



普通高等教育“十五”国家级规划教材

数字电子技术基础

(第五版)

清华大学电子学教研组 编
阎石 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十五”国家级规划教材

数字电子技术基础

(第五版)

清华大学电子学教研组 编
阎石 主编

高等教育出版社

内容简介

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材。本书以前各版曾分别获得北京市教育教學成果一等奖、国家教委优秀教材一等奖、国家级优秀教材奖。

新版教材是在基本保持第四版教材内容、理论体系和风格的基础上,按照教育部2004年修订的“数字电子技术基础课程教学基本要求”修订而成的。本次修订除改写了部分章节外,还增加了硬件描述语言和EDA软件应用的基础知识。此外,还在多数小节后面增设了复习思考题。为了便于教学,也为了便于读者今后阅读外文教材和使用外文版的EDA软件,书中采用了目前国际上流行的图形逻辑符号。

全书主要内容有: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、硬件描述语言、脉冲波形的产生和整形、数-模和模-数转换等共11章。

本书可作为电气信息类、仪器仪表类各专业的教科书,也可供其他相关理工科专业选用以及社会读者阅读。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础 / 阎石主编;清华大学电子学教研组编. - 5版. - 北京:高等教育出版社,2006.5

ISBN 7-04-019383-3

I. 数... II. ①阎... ②清... 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(2006)第043267号

策划编辑 韩颖 责任编辑 李葛平 封面设计 于涛 责任绘图 尹莉
版式设计 王艳红 责任校对 杨凤玲 责任印制 陈伟光

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街4号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京民族印刷厂		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
		版 次	1983年4月第1版
开 本	787×960 1/16		2006年5月第5版
印 张	38.5	印 次	2006年5月第1次印刷
字 数	720 000	定 价	39.00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 19383-00



● 阎 石

作者简介

清华大学教授、全国高等学校电子技术研究会理事长。1937年生人，1958年毕业于清华大学自动控制系，其后一直在清华大学从事电子技术的教学与科研工作。曾任国家教委工科本科基础课程教学指导委员会第一、二届委员，华北地区高等学校电子技术教学研究会理事长。1989年与童诗白教授等一起获得普通高等学校优秀教学成果国家级特等奖。主编的《数字电子技术基础》第二版获国家教委优秀教材一等奖，第三版获国家优秀教材奖，第四版获北京市教育教学成果一等奖。

主要著译有：

《数字电子技术基础》第一、二、三、四版，高等教育出版社分别于1981年、1984年、1989年、1998年出版；
《电子技术基础学习指导》，辽宁科技出版社，1985年出版；
《数字电子电路》，中央电大出版社，1993年出版；
《数字电子技术基础（第四版）教师手册》，高等教育出版社，2003年出版；
《帮你学数字电子技术基础》，高等教育出版社，2004年出版。

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给予严厉打击。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) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

第一版前言

这套教材是参照高等学校工科基础课电工、无线电类教材会议在 1977 年 11 月制定的“电子技术基础”(自动化类)编写大纲和各兄弟院校后来对该大纲提出的修改意见编写的,以《模拟电子技术基础》和《数字电子技术基础》两书出版。本书是其数字电子技术基础部分。全书共有九章,分为上、下两册。上册包括门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路及脉冲波形的产生和整形等五章。这是数字电路的基本部分。下册包括金属-氧化物-半导体集成电路、数模和模数转换、数字电路中的若干实际问题以及综合读图练习等四章,作为选讲部分。在安排教学内容时,可以视具体要求和学时的多少,作必要的增删。

在处理不断出现的新器件和基本内容的矛盾时,我们采取的措施是:以小规模和中规模集成电路为主来组织内容,并适当介绍大规模集成电路;而在基本数字脉冲单元方面,则仍以分立元件为主。

考虑到目前的数字电子技术课程多半安排在模拟电子技术课程之后,所以在用到模拟电路中的有关内容时,就直接作为结论加以引用了。

本书是由清华大学电子学教研组的同志们集体编写的,其中第一章由金国芬、阎石执笔,第二章由余孟尝执笔,第三章由赵佩芹执笔,第四、六章由许道荣执笔,第五章由李大义执笔,第七章由周明德执笔,第八章由吴年予执笔,第九章由赵佩芹、张乃国执笔,阎石同志担任主编。全部编写工作都是在教研组主任童诗白教授亲自组织与具体指导下完成的。

