



高等院校电工电子技术规划教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会规划教材

普通高等院校“十三五”规划教材

FUNDAMENTALS OF MODERN DIGITAL
ELECTRONICS TECHNOLOGY EXPERIMENTS

现代数字电子技术 基础实践

陈龙 牛小燕 马学条 杨柳 编著 张亚君 主审



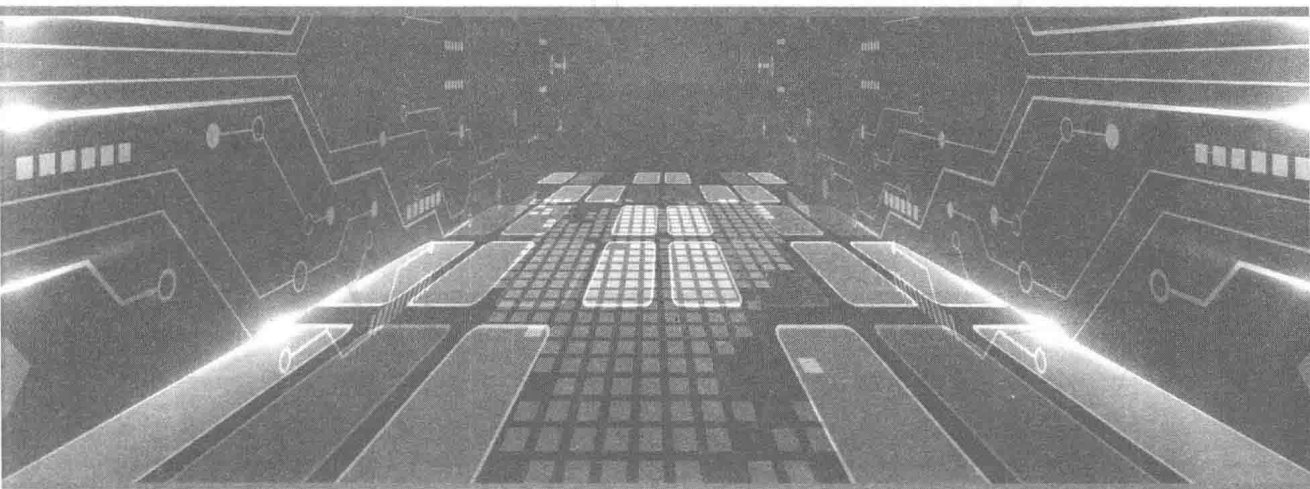
机械工业出版社
China Machine Press

高等院校电工电子技术规划教材

教育部高等学校电工电子基础课程教学指导委员会推荐教材

普通高等院校“十三五”规划教材

现代数字电子技术 基础实践



陈龙 牛小燕 马学条 杨柳 编著

张亚君 主审



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目 (CIP) 数据

现代数字电子技术基础实践 / 陈龙等编著. —北京: 机械工业出版社, 2017.6
(高等院校电工电子技术规划教材)

ISBN 978-7-111-57418-7

I. 现… II. 陈… III. 数字电路 – 电子技术 – 高等学校 – 教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 153908 号

本书是根据国家教育部高等学校电子信息与电气学科教学指导委员会电子电气基础课程教学指导分委员会提出的“数字电子技术基础”课程教学基本要求而编写的。

全书共分为 6 章: 第 1 章为实验基本知识; 第 2 章为数字电路与逻辑设计基本实验; 第 3 章为电路仿真设计软件 Multisim 在数字电路实验中的应用; 第 4 章为组合电路的自动化设计; 第 5 章为时序电路的自动化设计; 第 6 章为数字系统综合设计实验。附录部分汇编了常用仪器使用说明、常用数字集成电路的引脚排列和逻辑符号、常用文字符号说明以及便携式开发板资料等内容。本教材既有助于巩固学生对理论知识的理解, 又着重培养学生的动手能力、设计能力和实践创新能力。

本书可作为高等院校电子、电气、自动化、机电一体化等相关专业的实践指导教程, 也可作为相关专业工程技术人员的学习与参考用书。

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037)

责任编辑: 张梦玲

责任校对: 李秋荣

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2017 年 6 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 185mm×260mm 1/16

印 张: 16

书 号: ISBN 978-7-111-57418-7

定 价: 45.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有·侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

