



教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材  
高等学校电子信息类专业系列教材

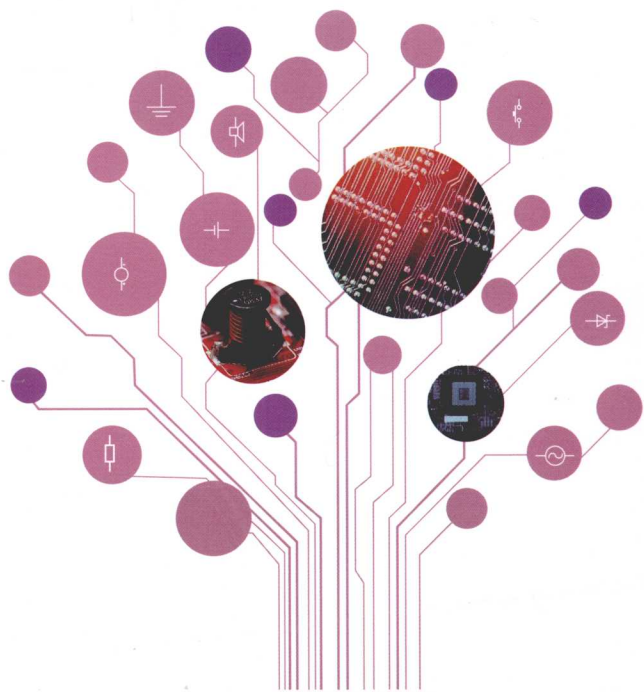
电工电子基础

**D**igital Circuits and Logic Design

# 数字电路与逻辑设计

邬春明 雷宇凌 李蕾 编著

Wu Chunming Lei Yuling Li Lei



清华大学出版社





教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会  
高等学校电子信息类专业系列教材

Digital Circuits and Logic Design

# 数字电路与逻辑设计

邬春明 雷宇凌 李蕾 编著

Wu Chunming Lei Yuling Li Lei

清华大学出版社

## 内 容 简 介

本书是教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材,参照教育部学科专业调整方案、相关专业本科指导性专业规范及电子信息类专业教学质量国家标准,按照数字电路与逻辑设计的教学基本要求编写而成。书中系统介绍了数字电路与逻辑设计的基本理论和方法,包括绪论、数字逻辑基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器与可编程逻辑器件、脉冲波形的产生和整形电路、数/模与模/数转换电路。每章最后均给出对本章主要内容的 Multisim 仿真分析实例,以便读者巩固和理解相关知识。每章均安排有小结和习题,并在书后提供了部分习题的参考答案。

本书注重基本概念、基本原理及基本分析设计方法的介绍,强调实际应用,内容叙述力求简明扼要、通俗易懂,可以作为普通高等院校电气信息类、电子信息类、自动化类、计算机类各专业以及其他相近专业的本科生教材,也可以供相关工程技术人员参考。

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

数字电路与逻辑设计/邬春明,雷宇凌,李蕾编著.--北京:清华大学出版社,2015

高等学校电子信息类专业系列教材

ISBN 978-7-302-39610-9

I. ①数… II. ①邬… ②雷… ③李… III. ①数字电路—逻辑设计—高等学校—教材  
IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 049771 号

责任编辑:盛东亮

封面设计:李召霞

责任校对:时翠兰

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](mailto:c-service@tup.tsinghua.edu.cn)

质量反馈:010-62772015, [zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn](mailto:zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn)

课件下载: <http://www.tup.com.cn>, 010-62795954

印 装 者:北京嘉实印刷有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm 印 张:19

字 数:461千字

版 次:2015年8月第1版

印 次:2015年8月第1次印刷

印 数:1~2000

定 价:35.00元

产品编号:061084-01

# 高等学校电子信息类专业系列教材

## 一 顾问委员会

谈振辉	北京交通大学 (教指委高级顾问)	郁道银	天津大学 (教指委高级顾问)
廖延彪	清华大学 (特约高级顾问)	胡广书	清华大学 (特约高级顾问)
华成英	清华大学 (国家级教学名师)	于洪珍	中国矿业大学 (国家级教学名师)
彭启琮	电子科技大学 (国家级教学名师)	孙肖子	西安电子科技大学 (国家级教学名师)
邹逢兴	国防科学技术大学 (国家级教学名师)	严国萍	华中科技大学 (国家级教学名师)