在本教材的整理和定稿过程中,承许多兄弟院校的老师对征求意见稿提出宝贵意见。审稿会上,在主审单位西安交通大学沈尚贤教授的主持下,华中工学院、南京工学院、浙江大学、山东工学院、昆明工学院、东北工学院、合肥工业大学、贵州工学院、上海交通大学、天津大学、华北电力学院、哈尔滨工业大学、吉林工业大学、大连工学院、重庆大学、湖南大学、太原工学院、华南工学院、同济大学、成都科技大学等兄弟院校的老师仔细阅读了原稿,指出许多错误和欠妥之处。在评审和复审过程中,又经沈尚贤教授和西安交通大学电子学教研室胡瑞雯、林雪亮、古新生等同志写出详细的修改意见,在此谨致以诚挚的谢意。

由于我们对先进的数字电子技术了解不够,本教材又缺乏一定的教学实践,

II 第一版前言

虽然已经根据兄弟院校老师们的意见对征求意见稿作了修改,但必然还存在不少缺点和错误,殷切期望各方面的读者能给予批评和指正。

编者

1981年1月

第二版说明

本书原分上、下两册出版。考虑到教学上的方便,同时考虑到第八章(电子电路中元器件的选择和抗干扰问题)和第九章(数字电路应用举例)的内容不在教学大纲的要求之内,因此决定将第一至第七章及附录合印成一册出版。

编者

1984年9月

第三版序

自《数字电子技术基础》(第一版)出版至今,已经过去七年了。由于电子技术及其应用又有了很大的发展,同时国家教育委员会主持制定了电子技术基础课程的教学基本要求,因而对原书进行全面的修订就势在必行了。

修订工作主要是针对以下几个方面进行的:

从内容上,进一步削减了分立元件电路和讲述集成电路内部结构及其详细工作过程的内容,增强了CMOS电路和中、大规模集成电路应用的比重。同时,还适当介绍了一些近年来迅速发展起来的新型器件和电路,如高速CMOS电路、半定制集成电路等。

鉴于原书中各章的习题与内容配合得不够紧密,而且新版教材的内容又改动很大,所以这次更换了绝大部分的习题。另外,为便于读者自行检查学习效果,每章除思考题与习题之外还增加了自我检验题,并在全书的最后给出了这些题目的答案。自我检验题所涉及的内容都是各章的基本概念、基本原理和基本的分析、设计方法。

从体系上,在基本沿用原书体系的基础上,作了一些局部调整。首先调换了第一、二章的先后次序。因为门电路一章的分量比较重,概念和难点比较集中,而逻辑代数基础的内容很容易为学生所接受,所以将两章的次序对调符合由浅入深的原则。其次,把原来的第四章分成了触发器和时序逻辑电路两章,这样既解决了原来第四章篇幅过大的问题,同时又不影响教材体系的系统性和完整性。再次,考虑到大规模集成电路往往是既包含组合逻辑电路又包含时序逻辑电路的数字系统,所以把大规模集成电路的内容也单独列成了一章。这样,就形成了新版教材的九章体系。

从要求上,正文部分基本上按基本要求编写,略有超出。一部分虽属比较重要但已超出基本要求的内容写在每章的附录中。这些内容既可供那些学时较多、要求较高的院校作为课堂讲授的选讲内容,又可供学生作为自学的阅读材料。

本书是与童诗白主编的《模拟电子技术基础》(第二版)配套的教材,同时又有相对的独立性。如果将这两本教材配合使用,那么既可以先讲模拟部分、后讲数字部分,也可以先讲数字部分、后讲模拟部分。在先讲数字电路时,只要预先讲过《模拟电子技术基础》(第二版)的第一章即可转入本书的讲授。为了使两

