

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



数字电子技术基础

(第3版)

林涛 林杉 杨照辉 编著

清华大学出版社

高等学校规划教材 | 电子信息



数字电子技术基础

(第3版)

林涛 林杉 杨照辉 编著

清华大学出版社
北京

内 容 简 介

本书根据新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》，并结合多年的教学实践经验编写而成。主要内容包括：数字逻辑基础、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、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换、可编程逻辑器件、VHDL 简介、VHDL 在数字系统分析与设计中的应用举例等。各章前有内容提要、学习提示，章末有小结、习题。

本书可作为高等学校电气信息类、电子信息类、计算机类及相近专业本科生数字电子技术基础教材和教学参考书，也可作为有关工程技术人员的参考书。

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

数字电子技术基础/林涛，林杉，杨照辉编著. —3版. —北京：清华大学出版社，2018
(21世纪高等学校规划教材·电子信息)
ISBN 978-7-302-48111-9

I. ①数… II. ①林… ②林… ③杨… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材
IV. ①TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 205937 号

责任编辑：郑寅堃 薛 阳

封面设计：傅瑞学

责任校对：李建庄

责任印制：沈 露

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：三河市金元印装有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185mm×260mm

印 张：27

字 数：634千字

版 次：2006年1月第1版

2018年1月第3版

印 次：2018年1月第1次印刷

印 数：1~1000

定 价：59.00元

出版说明

随着我国改革开放的进一步深化，高等教育也得到了快速发展，各地高校紧密结合地方经济建设发展需要，科学运用市场调节机制，加大了使用信息科学等现代科学技术提升、改造传统学科专业的投入力度，通过教育改革合理调整和配置了教育资源，优化了传统学科专业，积极为地方经济建设输送人才，为我国经济社会的快速、健康和可持续发展以及高等教育自身的改革发展做出了巨大贡献。但是，高等教育质量还需要进一步提高以适应经济社会发展的需要，不少高校的专业设置和结构不尽合理，教师队伍整体素质亟待提高，人才培养模式、教学内容和教学方法需要进一步转变，学生的实践能力和创新精神亟待加强。

教育部一直十分重视高等教育质量工作。2007年1月，教育部下发了《关于实施高等学校本科教学质量与教学改革工程的意见》，计划实施“高等学校本科教学质量与教学改革工程（简称‘质量工程’）”，通过专业结构调整、课程教材建设、实践教学改革、教学团队建设等多项内容，进一步深化高等学校教学改革，提高人才培养的能力和水平，更好地满足经济社会发展对高素质人才的需要。在贯彻和落实教育部“质量工程”的过程中，各地高校发挥师资力量强、办学经验丰富、教学资源充裕等优势，对其特色专业及特色课程（群）加以规划、整理和总结，更新教学内容、改革课程体系，建设了一大批内容新、体系新、方法新、手段新的特色课程。在此基础上，经教育部相关教学指导委员会专家的指导和建设，清华大学出版社在多个领域精选各高校的特色课程，分别规划出版系列教材，以配合“质量工程”的实施，满足各高校教学质量和教学改革的需要。

为了深入贯彻落实教育部《关于加强高等学校本科教学工作，提高教学质量的若干意见》精神，紧密配合教育部已经启动的“高等学校教学质量与教学改革工程精品课程建设工作”，在有关专家、教授的倡议和有关部门的大力支持下，我们组织并成立了“清华大学出版社教材编审委员会”（以下简称“编委会”），旨在配合教育部制定精品课程教材的出版规划，讨论并实施精品课程教材的编写与出版工作。“编委会”成员皆来自全国各类高等学校教学与科研第一线的骨干教师，其中许多教师为各校相关院、系主管教学的院长或系主任。

按照教育部的要求，编委会一致认为，精品课程的建设工作从开始就要坚持高标准、严要求，处于一个比较高的起点上；精品课程教材应该能够反映各高校教学改革与课程建设的需要，要有特色风格、有创新性（新体系、新内容、新手段、新思路，教材的内容体系有较高的科学创新、技术创新和理念创新的含量）、先进性（对原有的学科体系有实质性的改革和发展，顺应并符合21世纪教学发展的规律，代表并引领课程发展的趋势和方向）、示范性（教材所体现的课程体系具有较广泛的辐射性和示范性）和一定的前瞻性。教材由个人申报或各校推荐（通过所在高校的编委会成员推荐），经编委会认真评审，最后由清华