## 一 编审委员会

主任	吕志伟	哈尔滨工业大学		
副主任	刘旭	浙江大学	王志军	北京大学
	隆克平	北京科技大学	葛宝臻	天津大学
	秦石乔	国防科学技术大学	何伟明	哈尔滨工业大学
	刘向东	浙江大学		
委员	王志华	清华大学	宋梅	北京邮电大学
	韩焱	中北大学	张雪英	太原理工大学
	殷福亮	大连理工大学	赵晓晖	吉林大学
	张朝柱	哈尔滨工程大学	刘兴钊	上海交通大学
	洪伟	东南大学	陈鹤鸣	南京邮电大学
	杨明武	合肥工业大学	袁东风	山东大学
	王忠勇	郑州大学	程文青	华中科技大学
	曾云	湖南大学	李思敏	桂林电子科技大学
	陈前斌	重庆邮电大学	张怀武	电子科技大学
	谢泉	贵州大学	卞树檀	第二炮兵工程大学
	吴瑛	解放军信息工程大学	刘纯亮	西安交通大学
	金伟其	北京理工大学	毕卫红	燕山大学
	胡秀珍	内蒙古工业大学	付跃刚	长春理工大学
	贾宏志	上海理工大学	顾济华	苏州大学
	李振华	南京理工大学	韩正甫	中国科学技术大学
	李晖	福建师范大学	何兴道	南昌航空大学
	何平安	武汉大学	张新亮	华中科技大学
	郭永彩	重庆大学	曹益平	四川大学
	刘缠牢	西安工业大学	李儒新	中科院上海光学精密机械研究所
	赵尚弘	空军工程大学	董友梅	京东方科技集团
	蒋晓瑜	装甲兵工程学院	蔡毅	中国兵器科学研究院
	仲顺安	北京理工大学	冯其波	北京交通大学
	黄翊东	清华大学	张有光	北京航空航天大学
	李勇朝	西安电子科技大学	江毅	北京理工大学
	章毓晋	清华大学	张伟刚	南开大学
	刘铁根	天津大学	宋峰	南开大学
	王艳芬	中国矿业大学	靳伟	香港理工大学
	苑立波	哈尔滨工程大学		
丛书责任编辑	盛东亮	清华大学出版社		

# 序

## FOREWORD

我国电子信息产业销售收入总规模在 2013 年已经突破 12 万亿元,行业收入占工业总体比重已经超过 9%。电子信息产业在工业经济中的支撑作用凸显,更加促进了信息化和工业化的高层次深度融合。随着移动互联网、云计算、物联网、大数据和石墨烯等新兴产业的爆发式增长,电子信息产业的发展呈现了新的特点,电子信息产业的人才培养面临着新的挑战。

(1) 随着控制、通信、人机交互和网络互联等新兴电子信息技术不断发展,传统工业设备融合了大量最新的电子信息技术,它们一起构成了庞大而复杂的系统,派生出大量新的电子信息技术应用需求。这些“系统级”的应用需求,迫切要求具有系统级设计能力的电子信息技术人才。

(2) 电子信息系统设备的功能越来越复杂,系统的集成度越来越高。因此,要求未来的设计者应该具备更扎实的理论基础知识和更宽广的专业视野。未来电子信息系统的设计越来越要求软件和硬件的协同规划、协同设计和协同调试。

(3) 新兴电子信息技术的发展依赖于半导体产业的不断推动,半导体厂商为设计者提供了越来越丰富的生态资源,系统集成厂商的全方位配合又加速了这种生态资源的进一步完善。半导体厂商和系统集成厂商所建立的这种生态系统,为未来的设计者提供了更加便捷却又必须依赖的设计资源。

教育部 2012 年颁布了新版《高等学校本科专业目录》,将电子信息类专业进行了整合,为各高校建立系统化的人才培养体系,培养具有扎实理论基础和宽广专业技能的、兼顾“基础”和“系统”的高层次电子信息人才给出了指引。

传统的电子信息学科专业课程体系呈现“自底向上”的特点,这种课程体系偏重对底层元器件的分析与设计,较少涉及系统级的集成与设计。近年来,国内很多高校对电子信息类专业课程体系进行了大力度的改革,这些改革顺应时代潮流,从系统集成的角度,更加科学合理地构建了课程体系。

为了进一步提高普通高校电子信息类专业教育与教学质量,贯彻落实《国家中长期教育改革和发展规划纲要(2010—2020 年)》和《教育部关于全面提高高等教育质量若干意见》(教高【2012】4 号)的精神,教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会开展了“高等学校电子信息类专业课程体系”的立项研究工作,并于 2014 年 5 月启动了《高等学校电子信息类专业系列教材》(教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会规划教材)的建设工作。其目的是为推进高等教育内涵式发展,提高教学水平,满足高等学校对电子信息类专业人才培养、教学改革与课程改革的需要。

本系列教材定位于高等学校电子信息类专业的专业课程,适用于电子信息类的电子信

息工程、电子科学与技术、通信工程、微电子科学与工程、光电信息科学与工程、信息工程及其相近专业。经过编审委员会与众多高校多次沟通,初步拟定分批次(2014—2017年)建设约100门课程教材。本系列教材将力求在保证基础的前提下,突出技术的先进性和科学的前沿性,体现创新教学和工程实践教学;将重视系统集成思想在教学中的体现,鼓励推陈出新,采用“自顶向下”的方法编写教材;将注重反映优秀的教学改革成果,推广优秀的教学经验与理念。