II 第三版序

学期的学时平衡,可将第八章 A/D、D/A 转换的内容移到第二学期的模拟部分之后再讲。

第三版的修订工作全部由阎石完成。修订工作得到了童诗白教授的悉心指导。

西安交通大学沈尚贤教授、张庆男副教授、古新生副教授和林雪亮副教授在百忙中仔细地审阅了全部书稿并提出了许多宝贵的意见。多年来,我们的教材工作得到了沈尚贤教授和西安交通大学电子学教研室各位老师的热情关怀和大力支持,在本书出版之际,谨向他们致以最诚挚的谢意。

许多兄弟院校的师生为本书的修订工作提出过积极的建议和殷切的期望。在收集资料的过程中,得到了上海元件五厂、国营七四九厂、北京半导体器件三厂、上海无线电十四厂、国营四四三五厂有关同志的热情支持,在此一并向他们表示感谢。

新版教材中一定还有不少缺点和不足之处,恳请各界读者给予批评指正。

编者

1988年5月

第四版前言

本书是在《数字电子技术基础》第三版的基础上,按照国家教育委员会高等工业学校电子技术课程教学指导小组于1993年修订的“电子技术基础课程教学基本要求”重新修订而成的。

自《数字电子技术基础》第三版发行以来,数字电子技术的研究和应用又取得了新的进展,其中尤以可编程逻辑器件的广泛应用令世人瞩目。由于可编程逻辑器件等新型器件仍然是制作在硅片上的半导体器件,所以过去用于分析半导体器件工作原理的理论基础对这些新器件也仍然适用。同时,原书中讲授的基本逻辑单元的工作原理以及组合逻辑电路和时序逻辑电路的基本概念、分析方法、设计方法也是使用这些新器件时必须具备的理论基础。

鉴于上述情况,第四版教材在基本保持原书理论体系的基础上,以较大篇幅增补了可编程逻辑器件的内容,单独写成为第八章。将原来的第七章“大规模集成电路”改成“半导体存储器”,仅限于讨论半导体存储器的有关内容。另外,还补充了压控振荡器、快闪存储器等内容,并对自我检测题、思考题和习题作了修改和补充。关于可编程逻辑器件开发工具及其应用的内容准备安排到实验课中结合实际操作讲解,故未在新版教材中作具体介绍。

考虑到许多院校在安排教学计划时都有先上数字电路、后上模拟电路的要求,这次修订时适当增加了半导体二极管、三极管和理想运算放大器基本知识的内容,这样无论是否已经学过模拟电子技术基础,都可以选用这本书作为数字电子技术基础课程的教材。

目录中注有“*”号的部分是建议作为选讲的内容。在学时较少或要求不高的情况下,建议首先删减这些内容。删去这些内容不会影响理论体系的完整性和内容的连贯性。

此次修订工作全部由阎石教授完成。北京工业大学陆培新教授不辞辛苦地认真审阅了全部书稿,并提出了许多宝贵意见。从本书初版的编写到历次的修订,一直得到童诗白教授的热情支持和悉心指导。作者谨向他们表示衷心的感谢。借此机会也向所有关心、支持和帮助过本书编写、修改、出版、发行工作的同志们致以诚挚的谢意。

修订后的教材中一定还有许多不完善之处,殷切地期望读者给予批评和指正。

编者

1997年12月

第五版前言

本书第四版出版以来的8年间,数字电子技术的应用一直在继续向着广度和深度扩展。时至今日,“数字化”的浪潮几乎席卷了电子技术应用的一切领域。由于电子产品的更新周期日益缩短,新产品开发速度日益加快,因而对电子设计自动化(EDA)提出了更高的要求,也有力地促进了EDA技术的发展和普及。在数字集成电路方面,尽管电路的集成度仍然如摩尔定律(Moore's Law)所预言的那样,以每1~2年翻一番的速度增长,使电路的复杂程度越来越高、规模越来越大,但是它仍然没有走出“硅片”的范畴。因此,本门课程所讲的基本知识、基本理论和基本方法也没有发生根本性的改变。而在基本技能方面,则对使用EDA工具的能力提出了更高的要求。

2004年秋天在“教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”的主持下,重新修订了“数字电子技术基础课程教学基本要求”。基本要求再次强调了本门课程的性质是“电子技术方面入门性质的技术基础课”,其任务在于“使学生获得数字电子技术方面的基本知识、基本理论和基本技能,为深入学习数字电子技术及其在专业中的应用打下基础”。