出版说明

随着科学技术迅猛发展,电子计算机和大规模集成电路广泛应用影响着相关行业的发展,信息化正在改造传统行业。工科院校的学生除了要熟练掌握本专业的知识外,还应具有跨学科合作及综合解决实际问题的能力,具有集成最新技术和全面驾驭现代企业的能力。电子信息技术的发展对国民经济、国防等各个领域产生着日益深入的影响,当前高等教育所呈现出的基础化和综合化的发展趋势,工程教育认证对电类和非电类专业学生提出了要求:学生掌握电学的基本理论、知识技能,为后续各门专业基础课和专业课打下基础。

为贯彻落实教育部关于“十二五”普通高等教育本科教材建设的若干意见(教高〔2011〕5号),全面提升本科教材质量,充分发挥教材在提高人才培养质量中的基础性作用,机械工业出版社华章分社与教育部高等学校电工电子基础课教学指导委员会一起建设“高等院校电工电子技术规划教材”,从高校的教学改革出发,满足电类和非电类学生对电类理论知识和应用的需求,在对电类和非电类工程基础课程体系 and 教学内容深入研讨的基础上,建设具有先进性、创新性、权威性的精品教材和教学资源体系,使这套教材成为“立足专业规范,面向新需求,成就高质量”的精品。该系列规划教材的指导思想和编写特色如下:

- 电子信息技术的发展对国民经济、国防等各个领域产生着日益深入的影响,当前高等教育所呈现出的基础化和综合化的发展趋势。从高校的教学改革出发,满足学生对电类理论知识和应用的需求,注重培养学生工程素质,注重知识的实用性和先进性的编写原则;反映国内最先进的教学成果;要求基础理论与工程实例、实践教学紧密结合。
- 本着体现现代电子科学技术的发展,依据不同专业的教学与就业需求、学时需求及实践环节的需求,既体现电类技术基础课程的特点,注重概念原理的物理实现,又与学科的最新发展动向和先进应用技术结合,力求适于教师教学、便于学生学习,体现现代化教学手段。

为做好该系列规划教材的编写出版工作,在教育部高等学校电工电子基础课教指委指导下,成立了“高等院校电工电子技术规划教材编审委员会”,力图从根本上保证教材的质量。我们将在今后的出版工作中广泛征询和听取一线教师的反馈意见和建议,逐步改进和完善该系列规划教材,积极推动高等院校教学改革和教材建设。

编审委员会

主任委员：王志功（东南大学）

副主任委员：

吴建强（哈尔滨工业大学）

陈后金（北京交通大学）

王 萍（天津大学）

张晓林（北京航空航天大学）

田作华（上海交通大学）

史国栋（常州大学）

邓建国（西安交通大学）

曾孝平（重庆大学）

孟 桥（东南大学）

戴先中（东南大学）

委 员（按姓氏笔画排序）

王成华（南京航空航天大学）

王黎明（中北大学）

冯文全（北京航空航天大学）

田慕琴（太原理工大学）

史仪凯（西北工业大学）

刘 晔（西安交通大学）

朱如鹏（南京航空航天大学）

李 辉（西北工业大学）

姚纓英（浙江大学）

姚福安（山东大学）

贾民平（东南大学）

殷瑞祥（华南理工大学）

谢明元（成都信息工程学院）

潘 岚（中国计量学院）

颜秋蓉（华中科技大学）

黎福海（湖南大学）

梅雪松（西安交通大学）

王 颖（机械工业出版社华章分社）

前

言

为了适应教育事业的发展及国家人才培养的需要,杭州电子科技大学国家级电工电子实验教学示范中心的全体教师在不断提升教学理念的同时,进行了卓有成效的教学改革。本书根据杭州电子科技大学的教学大纲与实践课程设置情况,结合编者多年的教学与科研经验,并参考诸多相关优秀教材编写而成。

本书内容十分丰富,由浅入深,逐步加大实验难度和复杂性。既有验证性实验,又有设计性和应用性综合实验;既有基础实验,又有提高实验;既有硬件电路实验,又有软件仿真实验。本教程共分6章,具体安排如下:

第1章介绍数字集成电路的发展史、命名规则及使用规则,给出了数字电路中的常见故障及其分析方法,说明了要完成本书中实验的基本要求。

第2章是本书的核心内容,包括11个基本实验,每个基本实验又分基础实验部分和提高实验部分。基础实验部分给出了具体的实验方法及实验电路,侧重于使学生掌握课程基本知识、基本实验技能。提高实验部分则要求学生根据提示自己拟定实验方案并设计实验电路,着重培养学生对中规模及大规模数字集成电路的设计能力。