为了保证本系列教材的科学性、系统性及编写质量,本系列教材设立顾问委员会及编审委员会。顾问委员会由教指委高级顾问、特约高级顾问和国家级教学名师担任,编审委员会由教育部高等学校电子信息类专业教学指导委员会委员和一线教学名师组成。同时,清华大学出版社为本系列教材配置优秀的编辑团队,力求高水准出版。本系列教材的建设,不仅有众多高校教师参与,也有大量知名的电子信息类企业支持。在此,谨向参与本系列教材策划、组织、编写与出版的广大教师、企业代表及出版人员致以诚挚的感谢,并殷切希望本系列教材在我国高等学校电子信息类专业人才培养与课程体系建设中发挥切实的作用。

吕志伟 教授

# 前言

## PREFACE

伴随着晶体管、集成电路等半导体器件工艺的发展,数字集成器件已经从小规模集成电路、中规模集成电路、大规模集成电路,发展到超大规模集成电路。数字电路及数字系统的设计方法及手段也在不断演变和发展,这对“数字电路与逻辑设计”课程的教学内容、教学方法及教材编写都提出了更高的要求。

本书参照教育部相关教学指导委员会制定的《电子电气基础课程教学基本要求》(2011年)、《电子信息科学与工程类本科指导性专业规范》(2010年)、《电子科学与技术本科指导性专业规范》(2009年)、《光电信息科学与工程类专业指导性专业规范》(2010年)及相关课程的教学大纲编写而成。为适应当前电子技术的发展及教学改革的要求,压缩了一些过于高深的内容,精简了一些繁杂的内部电路,在强调基本概念、基本原理的基础上,重点突出分析和设计方法,力求叙述简明扼要、通俗易懂。书中设置了提示、小结和习题等内容,便于学生学习。每章章首设置了“兴趣阅读”材料,通过数字领域的趣闻轶事,激发学生的学习兴趣,拓展学生的知识内容。

另外,本书在讲解理论分析与设计之后,充分利用计算机仿真这一现代技术手段,各章均给出了 Multisim 仿真分析实例,将理论知识与实际系统有机地融为一体,培养学生的实验能力、实践能力和创新意识。经过多年的教学实践,证明这种教学方法、手段和模式是可行的、有效的。

本书共分8章,包括数字逻辑基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器与可编程逻辑器件、脉冲波形的产生和整形电路、数/模与模/数转换电路等内容。书后提供了部分习题的参考答案。

讲授本书内容大约需要50~70学时,书中标注“\*”的内容可供教师根据专业特点取舍。

本书由邬春明、雷宇凌、李蕾编写,其中绪论、第1、2、3、8章由邬春明编写;第4、5、6、7章由雷宇凌编写;李蕾对教材中的仿真内容进行了验证。全书由邬春明统稿。

本书可以作为普通高等院校电气信息类、电子信息类、自动化类、计算机类各专业以及其他相近专业的本科生教材,也可以供相关工程技术人员参考。

本书在编写过程中,得到了清华大学出版社的热情帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

限于编者的水平,书中难免有疏漏之处,敬请广大读者批评指正。

编者

2015年2月

# 目录

## CONTENTS

绪论 .....	1
<b>第 1 章 数字逻辑基础 .....</b>	<b>8</b>
1.1 概述 .....	9
1.2 常用的数制和编码 .....	9
1.2.1 常用的数制 .....	9
1.2.2 数制之间的转换 .....	11
1.2.3 二进制数的原码、反码及补码表示 .....	15
1.2.4 常用的编码 .....	16
1.3 逻辑代数及其运算规则 .....	20
1.3.1 逻辑变量与基本逻辑运算 .....	20
1.3.2 复合逻辑运算 .....	22
1.3.3 逻辑代数的基本公式 .....	23
1.3.4 逻辑代数的基本定理 .....	24
1.3.5 逻辑代数的常用公式 .....	26
1.4 逻辑函数及其表示方法 .....	27
1.4.1 逻辑函数的定义 .....	27
1.4.2 逻辑函数的表示方法 .....	27
1.4.3 逻辑函数的标准形式 .....	29
1.4.4 逻辑函数表示方法间的转换 .....	33
1.5 逻辑函数的化简 .....	37
1.5.1 逻辑函数的代数化简法 .....	37
1.5.2 逻辑函数的卡诺图化简法 .....	40
1.5.3 含有无关项的逻辑函数及其化简 .....	43
1.6 利用 Multisim 对逻辑函数进行化简与转换 .....	45
本章小结 .....	46
习题 .....	47
<b>第 2 章 集成逻辑门电路 .....</b>	<b>52</b>
2.1 概述 .....	53
2.2 门电路中开关器件的开关特性 .....	54
2.2.1 半导体二极管的开关特性 .....	54



