



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



数字电子技术基础

哈尔滨工业大学电子学教研室 编

主 编 杨春玲 王淑娟

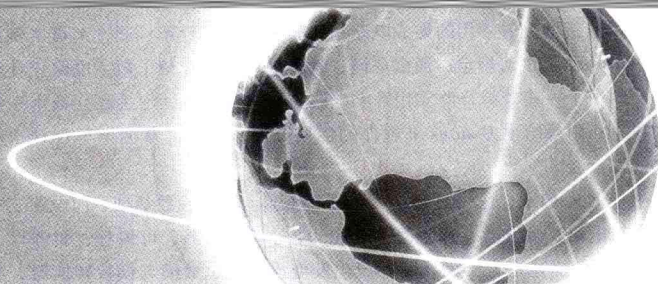
副主编 刘贵栋 齐 明 吕 超



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一五”国家级规划教材



数字电子技术基础

Shuzi Dianzi Jishu Jichu

哈尔滨工业大学电子学教研室 编

主 编 杨春玲 王淑娟

副主编 刘贵栋 齐 明 吕 超



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会制定的“数字电子技术基础”课程教学基本要求编写。在保证基础的前提下,注重电子技术实践性,并引入电子设计自动化知识;淡化内部结构,重点介绍器件的外部特性和使用方法;编码器、译码器、数模与模数转换器等多处内容与单片机紧密结合;在各章节新增目前常用的集成电路引脚及外围电路介绍;通过大量实例讲解 Verilog 语言语法规则,通俗易懂;教材最后一章介绍了数字电路设计流程,给出了一些较综合的实用数字电路实例,可以帮助学生建立数字系统的概念;附录给出 Quartus II 软件的使用方法,可全面掌握电子设计自动化知识。

全书共 13 章,分别是绪论、数制和码制、逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、Verilog 硬件描述语言实例、脉冲产生及变换电路、数模与模数转换器、实用数字电路设计。

本书可与哈尔滨工业大学王淑娟教授等主编的《模拟电子技术基础》(普通高等教育“十一五”国家级规划教材)配套使用,作为高等院校电气信息类、机电类、仪器仪表类各专业数字电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/杨春玲,王淑娟主编;哈尔滨工业大学电子学教研室编. —北京:高等教育出版社,2011.6

ISBN 978-7-04-032609-3

I. ①数… II. ①杨…②王…③哈… 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(2011)第 123941 号

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街 4 号
邮政编码 100120
印 刷 北京市白帆印务有限公司
开 本 787×960 1/16
印 张 28.25
字 数 530 000
购书热线 010-58581118

咨询电话 400-810-0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2011 年 6 月第 1 版
印 次 2011 年 6 月第 1 次印刷
定 价 40.90 元

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 32609-00

前 言

《数字电子技术基础》是根据教育部“数字电子技术基础”课程教学基本要求编写而成的普通高等教育“十一五”国家级规划教材。

编者在总结哈尔滨工业大学“电子技术基础”国家级精品课程教学改革和课程建设经验的基础上,根据学科发展趋势,对教学内容进行了优化、整合和更新,突出了新器件、新技术的应用。教材内容主要包括:绪论、数制和码制、逻辑代数基础、门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、半导体存储器、可编程逻辑器件、Verilog 硬件描述语言实例、脉冲产生及变换电路、数模与模数转换器和实用数字电路设计。该教材具体特点如下:

1. 体系完整,特色鲜明。教材淡化了内部电路的分析和计算,重点介绍器件的外部特性及其应用;每章内容以问题的形式在引言中提出,引导学生进行探究式学习,培养学生自主学习能力和创新思维能力;每章小结对引言中的问题给予了较精炼的解答。

2. 注重基础性。全书对基本概念、基本原理和基本分析方法的阐述清晰透彻、深入浅出。内容编排遵循由简单到复杂、循序渐进的原则,遵循“先器件后电路、先基础后应用”的规律。教材层次分明、重点突出,使学生能够对基础知识牢固掌握、灵活运用。

3. 突出工程性和实践性。新增总线缓冲器、D 锁存器及其在数据总线中的应用;新增无源晶体和有源晶振及其应用电路;新增数字电路常见问题的解决方法,例如门电路多余端的处理、门电路的电源去耦、自动复位电路及开关去抖电路等。