根据数字电子技术本身的发展状况和修订后的基本要求,在基本保持本书第四版原有内容、体系和风格的基础上,主要做了以下几方面的修改和补充:

一、将原来第一章“逻辑代数基础”中数制和编码的内容分离出来,单独编为第一章“数制和码制”,并补充了有关二进制补码运算原理的内容。

二、重新改写了第三章“门电路”和第五章“触发器”。在“门电路”一章里,将CMOS电路放在了更主要的位置。在“触发器”一章中,改为按触发方式将触发器分类讲授,更加强调外部特性而淡化内部的具体电路结构。

三、根据修订的基本要求,增加了第九章“硬件描述语言”,初步介绍了有关硬件描述语言的基本知识。同时,还在有些章节中增加了使用Multisim 7分析和仿真数字逻辑电路的简单内容。这里只是希望给读者一些初步的概念,因为真正掌握这两部分内容还必须通过后续课程的学习和实践应用才能达到。

四、在多数小节的末尾增加了复习思考题。删去了第四版中每章后面的自我检测题以及一些非基本的内容(如动态移位寄存器、非精密的压控振荡器、串行输入的D/A转换器、串行输出的A/D转换器等)。

五、采用了国际上流行的图形逻辑符号。其中基本运算和复合运算的符号

II 第五版前言

采用了特定外形的图形符号。这种特定外形的图形符号已经补充到 1991 年修订的 IEEE/ANSI (The Institute of Electrical and Electronics Engineers/American National Standards Institute, 电气与电子工程师协会/美国国家标准化组织) 标准中, 而且与 IEC (The International Electrotechnical Commission, 国际电工协会) 的标准是兼容的。我国现行的图形逻辑符号国家标准 (GB4728. 12—85) 是参照修订前的 IEEE 和 IEC 标准制定的, 尚未见做相应的修改。为便于教学, 中、大规模集成电路的图形符号仍旧采用国外教材、技术资料 and EDA 软件中普遍使用的习惯画法, 即示意性框图画法。

目录中注有“*”号的部分是建议作为选讲的内容。略去这些内容不影响理论体系的完整性和内容的连贯性。

在本次的修订工作中, 王红执笔编写了第九章和第六章的 6.6 节、第十章的 10.6 节, 其余章节的修改和编写工作全部由阎石完成。北京工业大学陆培新教授不辞辛劳地认真审阅了全部书稿, 并提出了不少宝贵意见。许多教师和同学也热情地为本次修订工作提出了很好的意见和建议。作者谨向他们致以诚挚的谢意。

从本书初版的编写到历次的修订都得到了我的老师童诗白教授的悉心指导。如今童诗白教授已经离开了我们, 作者以深切的怀念和感激之情铭记着老师的教诲, 愿继续努力做好教材的编写和修订工作, 以谢师恩。

修订后的第五版教材一定还会有许多不尽如人意之处, 恳请读者批评指正。

阎 石

2005 年岁末

本书中的文字符号及其说明

一、电压符号

- v_i 输入电平(相对于电路公共参考点的电压)
- V_{IH} 输入高电平
- V_{IL} 输入低电平
- v_o 输出电平(相对于电路公共参考点的电压)
- V_{OH} 输出高电平
- V_{OL} 输出低电平
- V_T 温度电压当量
- V_{CC} 电源电压(一般用于双极型半导体器件)
- $V_{CE(sat)}$ 三极管集电极与发射极间的饱和导通压降(一般用于双极型三极管)
- V_{DD} 电源电压(一般用于 MOS 器件)
- v_{BE} 三极管基极相对于发射极的电压
- v_{CE} 三极管集电极相对于发射极的电压
- v_{DS} MOS 管漏极相对于源极的电压
- v_{GS} MOS 管栅极相对于源极的电压
- V_{NA} 脉冲噪声电压幅值
- V_{NH} 输入高电平噪声容限
- V_{NL} 输入低电平噪声容限
- V_{TH} 门电路的阈值电压
- V_{T+} 施密特触发特性的正向阈值电压
- V_{T-} 施密特触发特性的负向阈值电压
- $V_{GS(th)N}$ N 沟道 MOS 管的开启电压
- $V_{GS(th)P}$ P 沟道 MOS 管的开启电压
- V_{REF} 参考电压(或基准电压)