第3章介绍电路仿真设计软件 Multisim 的基本使用方法,详细阐述了如何使用该仿真软件进行组合电路和时序电路设计。

第4章基于现代数字电子技术,介绍了组合电路的自动化设计、仿真及实现方法。本章包括数字系统自动化设计软件 Quartus II 的使用、组合宏模块的仿真及测试、组合电路的自动化设计、组合电路的硬件测试等实验。介绍了基于广义译码器模型设计一般组合逻辑电路的通用表述方法,从而给出了能彻底、简洁而高效地解决任何类型组合电路的分析和设计方法。

第5章基于现代数字电子技术,介绍了时序电路的自动化设计、仿真及实现方法。本章包括基于74宏模块的计数器设计、基于一般模型的计数器设计、基于LPM

的时序电路设计、按键消抖电路设计、存储器应用电路设计等实验。介绍了数字计数器的通用模型，给出了任意类型计数器设计的一般方法，为深入学习现代数字电子技术奠定良好的基础。

第6章也是本书的核心内容。在完成基本的数字电子技术学习和入门后，必须迅速地学会应用基于现代数字电子设计技术的基本方法和基本理念，在学习与实践培养学生对数字系统设计的自主创新能力。本章通过介绍多个综合性数字系统的设计思路和设计方法，给出一些对应的实验要求，让读者自己去摸索掌握数字系统设计技术及其创新的途径。本章以数字电路手工设计技术的介绍作为跨上进一步学习的台阶，以自动化设计技术的学习为能力培养手段，注重现代数字技术基本知识、理论和方法的介绍，注重工程能力、分析能力和实践能力的培养，构建一个从介绍基础知识向创新能力培养逐级递进的学习和实践的阶梯。通过教学的启迪和教程中大量有创意的实验项目训练，能动地激发学生的创新意识，培养他们的自主创新能力，从而使学生在数字电子技术的基础理论、实践能力和创新精神三方面都有收获，以便于提早参与大学生课外科技活动。

本书最后为附录部分，汇编了常用仪器的使用说明、常用数字集成电路的引脚排列及逻辑符号、常用文字符号、图形符号说明以及便携式开发板资料等内容，供学生在实验、课程设计和毕业设计中查阅参考。

本书由陈龙、牛小燕、马学条、杨柳编著，由张亚君主审。在本书编写过程中，得到了杭州电子科技大学电子信息学院和电工电子实验教学示范中心的领导及全体教师的关心和支持，在此表示衷心的感谢。

