过模数转换,得到一连串用二进制数字信号表示的数据,将它们分别存储在称之为寄存器的电路中,先对第 1、第 2 个数据进行比较,将数值大的一个保留,数值小的去掉,再将保留的数据与第 3 个数据进行比较,保留其中数值大的一个,依次进行前述的比较操作,直至所有的数据都被比较过一次,最后留下的数据就对应于此段波形电压的最大值。

从上面简单的叙述可知,该电压峰值测量系统(其全硬件实现方法框图如图 0.3 所示)至少应包括如下电路:

- ① 能对模拟信号采样,并将样值保持一定时间的电路——采样保持电路;
- ② 将采样结果变换成二进制数据的电路——模数转换电路 ADC;

① 一种集成电路的半成品。使用者可以在实验室中将所设计的电路“装入”该集成电路芯片,使之成为实用的集成电路。

② 为某个电子系统专门设计制造的集成电路。它可以由集成电路工厂生产,也可以由技术人员在实验室中用现场可编程逻辑器件制作。

③ 一种软件(程序),用此软件可在计算机中建立某个电路或系统的模型,并通过对模型的运行和测试,检验该电路或系统的功能和性能。

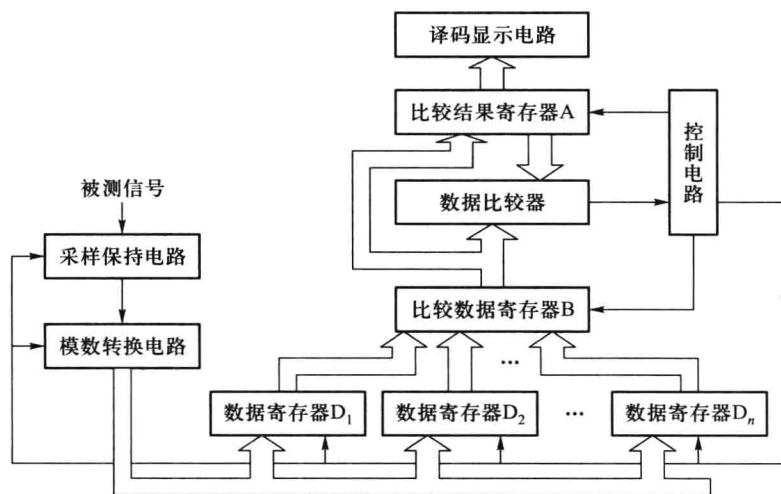


图 0.3 电压峰值测量系统的全硬件实现方法框图

- ③ 能存储这些二进制数据(设为 n 个)的电路——寄存器 $D_1 \sim D_n$;
- ④ 能比较两个数据大小的电路——数据比较器;
- ⑤ 能存放两个数据中之大者的电路——比较结果寄存器 A;
- ⑥ 能存放被选出与前次比较结果相比较的数据的电路——比较数据寄存器 B;
- ⑦ 能显示结果数据的电路——译码显示电路;
- ⑧ 保证以上操作有条不紊地运行,直至结束的电路——控制器。

显然控制器是该数字系统的核心,何时对信号采样、采集多少个数据、这些数据分别被存放在哪一个寄存器中、何时开始比较、首先选哪两个数据进行比较、比较结果如何放入存放结果的寄存器、接着与哪一个数据比较、比较结果怎样处理、比较过程何时结束、怎样将测试结果在显示器件上显示出来等都是由控制器决定的。可见,控制器是一个功能复杂、头绪繁多的电路。上述采样保持电路、模数转换电路、寄存器、比较器、译码显示电路等与控制器电路相比,功能单一,任何数字系统中凡需要完成这些功能的地方都可以使用,因而是一些通用的功能器件,而控制器则是针对所要求的数字系统而设计的专用电路。

控制器也是由数字电路的基本元件构成的,其设计方法将在第8章介绍。

综上所述,设计全硬件数字系统的要领是:① 确定正确的设计方案(算法);② 根据设计方案确定系统所需要的各功能器件;③ 根据设计方案中电路运行的流程设计控制器电路。

对于像本例题这样的简单系统而言,此方法是可行的。但若系统的功能非常复杂,则系统所需要的硬件(功能器件)将会非常多,系统的控制器将会非常复杂,系统的成本将会大大增加(系统的可靠性随之大大降低),系统的设计难度大大增加、所花费的设计时间也将大大增加,以至于在实际工程设计项目中无法使用。

0.2.2 程序 + 存储器的实现方法

虽然我们现在对数字电路的工作原理还不清楚,但从上面的分析不难看出,整个数字系统的