大学出版社审定出版。目前,针对计算机类和电子信息类相关专业成立了两个编委会,即“清华大学出版社计算机教材编审委员会”和“清华大学出版社电子信息教材编审委员会”。推出的特色精品教材包括:

- (1) 21世纪高等学校规划教材·计算机应用——高等学校各类专业,特别是非计算机专业的计算机应用类教材。
- (2) 21世纪高等学校规划教材·计算机科学与技术——高等学校计算机相关专业的教材。
- (3) 21世纪高等学校规划教材·电子信息——高等学校电子信息相关专业的教材。
- (4) 21世纪高等学校规划教材·软件工程——高等学校软件工程相关专业的教材。
- (5) 21世纪高等学校规划教材·信息管理与信息系统。
- (6) 21世纪高等学校规划教材·财经管理与应用。
- (7) 21世纪高等学校规划教材·电子商务。
- (8) 21世纪高等学校规划教材·物联网。

清华大学出版社经过三十多年的努力,在教材尤其是计算机和电子信息类专业教材出版方面树立了权威品牌,为我国的高等教育事业做出了重要贡献。清华版教材形成了技术准确、内容严谨的独特风格,这种风格将延续并反映在特色精品教材的建设中。

清华大学出版社教材编审委员会

联系人: 魏江江

E-mail:weijj@tup.tsinghua.edu.cn

第3版前言

本书是在《数字电子技术基础（第2版）》的基础上修订而成的。这次修订的主导思想是在保持原来框架的基础上，力求增加教材内容的启发性与提高读者的阅读兴趣。按照这样的思路，进行了下述几方面的修订。

(1) 在主要章节，增加了讨论与思考题。其目的是加深读者对主要内容的理解，开阔思路，举一反三，拓展教材正文没有介绍的相关内容。

(2) 增加了典型习题分析，提出了阶梯形学习法，作为解题的指导原则。补充了部分讨论性的习题。

(3) 对计数器部分内容进行了整合，按触发器组成的计数器及集成计数器进行分类介绍，系统性更明确；在时序逻辑电路应用举例中，增加了计数器电路实现形式灵活性的讨论，这样与组合逻辑电路中电路实现形式的多样性与灵活性相呼应。

(4) 在DAC一节增加了DAC应用举例，扩展了对DAC应用的理解。

教材的本质不仅在于介绍有关基本知识，还应激发读者对相关问题的思考。编者希望使理论与实践紧密结合，培养学生的工程意识；注重单元电路的改进过程，启发学生创新思维；经典内容与新技术融合，引导学生学用结合。

参加本版修订工作的有杨照辉（第1、2、6、7章）、林涛（第3~5章）、林杉（第8~11章），林涛负责策划与统稿。

限于编者的水平，书中难免会有疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正（邮箱：taolin@chd.edu.cn）。

编者

2017年10月

第2版前言

本书在《数字电子技术基础》的基础上，主要做了以下几个方面的修改和补充。

(1) 对多数章节的内容进行了重新改写，强调了电路的改进过程，增强了教材内容的系统性。对基础内容的叙述更注重细节，注意到图形表示信息的优势，尽可能采用图形解释有关问题，希望有助于读者更好地理解基本内容。

(2) 增加了应用电路举例，以简易交通信号灯控制系统的设计为例贯穿本书的主要章节，强调了前后内容的联系。

(3) VHDL 简介单独编为第 10 章，这样使 VHDL 的内容相对集中。但选用该教材的教师根据自己的教学安排，也可以采用原书第 1 版的安排顺序，把相关内容分散到有关章节中进行介绍。

(4) 修订了习题与思考题，增加了反映基本概念的题目，部分习题在灵活性和深度上有所增加，希望通过这些题目增强学有余力的读者的学习兴趣。

(5) 在教材修订中，反映了编者对数字电子技术的思考，如对全加器电路实现方式的讨论、利用反馈置数法设计任意进制计数器时，置数输入端采用变量进行预置数，实现多次置数的设计思路的讨论等。这些内容的加入是否合适，还有待教学实践的检验，敬请读者不吝赐教。