限于编者水平，书中难免有欠妥、疏漏和错误之处，恳请读者指正。

编者

2017年5月

目 录

前言

第1章 实验基本知识 1

1.1 数字集成电路器件简介 1

1.1.1 数字集成电路发展史 ... 1

1.1.2 数字集成电路分类 1

1.2 集成电路的命名规则 7

1.2.1 我国集成电路的型号 命名方法 7

1.2.2 国外部分公司及产品 代号 8

1.3 数字集成电路的使用规则 ... 8

1.3.1 CMOS 电路的使用 规则 8

1.3.2 TTL 集成电路的使用 规则 9

1.4 数字电路中的常见故障 及检测 10

1.4.1 数字电路中的常见 故障 10

1.4.2 数字电路中的常见 故障检测 11

1.5 实验要求 13

1.5.1 课前应做的准备工作 ... 13

1.5.2 实验注意事项 13

1.5.3 实验报告的要求 14

第2章 数字电路与逻辑设计

基本实验 15

2.1 TTL 和 CMOS 集成门电路

参数测试 15

2.1.1 实验目的 15

2.1.2 实验仪器与器件 15

2.1.3 实验原理 15

2.1.4 实验内容 18

2.1.5 思考题 21

2.2 TTL 集电极开路门和三态门

逻辑功能测试及应用 21

2.2.1 实验目的 21

2.2.2 实验仪器与器件 21

2.2.3 实验原理 22

2.2.4 实验内容 25

2.2.5 思考题 26

2.3 编码器、译码器的应用 ... 26

2.3.1 实验目的 26

2.3.2 实验仪器与器件 27

2.3.3 实验原理 27

2.3.4 实验内容	32	2.8.5 思考题	72
2.3.5 思考题	33	2.9 时序逻辑电路的设计	72
2.4 数据选择器的应用	33	2.9.1 实验目的	72
2.4.1 实验目的	33	2.9.2 实验仪器与器件	72
2.4.2 实验仪器与器件	33	2.9.3 实验原理	72
2.4.3 实验原理	34	2.9.4 实验内容	76
2.4.4 实验内容	39	2.9.5 思考题	76
2.4.5 思考题	41	2.10 A/D、D/A 转换器的	
2.5 全加器的应用	41	应用	77
2.5.1 实验目的	41	2.10.1 实验目的	77
2.5.2 实验仪器与器件	41	2.10.2 实验仪器与器件	77
2.5.3 实验原理	42	2.10.3 实验原理	77
2.5.4 实验内容	48	2.10.4 实验内容	80
2.5.5 思考题	50	2.10.5 思考题	82
2.6 组合逻辑电路的设计	50	2.11 脉冲波形的产生与整形 ...	83
2.6.1 实验目的	50	2.11.1 实验目的	83
2.6.2 实验仪器与器件	51	2.11.2 实验仪器与器件	83
2.6.3 实验原理	51	2.11.3 实验原理	83
2.6.4 实验内容	55	2.11.4 实验内容	88
2.6.5 思考题	56	2.11.5 思考题	89
2.7 触发器与计数器的应用 ...	56	第3章 电路仿真设计软件 Multisim	
2.7.1 实验目的	56	在数字电路实验中的应用 ...	90
2.7.2 实验仪器与器件	56	3.1 Multisim 10 简介	90
2.7.3 实验原理	57	3.2 Multisim 菜单栏	90
2.7.4 实验内容	64	3.3 Multisim 工具栏	92
2.7.5 思考题	65	3.3.1 标准工具栏	93
2.8 移位寄存器的应用	65	3.3.2 仿真工具栏	93
2.8.1 实验目的	65	3.3.3 主要工具栏	94
2.8.2 实验仪器与器件	65	3.3.4 视图工具栏	94
2.8.3 实验原理	66	3.3.5 虚拟(元件)工具栏 ...	95
2.8.4 实验内容	70	3.3.6 元件工具栏	95

3.3.7	图表注释工具栏	96	4.2.4	实验内容	120
3.3.8	仪器工具栏	97	4.2.5	思考题	122
3.4	Multisim 中常用仪器简介 ...	98	4.3	组合电路的自动化设计 ...	122
3.4.1	数字万用表	98	4.3.1	实验目的	122
3.4.2	函数信号发生器	99	4.3.2	实验仪器与器件	122
3.4.3	示波器	99	4.3.3	实验原理	122
3.4.4	逻辑转换仪	100	4.3.4	实验内容	125
3.4.5	逻辑分析仪	100	4.3.5	思考题	126
3.5	用 Multisim 分析和设计		4.4	广义译码器的应用	126
	数字逻辑电路	101	4.4.1	实验目的	126
3.5.1	用 Multisim 分析电路		4.4.2	实验仪器与器件	127
	举例	101	4.4.3	实验原理	127
3.5.2	用 Multisim 设计组合		4.4.4	实验内容	130
	电路	104	4.4.5	思考题	131
3.5.3	用 Multisim 设计时序		4.5	8 位串行进位加法器的	
	电路	107		设计	132
第 4 章	组合电路的自动化设计、		4.5.1	实验目的	132
	仿真及实现	109	4.5.2	实验仪器与器件	132
4.1	Quartus II 简介	109	4.5.3	实验原理	132
4.1.1	Quartus 软件的特点 ...	109	4.5.4	实验内容	136
4.1.2	Quartus II 软件的		4.5.5	思考题	137
	开发流程	110	4.6	组合电路的硬件测试	137
4.1.3	Quartus II 的用户		4.6.1	实验目的	137
	界面	111	4.6.2	实验仪器与器件	137
4.1.4	Quartus II 的文件		4.6.3	实验原理	137
	管理体系	112	4.6.4	实验内容	142
4.2	组合逻辑宏模块的仿真		4.6.5	思考题	143
	及测试	113	第 5 章	时序电路的自动化设计、	
4.2.1	实验目的	113		仿真及实现	145
4.2.2	实验仪器与器件	113	5.1	基于 74 宏模块的计数器	
4.2.3	实验原理	113		设计	145