2.2.2	半导体三极管的开关特性 .....	56
2.2.3	MOS管的开关特性 .....	57
2.3	分立元件门电路 .....	59
2.3.1	二极管“与”门 .....	59
2.3.2	二极管“或”门 .....	60
2.3.3	三极管“非”门 .....	61
2.3.4	MOS管“非”门 .....	61
2.4	TTL集成门电路 .....	61
2.4.1	TTL反相器 .....	62
2.4.2	TTL“与非”门 .....	65
2.4.3	TTL集电极开路门和三态门 .....	65
2.5	CMOS集成门电路 .....	68
2.5.1	CMOS反相器 .....	68
2.5.2	CMOS“与非”门和“或非”门 .....	70
2.5.3	CMOS漏极开路门、传输门和三态门 .....	70
2.6	集成逻辑门电路的主要性能参数 .....	72
2.7	正、负逻辑的概念 .....	74
*2.8	利用 Multisim 测试 TTL 反相器的电压传输特性 .....	75
	本章小结 .....	77
	习题 .....	77

**第3章 组合逻辑电路** .....

3.1	概述 .....	83
3.1.1	组合逻辑电路的特点 .....	83
3.1.2	组合逻辑电路的功能描述方法 .....	83
3.2	组合逻辑电路的分析 .....	84
3.2.1	组合逻辑电路的分析方法 .....	84
3.2.2	组合逻辑电路分析举例 .....	84
3.3	组合逻辑电路的设计 .....	86
3.3.1	组合逻辑电路的设计方法 .....	86
3.3.2	组合逻辑电路设计举例 .....	88
3.3.3	含有无关项的组合逻辑电路设计 .....	90
*3.4	组合逻辑电路的竞争冒险 .....	93
3.4.1	竞争冒险现象 .....	93
3.4.2	竞争冒险的判断 .....	94
3.4.3	竞争冒险的消除 .....	95
3.5	常用组合逻辑电路及其应用 .....	96
3.5.1	编码器 .....	96
3.5.2	译码器 .....	102
3.5.3	加法器 .....	110
3.5.4	数据选择器 .....	113
3.5.5	数据分配器 .....	116
3.5.6	数值比较器 .....	117

* 3.6 利用 Multisim 分析组合逻辑电路 .....	119
3.6.1 小规模门电路构成的组合逻辑电路的仿真分析 .....	119
3.6.2 中规模组合逻辑电路的仿真分析 .....	120
本章小结 .....	122
习题 .....	123
<b>第 4 章 触发器</b> .....	<b>127</b>
4.1 概述 .....	128
4.2 基本触发器 .....	128
4.2.1 基本触发器电路组成和工作原理 .....	129
4.2.2 基本触发器的功能描述 .....	129
4.3 同步触发器 .....	131
4.3.1 同步 RS 触发器 .....	132
4.3.2 同步 D 触发器 .....	133
4.3.3 同步 JK 触发器 .....	135
4.3.4 同步 T 触发器 .....	136
4.4 主从触发器 .....	137
4.4.1 主从 RS 触发器 .....	137
4.4.2 主从 JK 触发器 .....	139
4.5 边沿触发器 .....	141
4.5.1 维持-阻塞式 D 触发器 .....	141
4.5.2 边沿 JK 触发器 .....	143
4.6 不同类型触发器之间的转换 .....	144
4.6.1 JK 触发器转换成 RS、D 触发器 .....	144
4.6.2 D 触发器转换成 RS、JK 触发器 .....	145
4.7 触发器的电气特性 .....	146
* 4.8 利用 Multisim 分析触发器 .....	147
4.8.1 同步 RS 触发器的仿真分析 .....	147
4.8.2 边沿 JK 触发器的仿真分析 .....	148
本章小结 .....	149
习题 .....	150
<b>第 5 章 时序逻辑电路</b> .....	<b>155</b>
5.1 概述 .....	156
5.1.1 时序逻辑电路的基本概念 .....	156
5.1.2 时序逻辑电路的功能描述方法 .....	157
5.2 同步时序电路的分析 .....	158
5.2.1 同步时序电路的分析方法 .....	159
5.2.2 同步时序电路分析举例 .....	159
5.3 同步时序电路的设计 .....	164
5.3.1 同步时序电路的设计方法 .....	165
5.3.2 同步时序电路设计举例 .....	171
* 5.4 异步时序电路 .....	177

