

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



现代数字电子技术 及Verilog设计

张春晶 张海宁 李冰 编著



清华大学出版社

21世纪高等学校规划教材 | 电子信息



现代数字电子技术 及Verilog设计

张春晶 张海宁 李冰 编著

清华大学出版社

内 容 简 介

本书利用现代 EDA 技术设计数字系统,从教学和实际应用的角度出发,介绍数字电路基础知识、数字电路的分析方法、设计方法,着重说明采用 Verilog HDL 实现方式。本书主要内容包括数字逻辑基础、组合电路、时序电路、脉冲产生与变换电路、数字集成电路、Quartus II 软件简介、Verilog 基本语法、可编程逻辑器件、Verilog HDL 数字设计实例等,并将 Verilog HDL 的介绍渗透于各个章节。

本书内容精练、结构严谨、实用性强,既可以作为高等院校通信与电子类专业本科生的教材,也可作为从事电子系统设计和开发的工程技术人员的应用参考书。

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

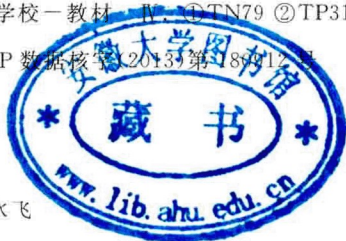
现代数字电子技术及 Verilog 设计/张春晶,张海宁,李冰编著.--北京:清华大学出版社,2014

21 世纪高等学校规划教材.电子信息

ISBN 978-7-302-33368-5

I. ①现… II. ①张…②张…③李… III. ①数字电路—电子技术—高等学校—教材②硬件描述语言—程序设计—高等学校—教材 IV. ①TN79 ②TP312

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 189612 号



责任编辑:郑寅堃 王冰飞

封面设计:傅瑞学

责任校对:时翠兰

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:北京国马印刷厂

经 销:全国新华书店

开 本:185mm×260mm

印 张:18.75

字 数:458 千字

版 次:2014 年 6 月第 1 版

印 次:2014 年 6 月第 1 次印刷

印 数:1~2000

定 价:39.50 元

产品编号:051643-01

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议,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

前言

《现代数字电子技术及 Verilog 设计》借鉴了目前国外知名高校同类教材的选材和教学理念,将传统手工数字电路的设计原理、硬件描述语言和电子设计自动化 EDA 设计相结合,使学生能对由分立元件、中规模逻辑电路和可编程逻辑器件完成电路设计和实现方法进行分析 and 对比,从而更好地掌握现代数字电路设计。

本书在保证数字电路基础知识的前提下,注重学生分析能力、实践能力和创新能力的培养,既有实用性又有先进性。具有以下特点:

(1) 内容与实践结合。大幅减少逻辑门底层电路结构和脉冲电路的介绍,最大限度地降低对前期基础知识的依赖,重点介绍数字电路的分析和设计方法,强调数字电路的实用性。

(2) 数字电路与 Verilog HDL 代码结合。书中以真值表、波形图等多种方式介绍了常用的数字电路,并用 Verilog HDL 程序设计,通过仿真后的波形图与电路功能的相对应,注重对教学内容的理解。

(3) 理论与实验结合。在书中将数字电路设计配备相应的 Verilog HDL 程序设计,使初学者很轻松地掌握了 Verilog HDL 语句的设计规则,使学生能流畅地实现从学习传统数字技术基础知识向现代数字技术的过渡及大幅跨越。

(4) 基础与系统结合。在书中介绍 Quartus II 软件使用,使学生通过软件进行基本电路设计,并学习分析问题、解决问题的方法。同时引入时序电路的有限状态机 Verilog HDL 描述,并介绍了数字系统的设计方法,使学生尽早参与各种电子大赛,激发学生的创新意识,培养自主创新能力。

全书共分 9 章。第 1 章数字逻辑基础,介绍了数字信号的表达方法、逻辑代数的定理、公式、逻辑函数的化简。第 2 章 EDA 软件 Quartus II 软件使用和硬件描述语言 Verilog HDL 基本语法规则和常用语句。第 3 章组合逻辑电路分析、设计及常用组合电路逻辑器件。第 4 章触发器和时序逻辑电路分析。第 5 章时序逻辑电路设计及有限状态机的设计方法和要点。第 6 章介绍了算术运算、寄存器、计数器等常用数字电路。第 7 章脉冲产生与变换电路。第 8 章可编程逻辑器件,主要介绍可编程逻辑器件分类,以及各种 PLD 的结构与特点。通过介绍一些实例,由浅入深地介绍基本单元和常用的模块以及设计技巧。第 9 章数字系统设计流程和 Verilog HDL 数字设计实例。