4. 突出先进性。精简和优化了经典的数字电子技术知识,增加了现代数字电子技术知识的比重,使教材反映学科发展的前沿技术和最新研究成果。通过绪论的电子设计自动化(EDA)技术及硬件描述语言 HDL 简介、第 9 章可编程逻辑器件、第 10 章 Verilog 硬件描述语言实例及附录中可编程逻辑器件编程软件 Quartus II 的学习,学生可全面地掌握电子设计自动化的设计方法;新增常用半导体存储器 EEPROM 2864A、Flash Memory 29LV020、SRAM 61LV25616 及其应用;新增双口随机存储器 DPRAM、先进先出存储器 FIFO 和铁电存储器 FRAM 介绍;新增流水线型 A/D 转换器 AD9224 及其应用。

5. 教材最后一章为实用数字电路设计。首先介绍数字电路的设计流程,然

后结合数字电路实例(数字温度计、数字频率计和数字电容测试仪)阐述数字电路设计过程,其中包括电路设计、仿真分析、印制电路板制作、电路调试、实验数据测试等。将各章内容部分体现在几个能完成某种功能的电路中,提高学生的系统意识和工程意识。

6. 教材各章均安排了适量的例题、自我检测和习题,帮助学生理解数字电子技术重点难点问题。例题、自我检测和习题难度层次分明、题型多样、内容丰富、联系实际,具有启发性、灵活性和实践性。第13章习题选择了一些开放性题目,没有标准答案,可作为学生课程论文命题,激发学生的创造性思维。

本书适于作为高等院校电气信息类、机电类、仪器仪表类专业数字电子技术基础课程的教材,也可作为工程技术人员的参考书。

本书由浙江大学王小海教授审阅。他仔细地阅读了书稿,指出了错误和不妥之处,并提出了详细的修改意见。在此对王小海教授的帮助和支持致以衷心的感谢!参加本书编写工作的有杨春玲、王淑娟、蔡惟铮、刘贵栋、齐明、吕超、陶隽源、王立欣、于泳、杨荣峰、朱敏、徐乐和刘英。全书由杨春玲和王淑娟任主编,刘贵栋、齐明和吕超任副主编。全书在蔡惟铮教授指导下完成。

教材编写力求条理清晰,语言准确,文字简洁,图表规范。由于我们的能力和水平有限,书中定有不妥之处,恳请读者给予批评指正。编者 E-mail: yangcll@hit.edu.cn。

编者于哈尔滨工业大学

2011年5月

本书中的文字符号及其说明

一、电压符号

u_i	输入电平
U_{IH}	输入高电平
U_{IL}	输入低电平
U_{IHMIN}	输入高电平最小值
U_{ILMAX}	输入低电平最大值

u_o	输出电平
U_{OH}	输出高电平
U_{OL}	输出低电平
U_{OHMIN}	输出高电平最小值
U_{OLMAX}	输出低电平最大值

U_T	阈值电压
U_{off}	关门电平
U_{on}	开门电平
U_{NH}	高电平噪声容限
U_{NL}	低电平噪声容限
V_{CC}	电源电压
V_{DD}	电源正极
V_{SS}	地
U_{CES}	晶体管的饱和压降
U_{GS}	MOS 管栅源电压

二、电流符号

i_i	输入电流
I_{IL}	低电平输入电流
I_{IH}	高电平输入电流
I_{ILMAX}	输入低电平电流最大值
I_{IHMAX}	输入高电平电流最大值

i_o	输出电流
I_{OL}	低电平输出电流
I_{OH}	高电平输出电流
I_{OHMAX}	输出高电平电流的最大值
I_{OLMAX}	输出低电平电流的最大值

I_{CCL}	输出低电平电源电流
I_{CCH}	输出高电平电源电流

I_{CS}	临界饱和集电极电流
I_{BS}	临界饱和基极电流
I_B	基极电流
I_S	输入短路电流
I_R	反向漏电流

三、脉冲参数符号

t_{PHL}	输出电压从高电平变化到低电平相对于输入电压变化的延迟时间
t_{PLH}	输出电压从低电平变化到高电平相对于输入电压变化的延迟时间
t_{pd}	平均延迟时间
t_{set}	建立时间
t_h	保持时间
f_{CPMAX}	最高时钟频率