二、电流符号

- $i_B(I_B)$ 基极电流瞬时值(直流流量)
- I_{BS} 饱和基极电流

II 本书中的文字符号及其说明

$i_c(I_c)$ 集电极电流瞬时值(直流量)

$i_D(I_D)$ 漏极电流瞬时值(直流量)

i_1 输入电流

I_{IH} 高电平输入电流

I_{IL} 低电平输入电流

$i_L(I_L)$ 负载电流瞬时值(直流量)

i_o 输出电流

I_{OH} 高电平输出电流

I_{OL} 低电平输出电流

I_{CC} 电源(V_{CC})平均电流

I_{CCH} 输出为高电平时的电源电流

I_{CCL} 输出为低电平时的电源电流

I_{DD} 电源(V_{DD})平均电流

三、功率符号

P_C CMOS 电路中负载电容充、放电功耗

P_D CMOS 电路的动态功耗

P_S CMOS 电路的静态功耗

P_T CMOS 电路的瞬时导通功耗

P_{TOT} CMOS 电路的总功耗

四、脉冲参数符号

f 周期性脉冲的重复频率

q 占空比

t_f 下降时间

t_h 保持时间

t_r 上升时间

t_{re} 恢复时间

t_{set} 建立时间

t_w 脉冲宽度

V_m 脉冲幅度

五、电阻、电容符号

C_{GD} MOS 管栅极与漏极间的电容

C_{GS} MOS 管栅极与源极间的电容

C_h 保持电容

C_1 输入电容

- C_L 负载电容
- $R_{CE(sat)}$ 三极管集电极与发射极间的饱和导通电阻(一般用于双极型三极管)
- R_I 输入电阻
- R_L 负载电阻
- R_O 输出电阻
- R_{OFF} 器件截止时的内阻
- R_{ON} 器件导通时的内阻
- R_U 上拉电阻

六、器件及参数符号

- A 放大器
- A_v 放大器的电压放大倍数
- C_{pd} CMOS 电路的功耗电容
- D 二极管
- FF 触发器
- G 门
- S 开关
- T 三极管
- T_N N 沟道 MOS 管
- T_P P 沟道 MOS 管
- TG 传输门
- t_{pd} 平均传输延迟时间
- t_{PHL} 输出由高电平变为低电平时的传输延迟时间
- t_{PLH} 输出由低电平变为高电平时的传输延迟时间

七、其他符号

- B 二进制
- CLK 时钟
- D 十进制
- EN 允许(使能)
- GND 接地端
- H 十六进制
- OE 输出允许(使能)
- Σ 求和

目 录

第一章 数制和码制	1
1.1 概述	1
1.2 几种常用的数制	2
1.3 不同数制间的转换	5
1.4 二进制算数运算	8
1.4.1 二进制算数运算的特点	8
1.4.2 反码、补码和补码运算	9
1.5 几种常用的编码	12
本章小结	17
习题	17
第二章 逻辑代数基础	19
2.1 概述	19
2.2 逻辑代数中的三种基本运算	20
2.3 逻辑代数的基本公式和常用公式	24
2.3.1 基本公式	24
2.3.2 若干常用公式	25
2.4 逻辑代数的基本定理	27
2.4.1 代入定理	27
2.4.2 反演定理	27
2.4.3 对偶定理	28
2.5 逻辑函数及其表示方法	29
2.5.1 逻辑函数	29
2.5.2 逻辑函数的表示方法	30
2.5.3 逻辑函数的两种标准形式	35
2.5.4 逻辑函数形式的变换	38
2.6 逻辑函数的化简方法	39
2.6.1 公式化简法	39
2.6.2 卡诺图化简法	42
* 2.6.3 奎恩-麦克拉斯基化简法(Q-M法)	48
2.7 具有无关项的逻辑函数及其化简	51