本书第 1 章和第 3 章由李冰编写;第 4 章至第 7 章由张海宁编写;第 2 章 2.1 节、第 8 章及附录 B 由于明华编写;第 2 章 2.2 节、第 9 章及书中从第 5 章开始的所有 Verilog HDL 语言描述部分均由张春晶编写;附录 A 由黄玉琴编写。参加本书编写的还有黄耀群、吕中志、赵岩。

在本书的编写过程中,黑龙江科技大学的边莉老师、孙桂芝老师对书稿提出了宝贵的建议和意见,学生钟相燚在程序编写过程中给予了很大帮助,在此表示由衷的感谢!

由于编者水平有限,书中难免存在疏漏,敬请广大读者批评指正。

编 者

2014 年 1 月

目 录

第 1 章 数字逻辑基础	1
1.1 数字电路和数字系统	1
1.1.1 数字信号	1
1.1.2 数字电路	2
1.1.3 数字系统	3
1.2 数制和码制	3
1.2.1 数制	4
1.2.2 数制转换	5
1.2.3 码制	7
1.2.4 二进制数运算	10
1.3 逻辑代数	12
1.3.1 逻辑运算	13
1.3.2 逻辑函数	16
1.3.3 逻辑代数的标准形式	18
1.4 逻辑函数的化简	18
1.4.1 公式法化简	19
1.4.2 卡诺图化简	21
1.4.3 具有无关项的逻辑函数及其化简	26
1.5 本章小结	27
1.6 思考与练习	27
第 2 章 Quartus II 软件和 Verilog 语言	30
2.1 Quartus II 软件简介	30
2.1.1 Quartus II 原理图编辑	30
2.1.2 Verilog HDL 语言编辑	38
2.1.3 波形仿真	40
2.1.4 引脚分配	44
2.1.5 下载测试	44
2.2 硬件描述语言 Verilog	45
2.2.1 Verilog 基本结构	45
2.2.2 Verilog 语法知识	49

2.2.3	运算符	54
2.2.4	语句	58
2.3	本章小结	79
2.4	思考与练习	80
第3章	组合逻辑电路	81
3.1	组合逻辑电路概述	81
3.1.1	组合逻辑电路的分析	82
3.1.2	组合逻辑电路的设计	83
3.1.3	Verilog HDL 描述	86
3.2	编码器	89
3.2.1	编码器的定义与工作原理	89
3.2.2	编码器的应用	91
3.2.3	Verilog HDL 描述	92
3.3	译码器	95
3.3.1	译码器的工作原理	95
3.3.2	二进制译码器的应用	100
3.3.3	Verilog HDL 描述	103
3.4	数据选择器	105
3.4.1	数据选择器的工作原理	105
3.4.2	数据选择器的应用	106
3.4.3	Verilog HDL 描述	108
3.5	数据分配器	108
3.5.1	数据分配器的工作原理	108
3.5.2	Verilog HDL 描述	109
3.6	数值比较器	110
3.6.1	数值比较器的工作原理	110
3.6.2	Verilog HDL 描述	113
3.7	组合逻辑电路的竞争和冒险	114
3.7.1	产生竞争冒险的原因	115
3.7.2	冒险的分类	115
3.7.3	判别冒险	116
3.7.4	消去竞争冒险的方法	117
3.8	本章小结	118
3.9	思考与练习	118
第4章	时序逻辑电路基本原理	120
4.1	概述	120

4.1.1	时序逻辑电路的结构特点	120
4.1.2	时序逻辑电路的分类	121
4.2	触发器	121
4.2.1	RS 触发器	122
4.2.2	JK 触发器	129
4.2.3	D 触发器	134
4.2.4	T 触发器	137
4.2.5	触发器之间的转换	138
4.2.6	锁存器	139
4.3	时序逻辑电路的分析	141
4.3.1	同步时序逻辑电路分析	141
4.3.2	异步时序逻辑电路分析	145
4.4	本章小结	148
4.5	思考与练习	148
第 5 章	时序逻辑电路设计	151
5.1	概述	151
5.2	同步时序逻辑电路的设计	151
5.2.1	设计方法与步骤	151
5.2.2	设计举例	152
5.3	异步时序逻辑电路的设计	156
5.3.1	设计方法与步骤	156
5.3.2	设计举例	156
5.4	Verilog HDL 描述时序逻辑电路	160
5.4.1	有限状态机	161
5.4.2	有限状态机的 Verilog HDL 描述	162
5.4.3	Verilog HDL 时序电路设计	170
5.5	本章小结	172
5.6	思考与练习	172
第 6 章	常用逻辑电路	175
6.1	算术运算电路	175
6.1.1	加法器	175
6.1.2	减法器	181
6.1.3	乘法器	184
6.2	寄存器	186
6.2.1	基本寄存器	186