5.1.1 实验目的	145	5.5.5 思考题	182
5.1.2 实验仪器与器件	145	第6章 数字系统综合设计	
5.1.3 实验原理	145	实验	183
5.1.4 实验内容	150	6.1 数字频率计设计	183
5.1.5 思考题	151	6.1.1 工作原理	183
5.2 基于一般模型的计数器		6.1.2 测频时序控制器	
设计	151	设计	184
5.2.1 实验目的	151	6.1.3 十进制计数器设计	185
5.2.2 实验仪器与器件	151	6.1.4 寄存器设计	186
5.2.3 实验原理	152	6.1.5 分频器设计	187
5.2.4 实验内容	156	6.1.6 时序仿真测试	187
5.2.5 思考题	157	6.1.7 实验内容	188
5.3 基于 LPM 的时序电路		6.2 简易电子琴设计	188
设计	157	6.2.1 工作原理	189
5.3.1 实验目的	157	6.2.2 琴键输入设计	189
5.3.2 实验仪器与器件	158	6.2.3 音频输出设计	192
5.3.3 实验原理	158	6.2.4 数码显示设计	192
5.3.4 实验内容	164	6.2.5 分频器设计	194
5.3.5 思考题	165	6.2.6 实验内容	194
5.4 按键消抖电路设计	165	6.3 数字电压表设计	195
5.4.1 实验目的	165	6.3.1 工作原理	195
5.4.2 实验仪器与器件	165	6.3.2 分频器设计	196
5.4.3 实验原理	166	6.3.3 采样控制状态机	
5.4.4 实验内容	171	设计	196
5.4.5 思考题	174	6.3.4 存储器设计	200
5.5 存储器应用电路设计	174	6.3.5 实验内容	201
5.5.1 实验目的	174	6.4 DDS 信号发生器设计	201
5.5.2 实验仪器与器件	174	6.4.1 工作原理	201
5.5.3 实验原理	175	6.4.2 DDS 信号发生器的	
5.5.4 实验内容	181	设计	203

6.4.3 李萨如图信号发生器的设计	207	6.5.6 消抖动模块设计	215
6.4.4 实验内容	209	6.5.7 实验内容	216
6.5 直流电动机闭环控制系统设计	209	附录 A SBL 型数字系统实验仪简介	217
6.5.1 工作原理	209	附录 B 示波器使用简介	219
6.5.2 PWM 信号发生器设计	210	附录 C MODEL 500HA 万用电表使用说明	227
6.5.3 电动机正反转控制电路设计	213	附录 D 常用数字集成电路引脚排列及逻辑符号	231
6.5.4 频率计设计	213	附录 E 常用文字及图形符号说明	235
6.5.5 电动机调速及译码显示设计	214	附录 F 便携式开发板资料	239
		参考文献	244

实验基本知识

1.1 数字集成电路器件简介

1.1.1 数字集成电路发展史

世界上第一块集成电路的出现是在 1959 年, 而我国集成电路的研制工作在 1963 年刚刚开始。最初的几年, 我国只能生产一些小规模 TTL 集成电路器件, 由于没有标准可循, 产品没有规范化。在 1971 年至 1979 年间我国陆续制定了质量评定标准及 TTL、HTL、ECL、CMOS 等系列器件标准, 但限于当时的设备条件和工艺水平, 所生产的品种难以与国外通用品种互换, 随着技术的不断进步, 这些器件将被淘汰。

1979 年后我国优选国外通用品种作为标准以指导集成电路制造者和使用者的选型, 这些品种的质量评定符合国际电工委员会的规定。

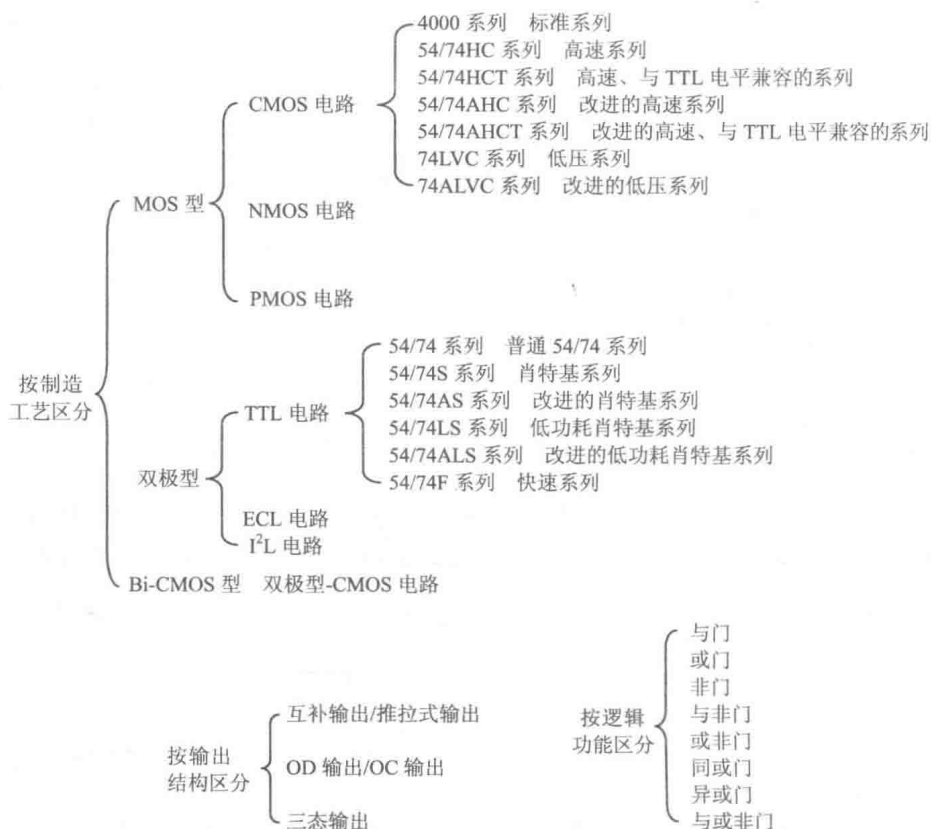
目前国产数字集成电路主要有 TTL、ECL、CMOS 三类产品, 其中 TTL 和 CMOS 是产量大、应用广泛的主流产品。这两类电路围绕着速度、功耗等关键性能指标展开激烈的竞争, 因此得到了迅速的发展。而使用者在设计和搭建数字电路时, 上述三类产品可以相互补充, 发挥各自所长, 获得最佳使用效果。