5.4.1	异步时序电路的分析	177
5.4.2	异步时序电路的设计	179
5.5	常用时序逻辑电路	181
5.5.1	寄存器	181
5.5.2	计数器	186
* 5.6	利用 Multisim 分析时序逻辑电路	197
5.6.1	两位同步二进制计数器的仿真分析	197
5.6.2	用 74LS161N 构成六十进制计数器	198
	本章小结	199
	习题	200
<b>第 6 章</b>	<b>半导体存储器与可编程逻辑器件</b>	<b>206</b>
6.1	存储器概述	207
6.1.1	半导体存储器的分类	208
6.1.2	存储器的性能指标	208
6.2	只读存储器	209
6.2.1	ROM 的电路结构和工作原理	209
6.2.2	掩膜只读存储器	210
6.2.3	可编程只读存储器	212
6.2.4	ROM 的应用	215
6.3	随机存取存储器	217
6.3.1	RAM 的电路结构	217
6.3.2	RAM 的存储单元	218
6.3.3	RAM 的扩展	219
6.4	可编程逻辑器件	221
6.4.1	可编程逻辑阵列	222
6.4.2	可编程阵列逻辑	223
6.4.3	通用阵列逻辑	225
6.4.4	CPLD、FPGA 和在系统编程技术简介	227
6.5	利用 Multisim 分析半导体存储器	230
	本章小结	231
	习题	231
<b>第 7 章</b>	<b>脉冲波形的产生和整形电路</b>	<b>236</b>
7.1	概述	237
7.1.1	矩形脉冲的基本特性	237
7.1.2	脉冲电路	238
7.2	555 定时器	238
7.2.1	555 定时器的电路结构	238
7.2.2	555 定时器的工作原理	240
7.3	施密特触发器	240
7.3.1	门电路构成的施密特触发器	240
7.3.2	555 定时器构成的施密特触发器	242

7.3.3 施密特触发器的应用	244
7.4 单稳态触发器	245
7.4.1 门电路构成的单稳态触发器	246
7.4.2 555 定时器构成的单稳态触发器	247
7.4.3 单稳态触发器的应用	249
7.5 多谐振荡器	249
7.5.1 门电路构成的多谐振荡器	249
7.5.2 施密特触发器构成的多谐振荡器	251
7.5.3 石英晶体多谐振荡器	251
7.5.4 555 定时器构成的多谐振荡器	252
*7.6 用 Multisim 分析 555 定时器的应用电路	254
7.6.1 555 定时器构成的施密特触发器的仿真分析	254
7.6.2 555 定时器构成的多谐振荡器的仿真分析	255
本章小结	256
习题	257
<b>第 8 章 数/模与模/数转换电路</b>	<b>260</b>
8.1 概述	261
8.2 D/A 转换器	261
8.2.1 权电阻网络 D/A 转换器	262
8.2.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	263
8.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	264
8.3 A/D 转换器	266
8.3.1 A/D 转换的一般过程	266
8.3.2 并联比较型 A/D 转换器	268
8.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	271
8.3.4 双积分型 A/D 转换器	273
8.3.5 A/D 转换器的主要技术指标	276
*8.4 利用 Multisim 分析 D/A 和 A/D 转换电路	277
8.4.1 D/A 转换器的仿真分析	277
8.4.2 A/D 转换器的仿真分析	279
本章小结	280
习题	281
<b>部分习题参考答案</b>	<b>284</b>
<b>参考文献</b>	<b>290</b>

# 绪 论

数字电子技术是研究数字电路及其在各学科领域应用的一门学科,是当前发展最快的学科之一。就电子器件而言,已经从 20 世纪 40 年代的电子管、20 世纪 50 年代的晶体管、20 世纪 60 年代的小规模集成电路,到中规模集成电路、大规模集成电路,至今已发展到了超大规模集成电路。近几年又出现了可编程逻辑器件,为数字电路设计提供了更加完善、方便的器件,其设计过程和方法也在不断演变和发展。半导体技术的大力发展推动了计算机等电子设备的广泛使用,数字电子技术作为电子时代的支撑技术,在全球电子信息化的进程中起着巨大的推动作用。

数字化是电子技术的必由之路,这已经成为当代的共识。我国的电子技术研究者经过多次探索和实验,使得数字化的历程在不断进行着一系列的重大变革。当代所应用的电子产品由于技术的不断革新,正在以前所未有的速度进行更新换代,而这种革新又主要表现在大规模可编程逻辑器件的广泛应用之中。特别是在当今这个时代,半导体的工艺水平经过不断开发,已经达到了深亚微米,芯片的集成度也达到千兆位,时钟频率也正在向千兆赫兹以上发展,数据传输位数甚至达到了每秒几十亿次。这些技术在之前是难以想象的,这就注定 SOC(System on a Chip)片上系统必将成为未来集成电路技术的发展趋势。