6.2.2	移位寄存器	186
6.2.3	用 Verilog HDL 描述寄存器	189
6.3	计数器	192
6.3.1	同步计数器	192
6.3.2	异步计数器	195
6.3.3	任意进制计数器的实现	196
6.3.4	用 Verilog HDL 描述计数器	199
6.4	本章小结	203
6.5	思考与练习	203
第 7 章	脉冲信号的产生与整形	206
7.1	单稳态触发器	206
7.1.1	门电路构成的单稳态触发器	206
7.1.2	集成单稳态触发器	208
7.1.3	单稳态触发器的应用	209
7.2	多谐振荡器	211
7.2.1	门电路组成的多谐振荡器	211
7.2.2	石英晶体多谐振荡器	212
7.2.3	多谐振荡器的应用	213
7.3	施密特触发器	213
7.3.1	门电路构成的施密特触发器	214
7.3.2	集成施密特触发器	215
7.3.3	施密特触发器的应用	216
7.4	555 定时器	217
7.4.1	555 定时器的电路结构与功能	217
7.4.2	用 555 定时器构成单稳态触发电路	218
7.4.3	用 555 定时器构成多谐振荡器	219
7.4.4	用 555 定时器构成施密特触发器	220
7.5	本章小结	220
7.6	思考与练习	220
第 8 章	可编程逻辑器件	222
8.1	PLD 器件概述	222
8.1.1	PLD 的发展历程	222
8.1.2	PLD 的基本结构	223
8.2	存储器	225
8.2.1	随机存储器	225

8.2.2 只读存储器	228
8.3 低密度可编程逻辑器件	232
8.4 高密度可编程逻辑器件	234
8.4.1 复杂可编程逻辑器件 CPLD	234
8.4.2 现场可编程门阵列 FPGA	236
8.4.3 CPLD 和 FPGA 特点比较	238
8.5 本章小结	238
8.6 思考与练习	239
第 9 章 数字系统设计	240
9.1 概述	240
9.2 数字系统设计的方法和流程	241
9.2.1 数字系统设计方法	241
9.2.2 数字系统设计流程	242
9.3 数字系统设计实例	244
9.3.1 数字钟	244
9.3.2 数字频率计	254
9.4 本章小结	263
9.5 思考与练习	264
附录A 集成逻辑门电路的内部结构简介	265
A.1 半导体器件的开关特性	265
A.1.1 二极管的开关特性	266
A.1.2 三极管的开关特性	266
A.1.3 MOS 管的开关特性	267
A.2 分立元件门电路	268
A.2.1 二极管与门	268
A.2.2 二极管或门	269
A.2.3 三极管非门	269
A.2.4 二极管三极管组成的与非门	270
A.2.5 二极管三极管或非门	270
A.3 TTL 集成门电路	271
A.3.1 TTL 与非门	271
A.3.2 其他 TTL 集成门电路	273
A.4 CMOS 集成门电路	274
A.4.1 CMOS 反向器	275
A.4.2 CMOS 与非门	275

A. 4. 3	CMOS 或非门	276
A. 5	集成门电路的性能参数和使用	276
A. 5. 1	数字集成电路的性能参数	276
A. 5. 2	数字集成门电路的使用	279
附录B	常用数字集成电路的符号图、命名方法及索引	281
B. 1	常用数字集成电路的符号图	281
B. 2	数字集成电路的型号命名方法	283
B. 3	常用标准集成电路器件索引	284
参考文献		287

第1章

数字逻辑基础

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。电子数字计算机是由具有各种逻辑功能的逻辑部件组成的,这些逻辑部件按其结构可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路。组合逻辑电路是由与门、或门和非门等门电路组合形成的逻辑电路;时序逻辑电路是由触发器和门电路组成的具有记忆能力的逻辑电路。有了组合逻辑电路和时序逻辑电路,再进行合理的设计和安排,就可以表示和实现布尔代数的基本运算。