1.1.2 数字集成电路分类

目前生产和使用的数字集成电路种类众多, 可以从制造工艺、输出结构和逻辑功能三个方面分别归类如下。

- 按制造工艺, 数字集成电路分为: MOS 型、双极型和 Bi-CMOS 型。
- 按输出结构, 数字集成电路分为: 互补输出/推拉式输出、OD 输出/OC 输出与三态输出。
- 按逻辑功能, 数字集成电路分为: 与门、或门、非门、与非门、或非门、同或门、异或门, 以及与或非门。

几种分类方式的细分内容如下所示。



其中, ECL、TTL 为双极型集成电路, 构成的基本元器件为双极型半导体器件, 其主要特点是速度快、负载能力强, 但功率较大、集成度较低。双极型集成电路主要有 TTL(Transistor-Transistor Logic) 电路、ECL(Emitter Coupled Logic) 电路和 I²L(Integrated Injection Logic) 电路等类型。由于 TTL 电路的性价比最高, 所以应用非常广泛, 其中又以 74 系列集成电路的应用最为广泛。

MOS 电路为单极型集成电路, 又称为 MOS 集成电路, 它采用金属 - 氧化物半导体场效应管 (Metal Oxide Semi-conductor Field Effect Transistor, MOSFET) 制造工艺, 主要特点是结构简单、制造方便、集成度高、功耗低, 但速度较慢。MOS 集成电路又分为 PMOS(P-channel Metal Oxide Semiconductor, P 沟道金属 - 氧化物半导体)、NMOS(N-channel Metal Oxide Semiconductor, N 沟道金属 - 氧化物半导体) 和 CMOS(Complement Metal Oxide Semiconductor, 互补金属 - 氧化物半导体) 等类型。MOS 电路中应用最广泛的为 CMOS 电路, CMOS 数字集成电路与 TTL 数字集成电路一起成为两大主流产品。Bi-CMOS 是双极型 CMOS(Bipolar-CMOS) 电路的简称, 其特点是逻辑部分采用 CMOS 结构, 输出级采用双极型晶体管, 因此兼有 CMOS 电路功耗低和双极型电路输出阻抗低的优点。

综上所述, TTL 系列、CMOS 系列是通用性最强、应用最广泛的数字集成电路, 因此我们将重点介绍这两个系列。

1. CMOS 数字集成电路的各种系列

早期的 CMOS 产品主要是 4000 系列, 由于受当时的制造工艺水平及设备条件限制, 4000 系列产品的速度较低, 其传输时间约 100ns, 带负载能力较弱, 而且不易与当时最流行的逻辑系列——双极型 TTL 相匹配。因此, 在多数应用中, 4000 系列被后来推出的、能力更强的 CMOS 系列所代替。目前投放市场的 CMOS 产品有 HC/HCT 系列、AHC/AHCT 系列、VHC/VHCT 系列、LVC 系列、ALVC 系列等。

HC/HCT(High-Speed CMOS/ High-Speed CMOS, TTL compatible) 是高速 CMOS 逻辑系列的简称。由于在制造工艺上采用了硅栅自对准工艺以及缩短 MOS 管的沟道长度等一系列改进措施, HC 系列产品的传输延迟时间缩短到了 10ns 左右, 仅为 4000 系列的十分之一, 并且带负载能力也提高到了 4mA 左右。