## 1. 数字信号和数字电路

电子系统中的信号可以分为两大类,即模拟信号和数字信号。在时间和幅值上都连续的信号叫作模拟信号。其特点是模拟信号的幅值可以在一定动态范围内任意取值。自然界中的许多物理量均可以通过相应的传感器转换为时间连续、幅值连续的电压或电流,例如声音、温度等。模拟广播电视传送和处理的音频信号和视频信号是模拟信号。图 0-1(a)所示的是一个随时间变化的模拟电压信号。具有对模拟信号进行放大、滤波、调制、解调、传输等处理能力的电路叫模拟电路。

数字信号和模拟信号不同,它是在时间和幅值上均离散的信号,如电子表给出的时间信号、生产流水线上记录零件个数的计数信号等。数字信号的特点是其幅值只可以取有限个值。计算机、局域网与城域网中均使用二进制数字信号,目前在计算机局域网中实际传送的既有二进制数字信号,也有由数字信号转换而成的模拟信号。但是两者相比,更具应用发展前景的是数字信号。图 0-1(b)所示的为数字信号。

数字电路就是能对数字信号进行产生、存储、传输、变换、运算及处理的电子电路。数字电路主要研究输出信号与输入信号之间的对应逻辑关系,其分析的主要工具是逻辑代数,因此数字电路又称为“逻辑电路”。

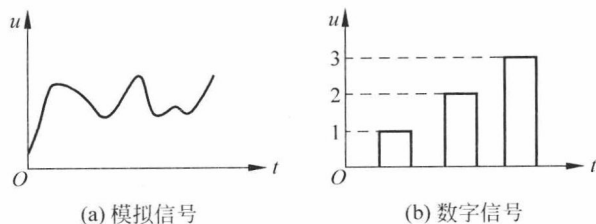


图 0-1 模拟信号和数字信号示意图

**【提示】**“数字逻辑”是数字电路逻辑设计的简称,其内容是应用数字电路进行数字系统逻辑设计。

## 2. 数字电路的分类

数字电路的分类方法较多,主要有以下几种。

(1) 按电路内部结构的不同,数字电路分为分立元件电路和集成电路。分立元件电路是将晶体管、电阻和电容等元器件用导线在线路板上连接而成的电路。集成电路(如图 0-2

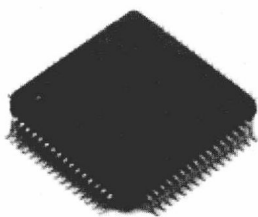


图 0-2 集成电路

所示)是采用一定工艺,把电路中所需的晶体管、二极管、电阻、电容和电感等元件及布线互连在一起,制作在一小块或几小块半导体晶片或介质基片上,然后封装在一个管壳内,成为具有所需电路功能的微型结构。所有元件在结构上组成一个整体,使电子元件向着微、小型化和低功耗、高可靠性方面迈进了一大步。集成电路在电路中用字母 IC(Integrated Circuit)表示。当今半导体工业大多数应用的是基于硅的集成电路。

集成电路具有体积小、重量轻、引出线和焊接点少、寿命长、可靠性高、性能好等优点,同时成本低,便于大规模生产。它不仅在收录机、电视机、计算机等工业和其他民用电子设备方面得到广泛的应用,同时在军事、通信、遥控等方面的应用也很普遍。用集成电路来装配电子设备,其装配密度比晶体管可提高几十倍至几千倍,设备的稳定工作时间也可以大大提高。

根据集成度的不同,集成电路分为 4 类,见表 0-1。这里的集成度是指组成集成电路的逻辑门或元件个数。

表 0-1 集成电路分类

类 型	集 成 度	电路规模与范围
小规模集成电路 (Small Scale Integration, SSI)	1~10 个门/片或 10~100 个元件/片	逻辑单元电路、逻辑门电路及集成触发器等
中规模集成电路 (Medium Scale Integration, MSI)	10~100 个门/片或 100~1000 个元件/片	逻辑部件、译码器、计数器及比较器等
大规模集成电路 (Large Scale Integration, LSI)	100~1000 个门/片或 1000~10 000 个元件/片	数字逻辑系统、控制器、存储器及接口电路等
超大规模集成电路 (Very Large Scale Integration, VSI)	大于 1000 个门/片或 大于 1 万个元件/片	高集成数字逻辑系统及单片机等

(2) 按集成元件的不同,数字电路分为双极型和单极型两种。

(3) 按电路工作原理的不同,数字电路分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两种。关于这两种电路的特点和具体电路,将在后面的章节中详细介绍。

### 3. 数字电路的特点及应用

与模拟电路相比,数字电路具有如下特点。

(1) 便于高度集成化。由于数字电路采用二进制数据,凡具有两个状态的电路都可以用来表示 0 和 1 两个数。电路对元器件的参数和精度要求不高,允许有较大的分散性,因此基本单元电路的结构简化对实现数字电路的集成化十分有利。