四、功率符号

P_D	静态功耗
-------	------

五、电阻、电容符号

R_{off}	关门电阻
R_{on}	开门电阻
R_p	上拉电阻
R_L	负载电阻
R_{DS}	MOS 管导通时的沟道电阻

六、器件及参数符号

BJT	双极晶体管
MOS	单极晶体管
PMOS	P 型 MOS
NMOS	N 型 MOS
CMOS	互补对称式 MOS
VD	二极管
VT	多发射极晶体管
R	电阻
MUX	数据选择器
TSG	三态门
N_o	扇出系数

七、其他符号

$\overline{OE}$	使能信号
DIR	方向控制端
$\times$ 或 Φ	约束项
$\bar{R}_d$	复位端
$\bar{S}_d$	置位端

$Q(t_n)$ 或 Q^n	原状态或现态
$Q(t_{n+1})$ 或 Q^{n+1}	新状态或次态
RCO	进位信号
$\overline{CR}$	清零信号

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

策划编辑 韩颖

责任编辑 曲文利

封面设计 于涛

版式设计 马敬茹

插图绘制 尹莉

责任校对 刘莉

责任印制 张福涛

目 录

第1章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 数字电路及其常用芯片	1
1.3 电子设计自动化技术简介	3
1.4 数字电子技术基础课程	5
1.4.1 课程内容	5
1.4.2 课程学习方法	6
第2章 数制和码制	8
2.1 引言	8
2.2 几种常用的数制	8
2.3 不同数制间的相互转换	10
2.3.1 十进制与其他进制间的相互转换	10
2.3.2 二进制与十六进制间的转换	12
2.3.3 二进制与八进制间的转换	13
2.4 二进制数的算术运算	13
2.4.1 二进制数的基本运算	13
2.4.2 二进制数的原码、补码和反码	14
2.4.3 带符号二进制数的算术运算	15
2.5 几种常用的编码	18
本章小结	21
自我检测	22
习题	23
第3章 逻辑代数基础	24
3.1 引言	24
3.2 逻辑运算	24
3.2.1 基本逻辑运算	24
3.2.2 组合逻辑运算	26
3.2.3 逻辑运算定律	28
3.3 逻辑代数的基本定理和基本规则	28

3.3.1 基本定理	28
3.3.2 基本规则	30
3.4 逻辑函数的代数化简法	31
3.5 逻辑函数的卡诺图化简法	33
3.5.1 最小项与最大项	33
3.5.2 用卡诺图表示逻辑函数	35
3.5.3 卡诺图化简法	37
3.6 具有无关项的逻辑函数的化简	40
本章小结	41
自我检测	41
习题	46
第4章 门电路	49
4.1 引言	49
4.2 半导体二极管门电路	49
4.3 TTL 门电路	51
4.3.1 双极晶体管的开关特性	52
4.3.2 标准 TTL 与非门	53
4.3.3 其他系列 TTL 门	62
4.3.4 TTL 集电极开路门	64
4.3.5 TTL 三态门	67
4.4 CMOS 门电路	70
4.4.1 MOS 管的开关电路	70
4.4.2 CMOS 反相器	70
4.4.3 CMOS 与非门和或非门	72
4.4.4 CMOS 传输门	75
4.4.5 CMOS 门电路的参数	77
4.4.6 CMOS 门电路与 TTL 门电路的比较	79
4.5 若干常用集成门电路	80
*4.6 ECL 门电路	84
本章小结	86
自我检测	87
习题	89
第5章 组合逻辑电路	93
5.1 引言	93
5.2 组合逻辑电路的特点和功能描述	93