HCT 系列在传输延迟时间和带负载能力上基本与 HC 系列相同, 区别在于它们的工作电压范围和对输入信号电平的要求有所不同。HC 系列的电压范围为 2 ~ 6V, 使用起来比较灵活, 如果以提高速度为前提, 可以选择较高的电源电压; 而以降低功耗为主要目标的情况下, 可以选用较低的电源电压。但由于 HC 系列的电路要求的输入电平与 TTL 电路的输出电平不相匹配, 所以 HC 系列电路不能与 TTL 电路混合使用。HCT 系列的工作电压固定在 5V, 它的输入、输出电平与 TTL 电路的输入、输出电平完全兼容, 所以 HCT 与 TTL 可以混合使用于同一系统。

AHC/AHCT (Advanced High-Speed CMOS/Advanced High-Speed CMOS, TTL compatible) 是改进的高速 CMOS 逻辑系列的简称。与 HC/HCT 相比, 这两种改进后系列的工作速度及带负载能力都提高了近一倍, 同时又与 HC/HCT 系列产品完全兼容, 为使用者带来了很大的方便。因此, AHC/AHCT 系列是目前最受欢迎、应用最广的 CMOS 器件。AHC 与 AHCT 系列的区分同 HC 与 HCT 系列的区分一样, 主要表现在工作电压范围和对输入电平的不同要求上。VHC/VHCT 系列与 AHC/AHCT 系列主要性能基本相近, 由于不是同一公司生产的产品, 所以在某些具体的参数上会略有不同。

LVC 系列是 TI 公司 (德州仪器公司) 20 世纪 90 年代推出的低压 CMOS (Low-Voltage CMOS) 逻辑系列的简称。LVC 系列不但能在 1.65 ~ 3.3V 的低电压下工作, 而且传输延迟时间也缩短至 3.8ns。同时, 它又能提供更大的负载电流, 在电源电压为 3V 时, 最大负载电流可达 24mA。此外, LVC 的输入可以接受高达 5V 的高电平信号, 也能够很容易将 5V 的电平信号转换为 3.3V 以下的电平信号, 而 LVC 系列

所提供的总线驱动电路又能将 3.3V 以下的电平转换为 5V 的输出信号,这就为 3.3V 系统与 5V 系统之间的连接提供了便捷的解决方案。

ALVC(Advanced Low-Voltage CMOS) 系列是 TI 公司于 1994 年推出的改进的低压 CMOS 逻辑系列。ALVC 在 LVC 的基础上进一步提高了工作速度,并提供了性能更加优越的总线驱动器件。LVC 和 ALVC 是目前 CMOS 电路中性能最好的两个系列,可以满足高性能数字系统设计的需要。尤其在便携式的移动电子设备中,LVC 和 ALVC 系列的优势更加明显。

表 1-1 以 TI 公司生产的不同系列反相器 (74×04) 为例列出了各种 CMOS 系列电路的主要性能参数。我们讨论的 CMOS 器件都有形如“54/74FAMnn”的元件号码,其中的“FAM”为按字母排列的助记符,nn 为用数字表示的功能标号,且 nn 相同的不同系列器件的功能相同。如器件名称 54/74HC04 中,“54/74”是 TI 公司产品的标志;“HC”是不同系列的名称,这是高速 CMOS 系列,后面的数字“04”表示器件具体的逻辑功能,它是一个“六反相器”(即一块芯片上封装了六个相同的反相器)。对于不同系列的器件,只要器件名称中最后的数码相同,它的逻辑功能就相同。但不同系列的器件的电器性能参数就大不一样了。“54”和“74”系列的区分主要在于允许的环境工作温度不同。“54”系列允许的环境工作温度为 $-55 \sim +125^{\circ}\text{C}$,而“74”系列的允许环境工作温度为 $-40 \sim +85^{\circ}\text{C}$ 。

表 1-1 各种 CMOS 系列电路的性能比较 (以 74 系列为例)