1.1 数字电路和数字系统

用数字信号完成对数字量进行算术运算和逻辑运算的电路称为数字电路,或数字系统。由于它具有逻辑运算和逻辑处理功能,所以又称数字逻辑电路。现代的数字电路由半导体工艺制成的若干数字集成器件构造而成。存储器是用来存储二值数据的数字电路。逻辑门是数字逻辑电路的基本单元。从整体上看,数字电路可以分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

1.1.1 数字信号

在了解数字信号之前,先来了解一下模拟信号。模拟信号是指时间上和幅度上均为连续取值的物理量。

日常生活中的大多数物理信号都是模拟量。比如某段时间的天气温度变化,是一条光滑、连续的曲线,就是一个模拟信号。

数字信号则指时间上和幅度上取值均是离散的物理信号。二进制码就是一种数字信号。由于二进制码受噪声的影响小,易于由数字电路进行处理,所以得到了广泛的应用。

可以把模拟信号变成数字信号,其方法就是对模拟信号进行“采样—量化—编码”,这样操作后的信号就变成了数字信号。

数字信号的特点是抗干扰能力强、无噪声积累。在模拟通信中,为了提高信噪比,需要在信号传输过程中及时对衰减的传输信号进行放大,但信号在传输过程中不可避免地会叠加上的噪声也被同时放大。随着传输距离的增加,噪声累积越来越多,以致传输质量严重恶化。

对于数字通信,由于数字信号的幅值为有限个离散值(通常取两个幅值),在传输过程中

虽然也受到噪声的干扰,但当信噪比恶化到一定程度时,数字通信即在适当的距离采用判决再生的方法,再生成没有噪声干扰的、和原发送端一样的数字信号,所以可实现长距离高质量的传输。

数字信号的优点:

- (1) 便于加密处理;
- (2) 便于存储、处理和交换;
- (3) 设备便于集成化、微型;
- (4) 便于构成综合数字网和综合业务数字网;
- (5) 占用信道频带较宽。

1.1.2 数字电路

数字电路或数字集成电路是由许多的逻辑门组成的复杂电路。与模拟电路相比,它主要进行数字信号的处理(即信号以0与1两个状态表示),因此抗干扰能力较强。数字集成电路有各种门电路、触发器,以及由它们构成的各种组合逻辑电路和时序逻辑电路。一个数字系统一般由控制部件和运算部件两部分组成,在时脉的驱动下,控制部件控制运算部件完成所要执行的动作。通过模拟数字转换器或数字模拟转换器,数字电路可以和模拟电路互相连接。

1. 数字电路分类

按功能来分:组合逻辑电路和时序逻辑电路。

组合逻辑电路简称组合电路,它由最基本的逻辑门电路组合而成。特点是:输出值只与当时的输入值有关,即输出唯一地由当时的输入值决定。电路没有记忆功能,输出状态随着输入状态的变化而变化,类似于电阻性电路,如加法器、译码器、编码器、数据选择器等都属于此类。

时序逻辑电路简称时序电路,它是由最基本的逻辑门电路加上反馈逻辑回路(输出到输入)或器件组合而成的电路。时序电路与组合电路最本质的区别在于它具有记忆功能。时序电路的特点是:输出不仅取决于当时的输入值,而且还与电路过去的状态有关。它类似于含储能元件的电感或电容的电路,如触发器、锁存器、计数器、移位寄存器、储存器等电路都是时序电路的典型器件。

按电路有无集成元器件来分,可分为分立元件数字电路和集成数字电路。

按集成电路的集成度进行分类,可分为小规模集成数字电路(SSI)、中规模集成数字电路(MSI)、大规模集成数字电路(LSI)和超大规模集成数字电路(VLSI)。

按构成电路的半导体器件来分类,可分为双极型数字电路和单极型数字电路。

2. 数字电路的优点

电子设备从以模拟方式处理信息,转到以数字方式处理信息的原因,主要在以下几个方面:

(1) 电路结构简单,稳定性好。数字电路不像模拟电路那样易受噪声的干扰,而且数字电路只要能够区分高低电平即可,对元件的精度要求不高,利于实现数字电路集成化。

(2) 可靠性高。数字电路中只需分辨出高低电平信号,故电路的组件参数,可以允许有较大的变化(漂移)范围。

(3) 能长期存储和无限复制。数字信息可以利用某种媒介,如磁带、磁盘、光盘等进行长时期的存储。

(4) 便于计算机处理,易于设计,具有可编程性。数字信号的输出除了具有直观、准确的优点外,最主要的还是便于利用电子计算机来进行信息的处理。

(5) 便于高度集成化。数字集成电路易被标准化大规模生产,经济性好,同时数字设计技术具有可扩展性。由于数字电路中基本单元电路的结构比较简单,而且又允许组件有较大的分散性,这就可把众多的基本单元做在同一块硅片上并进行批量生产。