(2) 工作可靠性高、抗干扰能力强。数字信号用 1 和 0 来表示信号的有和无,数字电路辨别信号的有和无是很容易做到的,从而大大提高了电路的工作可靠性。同时,只要外界干扰在电路的噪声容限范围内,电路都能正常工作,因此抗干扰能力强。

(3) 便于长期保存。比如,可以将数字信息存入磁盘、光盘等介质中长期保存。

(4) 产品系列多、通用性强且成本低。可以采用标准的逻辑部件和可编程逻辑器件来实现各种各样的数字电路和系统,使用灵活。

(5) 保密性好。可以采用多种编码技术加密数字信息,使其不易被窃取。

(6) 具有“逻辑思维”能力。数字电路不仅具有算术运算能力,而且还能按人们设计的规则进行逻辑推理和逻辑判断。

由于数字电路具有上述特点,其发展十分迅速,已广泛应用于计算机、自动化装置、医疗仪器与设备、交通(如交通灯等)、电信(如卫星通信等)、文娱活动等几乎所有的生产生活领域中,可以毫不夸张地说,几乎每人每天都在与数字电路打交道。

然而,数字电路的应用也具有它的局限性。因为被控制和被测量的对象往往是一些模拟信号,而模拟信号不能直接为数字电路所接收,这就给数字电路的使用带来很大的不便。为了用数字电路处理这些模拟信号,必须通过专门的电路将它们转换为数字信号(模/数转换);而经数字电路分析、处理输出的数字量往往还要通过专门的电路转换成相应的模拟信号(数/模转换)才能为执行机构所接收。这样一来,不但导致了整个设备的复杂化,而且也使信号的精度受到影响,数字电路本身可以达到的高精度也失去了意义。因此,在使用数字电路时,应具体情况具体分析,以便于操作和提高生产效率。

### 4. Multisim 13.0 电子电路仿真软件简介

随着计算机技术的飞速发展,电路分析与设计可以通过计算机辅助分析和仿真技术来完成。Multisim 软件是美国 NI(National Instruments)公司下属的 Electronics Workbench Group 在 20 世纪末推出的基于 Windows 的电路仿真软件,是一个专门用于电子电路仿真与设计的 EDA 工具软件,是广泛应用的电子工作台(Electronics Workbench,EWB)的升级版。作为 Windows 下运行的个人桌面电子设计工具,Multisim 是一个完整的集成化设计环境,具有以下一些特点。

(1) 具有直观的图形界面创建电路。Multisim 软件可以在计算机屏幕上模仿真实的实验室工作台,绘制电路图需要的元器件、电路仿真需要的测试仪器均可以直接从屏幕上选取。

(2) 软件仪器的控制面板外形和操作方式都与实物相似,可以实时显示测量结果。

(3) 软件带有丰富的电路元件库,提供多种强大的电路分析方法。



(4) 作为设计工具,它可以同其他流行的电路分析、设计和制板软件交换数据。

本书采用 Multisim 13.0 版软件作为仿真工具,利用它提供的虚拟仪器可以用比实验室中更灵活的方式进行电路实验,观察仿真电路的实际运行情况,熟悉常用电子仪器的使用方法。

NI Multisim 13.0 软件具有很强的仿真设计功能,较以往版本增添了如下很多新的教学特性和设计特性。

(1) 使用电路参数进行模拟电路教学。设置变量来代表相应的电路元件和参数,便于根据课后练习和实验室计算来修改和扫描参数值。

(2) 使用 Digilent FPGA 板卡学习数字逻辑。以原始 VHDL 格式从 Multisim 导出数字逻辑原理图并部署到一系列 FPGA 数字教学平台。

(3) 使用设计模板来同步原理图和布局布线。用户可配置模板可以通过可配置布局布线和部件配置来简化学生的 NI miniSystem 设计。

(4) 使用 Multisim API 工具包实现评估自动化。NI LabVIEW 系统设计软件可通过编程方式来控制实验室分析或评估自动化所需的 Multisim 仿真。

(5) 借助热模型理解更多电力概念。NI 提供全新的电力电子元件库,以帮助读者理解包括电子热力学在内的能源主题。

(6) 借助 NI myRIO 完成高级设计项目。使用预先配置的 NI myRIO NI miniSystem 模板和 LabVIEW 协同仿真开发先进的控制、机器人和测量项目。

(7) 使用超过 26 000 种精确设备提高仿真性能。最新的 SPICE 模型库添加了来自 Maxim、Infineon、NXP、ON Semiconductor 和 Analog Devices 的设备,帮助评估不同的设计选择。

(8) 使用 Multisim API 工具包配置自动化分析。借助 LabVIEW 实现 Multisim 仿真自动化,在迭代条件下关联测量数据、获取真实的信号以及评估性能。