在本次修订中，刘占文负责第 9、10、11 章的修订与编写工作。

限于编者的水平，书中难免会有疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。

编者

2012 年 3 月

前言

电子技术是目前发展最快的技术领域之一，数字电子技术在数字集成电路集成度越来越高的情况下，开发数字系统的实用方法和用来实现这些方法的工具已经发生了变化。特别是可编程逻辑器件的大量应用，传统的 74 系列标准逻辑器件在应用系统的设计中应用越来越少。但是，在数字电子技术中作为理论基础的基本原理并没有改变，理解大规模集成电路中的基本模块结构仍然需要基本单元电路的有关概念。因此，作为数字电子技术基础课程，介绍数字系统中常用的基本单元电路、基本功能模块及基本的分析方法仍然是其基本内容。本书的主要内容包括：数字逻辑基础、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、脉冲波形的产生与变换、A/D 与 D/A 转换和可编程逻辑器件等。

尽管传统的基本单元电路对于理解数字系统基本构成模块的工作原理具有重要意义，但是必须认识到，电子技术的新进展使数字系统和数字逻辑电路的工作过程出现了新的描述方法，未来的数字系统设计，对描述方法的理解可能比具体的硬件结构更重要。把硬件描述语言作为数字电子技术基础的内容之一，已出现在新修订的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》中。本书在编写过程中注意到电子技术领域的这些新变化，在教材内容中引入了 VHDL 及基本逻辑器件的硬件描述语言的描述方法。VHDL 作为目前较为流行的硬件描述语言，它本身具有一套完整的语法体系，数字电子技术基础的课程性质不允许全面介绍 VHDL。因此，如何用较少的篇幅，介绍 VHDL 的基本语法结构，使读者在理解基本逻辑器件的 VHDL 描述时不会出现较大的障碍，这是值得探讨的问题。本书在编写中采用了较为实用的方法，即围绕基本元器件的 VHDL 描述需求介绍 VHDL 的基本语法，把 VHDL 的介绍融入各个基本数字功能器件的介绍之中，这种做法是否合适，还有待教学实践的检验。读者若希望深入了解 VHDL，请阅读专门介绍 VHDL 的教材或相关资料。另外，读者在阅读本书时，若跳过有关 VHDL 的内容，不影响其他内容的连贯性。

参加本书编写工作的有：田莉娟（第 1、3、6 章）、林薇（第 2、8 章）、楚岩（第 4、5、7 章）、林涛（第 9、10 章及 1.7 节、3.6 节、4.4 节、5.6 节），林涛负责制定编写提纲和全书的统稿工作。

限于编者的水平，书中难免会有疏漏和不足之处，欢迎读者批评指正。

联系方式：E-mail: dgdzjs@chd.edu.cn

编者
2005 年 5 月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 概述	1
1.1.1 数字技术的特点	1
1.1.2 数字电路的发展	2
1.1.3 数字电路的研究对象、分析工具及描述方法	3
1.2 数制与码制	3
1.2.1 基数、位权的基本概念	3
1.2.2 几种常用的数制	4
1.2.3 数制之间的相互转换	5
1.2.4 码制	8
1.3 三种基本逻辑运算	10
1.3.1 与运算	10
1.3.2 或运算	11
1.3.3 非运算	12
1.3.4 常用复合逻辑	13
1.4 逻辑代数的基本定理	14
1.4.1 逻辑代数的基本定律	14
1.4.2 基本规则	15
1.4.3 逻辑运算的优先级别	16
1.4.4 基本定律的应用	16
1.5 逻辑函数及其表示方法	18
1.5.1 逻辑函数的定义	18
1.5.2 逻辑函数的表示方法	18
1.6 逻辑函数的化简	21
1.6.1 逻辑函数化简的意义	21
1.6.2 代数化简法	22
1.6.3 卡诺图化简法	25
小结	33
习题	34
习题分析举例	36