5.3 组合逻辑电路的分析与设计	94
5.3.1 组合逻辑电路的分析	94
5.3.2 逻辑函数的变换	98
5.3.3 组合逻辑电路的设计	100
5.4 加法器	104
5.4.1 1 位二进制加法电路	105
5.4.2 集成 4 位加法器	108
5.5 编码器	110
5.5.1 二进制编码器	111
5.5.2 优先编码器	113
5.5.3 集成优先编码器	114
5.6 译码器	117
5.6.1 二进制译码器	117
5.6.2 代码转换译码器	123
5.6.3 显示译码器	126
5.7 数据选择器	134
5.7.1 数据选择器	134
5.7.2 数据选择器的应用	138
5.8 数码比较器	141
5.8.1 比较单元电路	141
5.8.2 4 位二进制码比较器	142
5.8.3 数码比较器的应用	144
5.9 竞争与冒险	144
5.9.1 基本概念	145
5.9.2 竞争冒险的判别	145
5.9.3 竞争冒险的消除	147
本章小结	147
自我检测	148
习题	154
第 6 章 触发器	158
6.1 引言	158
6.2 基本 RS 触发器	158
6.2.1 与非门构成的基本 RS 触发器	158
6.2.2 或非门构成的基本 RS 触发器	161
6.3 时钟触发器	162

6.3.1 时钟 RS 触发器	162
6.3.2 D 触发器	164
6.3.3 JK 触发器	166
6.3.4 T 触发器	168
6.3.5 T' 触发器	169
6.3.6 不同功能触发器的转换	169
6.3.7 触发器的动态特性	171
6.4 集成 D 锁存器	172
本章小结	174
自我检测	174
习题	178
第 7 章 时序逻辑电路	182
7.1 引言	182
7.2 时序逻辑电路的特点和功能描述	182
7.3 时序逻辑电路的分析	183
7.3.1 同步时序逻辑电路的分析	183
7.3.2 异步时序逻辑电路的分析	188
7.4 同步时序逻辑电路的设计	191
7.5 寄存器	194
7.5.1 数码寄存器	194
7.5.2 移位寄存器	195
7.6 计数器	200
7.6.1 集成同步加法计数器	200
7.6.2 集成异步加法计数器	207
7.6.3 集成加/减计数器	211
7.6.4 移位寄存器型计数器	216
7.7 顺序脉冲发生器	222
7.8 序列脉冲发生器	223
本章小结	226
自我检测	227
习题	231
第 8 章 半导体存储器	237
8.1 引言	237
8.2 存储器的概念	237
8.3 只读存储器 ROM	240

8.3.1 ROM 的结构与工作原理	240
8.3.2 ROM 的分类	243
8.3.3 ROM 芯片	246
8.3.4 ROM 的应用	249
8.4 随机存储器 RAM	252
8.4.1 RAM 的基本结构	252
8.4.2 RAM 的基本存储单元	252
8.4.3 RAM 芯片	254
8.4.4 部分特殊 RAM	256
8.5 半导体存储器容量的扩展	259
本章小结	260
自我检测	262
习题	263
第 9 章 可编程逻辑器件	265
9.1 引言	265
9.2 可编程逻辑器件的发展	265
9.3 可编程逻辑器件的结构	267
9.4 用可编程逻辑器件实现基本逻辑电路	273
9.4.1 传统的电子设计与可编程逻辑器件设计比较	273
9.4.2 可编程逻辑器件开发环境及设计实例	276
*9.5 Altera 公司可编程逻辑器件的编程和配置	280
9.5.1 CPLD 的在线编程	281
9.5.2 FPGA 的配置	281
本章小结	285
自我检测	285
习题	286
第 10 章 Verilog 硬件描述语言实例	287
10.1 引言	287
10.2 2 选 1 数据选择器	287
10.2.1 2 选 1 数据选择器实例 1	288
10.2.2 2 选 1 数据选择器实例 2	290
10.2.3 2 选 1 数据选择器实例 3	291
10.2.4 2 选 1 数据选择器实例 4	293
10.3 4 选 1 数据选择器	294
10.3.1 4 选 1 数据选择器实例 1	294