(9) 使用用户可定义的模板快速实现原型。创建、共享和修改用户可配置模板,设置关键间距和布局,快速实现原型。

(10) 根据电路参数提高设计性能。在高级仿真中通过参数信息扫描关键组件的参数和迭代信息,优化设计性能。

(11) 使用 IGBT 模型和 EPC 设备仿真电源电路。Multisim 新增了一个可重配置 IGBT 热模型和由市场创新者 EPC 开发的全新 eGAN MOSFET,可以更高精度进行应用仿真。

(12) 下载自定义仿真分析。利用基于 LabVIEW 的各种全新和更新的自定义分析和仪器,进行一系列专业领域应用开发。

本书结合课程的主要知识点及教学需要,每章设置了数字电路的仿真分析实例,以加强读者对相关知识的理解和掌握。下面介绍 Multisim 13.0 的基本操作界面。

打开 Multisim 13.0 后,其主界面如图 0-3 所示。Multisim 13.0 的主界面主要包括菜单栏、标准工具栏、视图工具栏、主工具栏、仿真开关、元件工具栏、虚拟仪器工具栏、设计工具栏、电路工作区、电路表格视窗和状态栏等。

#### 1) 菜单栏

和其他应用软件一样,菜单栏中分类集中了软件的所有功能命令,包含 12 个菜单,分别



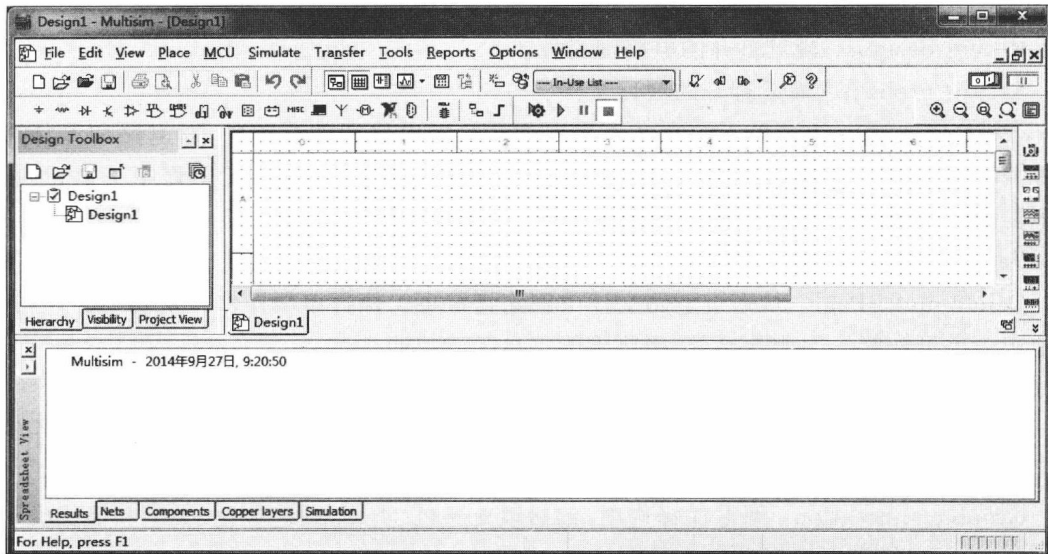


图 0-3 Multisim 13.0 主界面

为文件(File)菜单、编辑(Edit)菜单、视图(View)菜单、放置(Place)菜单、MCU 菜单、仿真(Simulate)菜单、文件输出(Transfer)菜单、工具(Tools)菜单、报告(Reports)菜单、选项(Options)菜单、窗口(Windows)菜单和帮助(Help)菜单。以上每个菜单下都有一系列菜单项,用户可以根据需要在相应的菜单下寻找。Windows 菜单和 Help 菜单与 Word 相应的菜单功能类似,这里不再介绍。

(1) File 菜单。该菜单主要用于管理所创建的电路文件,对电路文件进行打开、保存等操作,其中大多数命令和一般 Windows 应用软件基本相同。

New: 建立新的电路图文件。

Open: 打开已存在的电路图文件。

Open samples: 可打开安装路径下的自带实例。

Close: 关闭当前工作区内的文件。

Close all: 关闭当前打开的所有文件。

Save: 保存当前电路图文件。

Save as: 把当前电路图文件另存为其他文件。

Save all: 保存当前打开的所有电路图文件。

Export template: 导出模板。

Snippets: 创建片段电路。

Projects and packing: 包括 New project、Open project、Save project、Close project、Pack project、Unpack project、Upgrade project、Version control 等子菜单,分别对一个工程文件进行创建、打开、保存、关闭、压缩、解压缩、更新和版本控制操作。一个完整的工程包括原理图、PCB 文件、仿真文件、工程文件和报告文件。

Print: 打印电路。

Print preview: 打印预览。

Print options: 包括两个子菜单,Print Circuit Setup 子菜单为打印电路设置选项;