第2章 逻辑门电路	40
2.1 简单的与、或、非门电路	40
2.1.1 二极管的开关特性	40
2.1.2 三极管的开关特性	41
2.1.3 简单的与、或、非门电路	43
2.2 TTL与非门电路	47
2.2.1 TTL与非门的工作原理	47
2.2.2 TTL与非门的外特性	50
2.2.3 TTL与非门的主要参数	52
2.2.4 抗饱和TTL电路	57
2.2.5 集电极开路与非门和三态与非门	58
2.3 CMOS门电路	62
2.3.1 NMOS逻辑门电路	62
2.3.2 CMOS逻辑门电路	64
2.3.3 CMOS传输门	67
2.4 逻辑门电路使用中的几个实际问题	68
2.4.1 各种门电路之间的接口问题	68
2.4.2 门电路带其他负载的问题	72
2.4.3 多余输入端的处理措施	72
小结	73
习题	73
习题分析举例	76
第3章 组合逻辑电路	79
3.1 概述	79
3.1.1 组合逻辑电路的特点	79
3.1.2 组合逻辑电路逻辑功能描述方式及各种描述方式的相互关系	80
3.2 组合逻辑电路的分析方法	83
3.3 组合逻辑电路设计的一般方法	87
3.4 编码器与译码器	90
3.4.1 编码器	90
3.4.2 译码器	94
3.5 数据分配器与数据选择器	104
3.5.1 数据分配器	104
3.5.2 数据选择器	104
3.6 算术运算电路	110
3.6.1 加法器	110

3.6.2	二进制减法运算	112
3.6.3	加法器应用举例	115
3.6.4	数值比较器	117
3.7	组合逻辑电路应用举例	121
3.7.1	奇偶发生器/校验器在数据传输中的应用	121
3.7.2	简易交通信号灯控制电路	122
3.7.3	全加器电路实现形式的多样性讨论	124
3.8	组合逻辑电路中的竞争-冒险	129
3.8.1	产生竞争-冒险的原因	129
3.8.2	冒险现象的判别	131
3.8.3	消除冒险现象的方法	132
	小结	134
	习题	135
	习题分析举例	140
第 4 章	触发器	145
4.1	概述	145
4.2	触发器的电路结构与工作原理	146
4.2.1	基本 RS 触发器	146
4.2.2	同步 RS 触发器	149
4.2.3	主从触发器	153
4.2.4	边沿触发器	157
4.3	触发器的逻辑功能及其描述方法	160
4.3.1	RS 触发器	161
4.3.2	JK 触发器	163
4.3.3	D 触发器	163
4.3.4	T 触发器	164
4.4	触发器的脉冲工作特性	167
4.4.1	传输延迟时间	167
4.4.2	建立时间	168
4.4.3	保持时间	168
4.4.4	最大时钟频率	168
	小结	169
	习题	169
	习题分析举例	174
第 5 章	时序逻辑电路	179
5.1	概述	179

5.1.1	时序逻辑电路的一般结构形式	179
5.1.2	时序逻辑电路的描述方法	180
5.2	时序逻辑电路的分析方法	182
5.2.1	同步时序逻辑电路分析举例	182
5.2.2	异步时序电路分析举例	185
5.3	寄存器和移位寄存器	187
5.3.1	寄存器	187
5.3.2	移位寄存器	188
5.4	计数器	192
5.4.1	触发器组成的计数器	192
5.4.2	集成计数器	195
5.4.3	计数器的设计方法	204
5.5	顺序脉冲发生器与序列信号发生器	213
5.5.1	顺序脉冲发生器	213
5.5.2	序列信号发生器	214
5.6	时序逻辑电路应用举例	216
5.6.1	定周期交通信号灯控制电路	216
5.6.2	多路脉冲信号形成电路	217
5.6.3	计数器电路实现形式的灵活性讨论	218
	小结	225
	习题	226
	习题分析举例	229
第 6 章	半导体存储器	234
6.1	概述	234
6.2	只读存储器	237
6.3	随机存储器	245
	小结	252
	习题	253
第 7 章	脉冲波形的产生与变换	257
7.1	概述	257
7.2	多谐振荡器	258
7.2.1	反相器与 RC 元件组成的环形多谐振荡器	259
7.2.2	采用石英晶体的多谐振荡器	264
7.3	单稳态触发器	266
7.3.1	门电路与 RC 元件构成的单稳态触发器	266
7.3.2	集成单稳态触发器	269