1.1.3 数字系统

数字电路又名数字系统。但两者概念范围又有所区别。

在数字电子技术领域内,由各种逻辑器件构成的能够实现某种单一特定功能的电路称为功能部件级电路。而由若干数字电路和逻辑部件构成的,能够实现数据存储、传送和处理等复杂功能的数字设备,则称为数字系统(Digital System)。电子计算机就是一个典型的复杂数字系统。

数字系统与逻辑功能部件的区别主要在以下 3 个方面。

(1) 功能不同。逻辑功能部件的功能比较单一。而数字系统的功能较为复杂,它由若干逻辑部件组成,能够按照要求产生或加工处理数字信息。

(2) 结构不同。逻辑功能部件不含控制部件,不能按照一定的程序进行操作。因此不论电路规模大小,大至大容量存储器,小至全加器均只能看作是一个逻辑功能部件。而凡是有控制部件且能按照一定程序进行操作的电路,不论电路规模大小均属于数字系统。

(3) 设计方法不同。逻辑功能部件的设计过程,一般采用自下而上的方法。即先按照任务要求建立真值表或状态表,对逻辑功能进行描述,然后进行逻辑化简或状态化简,最后完成电路的设计。数字系统的设计过程则是先采用自上而下的设计方法,即将整个系统划分为若干个子系统,然后在划分的子系统中,对不同的方案进行试探或比较,将系统功能由大到小,由粗到细再进行分解,直至可用基本逻辑功能部件实现。然后再采用自下而上的设计方法,完成各个子系统的设计后,再把子系统连接成一个整体,并进行整体功能的验证和检查,如果设计不满足要求,还需要再对子系统的划分进行修正。

1.2 数制和码制

所谓“数制”指的是进位计数制,即用进位的方式来计数。有两种方式来表示数值。

(1) 按“值”表示:即在某种进位制中表示出正确的数值。

(2) 按“形”表示:按照一定的编码方法表示出数值。

同一个数可以采用不同的进位计数制来计量。通常采用的数制有十进制、二进制、八进制和十六进制。日常生活中,人们习惯于使用十进制,而在数字电路中常采用二进制。

1.2.1 数制

数制是一种计数的方法。在日常生活及生产中广泛使用的计数体制是十进制。而在数字系统中讨论的是用电路实现逻辑关系的问题,因此采用的是二进制计数体制。但二进制数太长时会使得计数不方便,故经常采用八进制和十六进制进行辅助计数。

1. 十进制数

十进制是人们最常用的一种数制。

(1) 采用十个计数符号(也称数码): 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9。就是说,十进制数中的任一位,只可能出现这十个符号中的某一个。

(2) 十进制数的进位规则是“逢十进一”。即每位计满十就向高位进一,进位基数为十。所谓“基数”,它表示该数制所采用的计数符号的个数及其进位的规则。因此,同一个符号在一个十进制数中的不同位置时,它所代表的数值是不同的。高位的1相当于低位的10。

(3) 数码的位置决定了数码的等级,即“权/数位”: 10^i , 称为第 i 位的权。据此可将十进制数展开:

$$(123.45)_{10} = 1 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 3 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 5 \times 10^{-2}$$

2. 二进制数

计算机中最常用的一种数制。

(1) 采用2个计数符号: 0, 1。

(2) 逢二进一、借一当二、 $1+1=10$ 。

(3) 计数以2为基数。

利用权的概念,可将二进制数展开从而计算出它所表示的十进制数的大小。例如

$$\begin{aligned}(1001.1)_2 &= 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 1 \times 2^{-1} \\ &= (9.5)_{10}\end{aligned}$$

$(1001.1)_2$ 也可写成 $(1001.1)_B$, B(Binary)代表二进制。

3. 八进制数

(1) 采用8个计数符号: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7。

(2) 逢八进一、借一当八、 $7+1=10$ 。

(3) 计数以8为基数。

例如

$$\begin{aligned}(123)_8 &= 1 \times 8^2 + 2 \times 8^1 + 3 \times 8^0 \\ &= (83)_{10}\end{aligned}$$

$(123)_8$ 也可以写成 $(123)_O$ 。

4. 十六进制数

(1) 采用16个计数符号: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E, F。