参数名称与符号	74 $\times$ 04					
	74HC	74HCT	74AHC	74AHCT	74LVC	74ALVC
电源电压范围 V_{DD}/V	2 ~ 6	4.5 ~ 5.5	2 ~ 5.5	4.5 ~ 5.5	1.65 ~ 3.6	1.65 ~ 3.6
输入高电平最小值 $V_{\text{IH}(\text{min})}/\text{V}$	3.15	2	3.15	2	2	2
输入低电平最大值 $V_{\text{IL}(\text{max})}/\text{V}$	1.35	0.8	1.35	0.8	0.8	0.8
输出高电平最小值 $V_{\text{OH}(\text{min})}/\text{V}$	4.4	4.4	4.4	4.4	2.2	2.0
输出低电平最大值 $V_{\text{OL}(\text{max})}/\text{V}$	0.33	0.33	0.44	0.44	0.55	0.55
高电平输出电流最大值 $I_{\text{OH}(\text{max})}/\text{mA}$	-4	-4	-8	-8	-24	-24
低电平输出电流最大值 $I_{\text{OL}(\text{max})}/\text{mA}$	4	4	8	8	24	24
高电平输入电流最大值 $I_{\text{IH}(\text{max})}/\mu\text{A}$	0.1	0.1	0.1	0.1	5	5
低电平输入电流最大值 $I_{\text{IL}(\text{max})}/\mu\text{A}$	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-5	-5
平均传输延迟时间 $t_{\text{pd}(\text{avg})}/\text{ns}$	9	14	5.3	5.5	3.8	2
输入电容最大值 $C_{\text{I}(\text{max})}/\text{pF}$	10	10	10	10	5	3.5
功耗电容 C_{pd}/pF	20	20	12	14	8	27.5

2. TTL 数字集成电路的各种系列

同样以 TI 公司生产的 TTL 产品为例,这些最初生产的 TTL 电路命名为 SN54/74 系列,也称为 TTL 的基本系列。(54 系列和 74 系列的主要区别在于工作环境温度范围和电源允许的变化范围不同。)随着生产工艺水平的不断提高,同时为了满足提

高工作速度和降低功耗的需要,继 54/74 系列之后又相继生产了 74H、74L、74S、74AS、74LS、74ALS、74F 等改进系列。

74H(High-Speed TTL, 高速 TTL) 系列是在基本系列的基础上,通过减小电路中各个电阻的阻值,缩短了传输延迟时间,提高了速度,但同时也增加了功耗。而 74L(Low-power TTL) 称为低功耗 TTL 系列,是在基本系列的基础上,通过加大电路中各个电阻的阻值,降低了功耗,但是增加了传输时间。可见,以上两种改进系列都不能满足既降低功耗又缩短传输延迟时间的要求。如果用传输延迟时间和功耗的乘积(delay-power product, dp 积)来表示门电路的综合性能,那么 74H 和 74L 系列的 dp 积并未减小,也就说明它的综合性能并未得到改善。因此,这两个系列的器件都不是理想器件。

74S(Schottky TTL) 系列又称肖特基系列。此系列门电路中的晶体管采用的是抗饱和晶体管(或称为肖特基钳位晶体管, Schottky-Clamped Transistor)。抗饱和晶体管是由普通的双极型晶体管和肖特基势垒二极管(Schottky Barrier Diode, SBD)组合而成的。由于 SBD 的开启电压很低,只有 $0.3 \sim 0.4\text{V}$,所以当晶体管的 $b-c$ 结进入正向偏置状态以后, SBD 首先导通,并将 $b-c$ 结的正向电压钳位在 $0.3 \sim 0.4\text{V}$,使 V_{CE} 保持在 0.4V 左右,从而有效地制止了晶体管进入深度饱和状态。

通过对 74 系列门电路的动态过程分析可以知道,晶体管导通时工作在深度饱和状态是产生传输延迟时间的一个主要原因。而 74S 系列采用的抗饱和晶体管工作在浅饱和状态,大大缩短了传输延迟时间,从而提高了工作速度。

74S 系列门电路结构的另一个特点是用有源电路代替 74 系列中 VT_2 的发射结电阻,为 VT_3 的发射结提供一个有源泄放回路(具体电路可参考理论课教材),从而加速了 VT_3 的导通过程以及从导通变为截止的过程。

此外,引进有源泄放电路还改善了门电路的电压传输特性。所以,74S 系列门电路的电压传输特性上没有线性区,更接近于理想的开关特性。而 74S 系列门电路的阈值电压也比 74 系列要低一些,这是因为 VT_1 为抗饱和晶体管,它的 $b-c$ 间存在 SBD,所以 VT_3 开始导通所需要的输入电压比 74 系列门电路要低一些,约 1V 左右。

74S 系列门电路由于采用抗饱和晶体管以及采用较小的电阻值,在强化其优点的同时也带来了缺点。首先,电路的功耗加大了。其次,由于输出管 VT_3 脱离了深度饱和状态,导致了输出低电平升高(最大值达 0.5V 左右)。

74AS(Advanced Schottky TTL) 系列是为了进一步缩短传输延迟时间而设计的改进系列。在此系列的电路中采用了更低的电阻阻值,从而提高了工作速度。但它的缺点同样是功耗大,比 74S 系列的功耗还略大一些。