7.3.3 单稳态触发器的应用	271
7.4 施密特触发器	272
7.4.1 门电路构成的施密特触发器	273
7.4.2 施密特触发器的应用	275
7.5 555 定时器及其应用	277
7.5.1 555 定时器的电路组成及工作原理	277
7.5.2 555 构成的施密特触发器	279
7.5.3 555 构成的单稳态触发器	280
7.5.4 555 构成的多谐振荡器	282
7.6 应用电路举例	285
小结	287
习题	288
习题分析举例	293
第 8 章 数/模与模/数转换电路	296
8.1 概述	296
8.2 数/模转换电路	297
8.2.1 D/A 转换的基本思路	297
8.2.2 典型的 D/A 转换电路	298
8.2.3 D/A 转换器的输出方式	302
8.2.4 D/A 转换器的主要技术参数	304
8.2.5 集成 D/A 转换器应用举例	306
8.3 模数转换电路	308
8.3.1 A/D 转换的基本原理	308
8.3.2 直接 A/D 转换器	311
8.3.3 间接 A/D 转换器	315
8.3.4 A/D 转换器的主要技术参数	318
8.3.5 集成 A/D 转换器举例	319
小结	320
习题	320
习题分析举例	323
第 9 章 可编程逻辑器件	325
9.1 概述	325
9.1.1 可编程逻辑器件发展过程简介	325
9.1.2 PLD 的分类	326
9.1.3 PLD 中门电路的习惯表示方法	328
9.2 PLA 和 PAL 的电路结构	328

9.2.1	PLA 的电路结构与应用举例	329
9.2.2	PAL 的电路结构与应用举例	329
9.3	通用阵列逻辑 (GAL)	335
9.3.1	GAL 器件的基本结构	335
9.3.2	可编程输出逻辑宏单元 OLMC	335
9.3.3	GAL 器件的特点	340
9.4	高密度可编程逻辑器件 HPLD	341
9.4.1	典型的 CPLD 结构	342
9.4.2	现场可编程门阵列 FPGA	347
9.4.3	CPLD 与 FPGA 比较	351
小结		351
习题		352
第 10 章	VHDL 简介	353
10.1	VHDL 基础	353
10.1.1	标识符、常量及信号	354
10.1.2	数据类型	355
10.1.3	运算操作符	356
10.1.4	基本设计单元	357
10.2	常用组合逻辑功能器件的 VHDL 描述	359
10.2.1	VHDL 的主要描述语句	359
10.2.2	常用组合逻辑功能器件的 VHDL 描述	363
10.3	触发器的 VHDL 描述	368
10.3.1	时钟信号的 VHDL 描述	368
10.3.2	D 触发器的 VHDL 描述	369
10.3.3	JK 触发器的 VHDL 描述	371
10.3.4	RS 触发器的 VHDL 描述	372
10.4	常见时序逻辑电路的 VHDL 描述	373
10.4.1	生成语句及元件例化语句	373
10.4.2	寄存器的 VHDL 描述	375
10.4.3	计数器的 VHDL 描述	377
小结		380
习题		380
第 11 章	VHDL 在数字系统分析与设计中的应用举例	381
11.1	键盘编码器电路组成及程序分析	381
11.2	具有基本功能的数字时钟电路的设计	385
11.2.1	设计要求及系统框图	386

11.2.2	从上到下的层次化设计	387
11.2.3	从下向上创建模块	389
11.2.4	设计顶层模块的 VHDL 源程序	395
11.3	简易交通信号灯控制电路的设计	398
11.3.1	设计要求及系统框图	399
11.3.2	从上到下的层次化设计	400
11.3.3	从下向上创建模块	401
	小结	405
	习题	405
	部分习题参考答案	407
	参考文献	411

第 1 章

数字逻辑基础

内容提要：本章主要介绍数制、代码、三种基本逻辑运算、逻辑代数的基本定理、逻辑函数及其化简方法。

学习提示：二进制数及二进制代码是数字系统中信息的主要表示形式，与、或、非三种基本逻辑运算是逻辑代数的基础，逻辑代数是分析数字电路和系统的基本工具。熟练掌握三种基本逻辑运算是正确理解逻辑代数基本定理的前提，正确理解并熟练掌握逻辑代数的基本定理、逻辑函数的代数化简法及卡诺图化简法是深入学习数字电子技术的关键。

1.1 概述

电子电路分为模拟电路和数字电路两大部分，模拟电路所处理的信号是在时间上和数值上连续的模拟信号，数字电路则用于处理在时间上和数值上不连续的离散信号或者叫作数字信号。如今，数字电路与技术已广泛应用于计算机、工业自动化装置、医疗仪器与设备、交通、电信、家用电器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技术打交道。从本章开始，将分别介绍有关数字电子技术的一些基本概念、基本理论与基本分析方法，它们对于从最简单的开关接通和断开到比较复杂的计算机等所有的数字系统都是适用的。