10.3.2 4 选 1 数据选择器实例 2	298
10.4 4 位加法器	302
10.5 七段数码管显示译码器	305
10.6 D 触发器	307
10.7 计数器	311
10.7.1 4 位二进制加法计数器	311
10.7.2 同步置数、同步清零加法计数器	312
10.7.3 异步清零计数器	314
10.7.4 扭环型计数器	315
10.8 状态机	317
10.8.1 Moore 型状态机	318
10.8.2 Mealy 型状态机	321
*10.8.3 用状态机设计一个自动售货机	325
本章小结	330
自我检测	330
习题	331
第 11 章 脉冲产生及变换电路	335
11.1 引言	335
11.2 矩形脉冲的主要参数	335
11.3 施密特触发器	336
11.3.1 用门电路构成的施密特触发器	336
11.3.2 施密特触发器的应用	338
11.3.3 集成施密特触发器	340
11.4 集成单稳态触发器	342
11.4.1 集成单稳态触发器的逻辑功能	343
11.4.2 集成单稳态触发器的应用	345
11.5 多谐振荡器	345
11.5.1 用施密特触发器构成的多谐振荡器	346
11.5.2 石英晶体振荡器	347
11.6 555 定时器及其应用	350
11.6.1 555 定时器	350
11.6.2 用 555 定时器构成的单稳态触发器	352
11.6.3 用 555 定时器构成的多谐振荡器	356
11.6.4 用 555 定时器构成的施密特触发器	359
11.6.5 用 555 定时器构成的压控振荡器	360

本章小结	361
自我检测	362
习题	365
第 12 章 数模与模数转换器	368
12.1 引言	368
12.2 数模与模数转换器的基本概念	368
12.3 D/A 转换器	369
12.3.1 倒 T 形电阻解码网络的 D/A 转换器	369
12.3.2 集成 D/A 转换器 AD7524	372
12.3.3 D/A 转换器的转换精度与转换速率	373
12.3.4 由计数器驱动 D/A 转换器的 Multisim 仿真	375
12.4 A/D 转换器	375
12.4.1 A/D 转换的基本原理	375
12.4.2 并行比较型 A/D 转换器	378
12.4.3 逐次逼近型 A/D 转换器	380
12.4.4 双积分型 A/D 转换器	383
12.4.5 流水线型 A/D 转换器	387
12.4.6 A/D 转换器的 Multisim 仿真	391
12.5 多路模拟开关	393
12.5.1 模拟开关的功能及电路组成	393
12.5.2 模拟开关的各种工作模式	394
*12.6 多路数据采集系统简介	395
本章小结	396
自我检测	397
习题	398
第 13 章 实用数字电路设计	402
13.1 引言	402
13.2 数字电路设计流程	402
13.3 若干常用数字电路	404
13.3.1 自动复位电路	404
13.3.2 开关去抖电路	405
13.3.3 光电耦合电路	407
13.4 数字温度计	408
13.5 数字频率计	409
13.6 数字电容测试仪	412

本章小结	415
习题	415
附录一 Quartus II 软件的使用方法	416
附录二 DE2 实验板主要引脚连线对应表	429
中英文名词对照表	432
参考文献	435

第 1 章 绪 论

1.1 引 言

电子技术是研究电子器件和电子电路工作原理及其应用的一门科学技术。电子产品已进入到了人们日常生活的方方面面。电子产品可能由模拟电路构成,也可能由数字电路构成,还有可能由模数混合电路构成。本章首先介绍数字电路及其常用芯片,然后介绍电子设计自动化技术,最后阐述数字电子技术基础课程内容和学习方法。本章主要讨论如下问题:

- (1) 数字电路有哪些特点?
- (2) 数字电路常用芯片如何分类?
- (3) 常用的硬件描述语言有哪些? 其各具有什么特点?
- (4) 如何学习数字电子技术基础课程?

1.2 数字电路及其常用芯片

电子电路中的信号分为模拟信号与数字信号。模拟信号是指随时间连续变化的信号。数字信号是指随时间断续变化的信号。一般来说,数字信号在两个稳定状态之间阶跃式变化,通常用 0 和 1 表示,或用电压的“高”和“低”来表示。模拟信号和数字信号之间可以相互转换。

处理模拟信号的电子电路称为模拟电路,处理数字信号的电子电路称为数字电路(也称逻辑电路)。目前已能在一个芯片上集成数以亿计的晶体管。CPU 正以单个芯片上集成的晶体管数量每一年半或两年翻一番的惊人速度发展。与模拟电路相比,数字电路具有如下特点:

(1) 在数字电路中晶体管工作在开关状态(饱和区或截止区),电路的抗干扰能力强,可靠性高。而在模拟电路中晶体管工作在放大区,其输出易受温度、电源电压、元件老化等因素的影响。

(2) 数字电路易于设计。数字电路设计是逻辑设计,对设计人员的数学基