1.1.1 数字技术的特点

无论在简单的数字电路或复杂的数字系统中，一般仅涉及两种可能的逻辑状态，它们分别用高电平和低电平表示，高、低电平通常分别用 1 和 0 表示。当用 1 和 0 分别表示高、低电平时，称之为正逻辑。它是目前各种数字系统中普遍采用的逻辑体系。这里的 0 和 1 不代表数值的大小，而代表两种不同的逻辑状态。

经常看到日常生活中的电子仪器及相关技术，过去曾用模拟电路实现的功能，如今越来越多地被数字技术所替代，向数字技术转移的主要原因在于数字技术具有较多的优点。

(1) 数字系统一般容易设计与调试。数字系统所使用的电路是开关电路，开关电路中电压或电流的精确值并不重要，重要的是其所处的状态（高电平或低电平）。

(2) 数字信息存储方便。信息存储由特定的器件和电路实现，这种电路能存储数字信息并根据需要长期保存。大规模存储技术能在相对较小的物理空间上存储几十亿位信息。

(3) 数字电路抗干扰能力强。在数字系统中, 因为电压的准确值并不重要, 只要噪声信号不至于影响区别高低电平, 则电压寄生波动(噪声)的影响就可忽略不计。而在模拟系统中, 电压和电流信号由于受到信号处理电路中元器件参数的改变、环境温度的影响等会产生失真。

(4) 数字电路易于集成化。数字电路中涉及的主要器件是开关元件, 如二极管、三极管、场效应管等, 它们便于集成在一个芯片上。事实上, 模拟电路也受益于快速发展的集成电路工艺, 但是模拟电路相对复杂一些, 所有器件无法经济地集成在一起(如大容量电容、精密电阻、电感、变压器等), 它阻碍了模拟系统的集成化, 使其无法达到与数字电路同样的集成度。

(5) 数字集成电路的可编程性好。现代数字系统的设计, 越来越多地采用可编程逻辑器件。硬件描述语言的发展, 促进了数字系统硬件电路设计的软件化, 为数字系统研发带来了极大的方便与灵活性。

虽然数字技术的优点明显, 但采用数字技术时必须面对两大问题: 一是自然界中大多数物理量是模拟量, 二是模拟信号的数字化过程需要时间。应用系统中被检测、处理、控制的输入、输出信号经常是模拟信号, 如温度、压力、速度、液位、流速等。当涉及模拟信号输入输出时, 为了利用数字技术的优点, 必须首先把实际中的模拟信号转换为数字形式, 进行数字信息处理, 最后再把数字信号变换为模拟信号输出。由于必须在信息的模拟形式与数字形式之间进行转换, 从而增加了系统的复杂性和费用。

1.1.2 数字电路的发展

数字技术的发展历程一般以数字逻辑器件的发展为标志, 数字逻辑器件经历了从半导体分立元件到集成电路的过程, 数字集成电路可分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路等, 如表 1.1 所示。集成度是指一个芯片中所含等效门电路(或晶体管)的个数。随着集成电路生产工艺的进步, 数字逻辑器件的集成度越来越高, 目前所生产的高密度超大规模集成电路(GLSI)的一个芯片内所含等效门电路的个数已超过一百万。

表 1.1 集成电路的分类

类型	晶体管个数	典型集成电路
小规模(SSI)	≤ 10	逻辑门
中规模(MSI)	10~100	计数器、加法器
大规模(LSI)	100~1000	小型存储器、门阵列
超大规模(VLSI)	1000~ 10^6	大型存储器、可编程逻辑器件等

数字逻辑器件有标准逻辑器件、专用集成电路(ASIC)、可编程逻辑器件(PLD)三种类型, 标准逻辑器件包括TTL、CMOS、ECL系列, 其中TTL、CMOS系列是过去五十多年中构成数字电路的主要元器件, 但随着可编程逻辑器件的发展, 新的系统设计正越来越多地采用可编程逻辑器件实现。因此, 可编程逻辑器件代表了数字技术的发展方向。

随着现代电子技术和信息技术的飞速发展, 数字电路已从简单的电路集成走向数字逻