



普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

数字电子技术基础

第二版

周良权 方向乔 编



高等教育出版社

普通高等教育“十五”国家级规划教材

(高职高专教育)

数字电子技术基础

第 二 版

周良权 方向乔 编

高等教育出版社

内容提要

本书第一版为教育部“九五”规划教材,1999年1月获教育部科学技术进步三等奖。修订后的教材更加切合高职高专电气电子类专业教学层次,内容更趋合理,便于教和学。本次修订在内容上作了适当精简,概念更为清晰易懂。主要内容有:数字电路基础、集成逻辑门电路、组合逻辑电路、集成触发器、时序逻辑电路、脉冲波形发生器与整形电路、数/模和模/数转换器、半导体存储器和可编程逻辑器件、数字电子电路读图练习等。

本书可作为高等职业学校、高等专科学校、成人高等学校及本科院校举办的二级职业技术学院和民办学校的电气电子、信息自动化、机电一体化等专业教材,也可供从事电子技术的工程技术人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/周良权 方向乔编. —2版.
—北京:高等教育出版社,2002.12
教育部高职高专规划教材
ISBN 7-04-011661-8

I. 数... II. ①周... ②方... III. 数字电路-电子技术-高等学校:技术学校-教材 IV. TN79

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 079550 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-64054588
社 址	北京市东城区沙滩后街 55 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100009	网 址	http://www.hep.edu.cn
传 真	010-64014048		http://www.hep.com.cn
经 销	新华书店北京发行所	版 次	1994 年 7 月第 1 版
印 刷	北京中科印刷有限公司		2002 年 12 月第 2 版
开 本	787×1092 1/16	印 次	2002 年 12 月第 1 次印刷
印 张	19	定 价	22.00 元
字 数	450 000		

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

出版说明

为加强高职高专教育的教材建设工作,2000年教育部高等教育司颁发了《关于加强高职高专教育教材建设的若干意见》(教高司[2000]19号),提出了“力争经过5年的努力,编写、出版500本左右高职高专教育规划教材”的目标,并将高职高专教育规划教材的建设工作分为两步实施:先用2至3年时间,在继承原有教材建设成果的基础上,充分汲取近年来高职高专院校在探索培养高等技术应用性专门人才和教材建设方面取得的成功经验,解决好高职高专教育教材的有无问题;然后,再用2至3年的时间,在实施《新世纪高职高专教育人才培养模式和教学内容体系改革与建设项目计划》立项研究的基础上,推出一批特色鲜明的高质量的高职高专教育教材。根据这一精神,有关院校和出版社从2000年秋季开始,积极组织编写和出版了一批“教育部高职高专规划教材”。这些高职高专规划教材是依据1999年教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》(草案)和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》(草案)编写的,随着这些教材的陆续出版,基本上解决了高职高专教材的有无问题,完成了教育部高职高专规划教材建设工作的第一步。

2002年教育部确定了普通高等教育“十五”国家级教材规划选题,将高职高专教育规划教材纳入其中。“十五”国家级规划教材的建设将以“实施精品战略,抓好重点规划”为指导方针,重点抓好公共基础课、专业基础课和专业主干课教材的建设,特别要注意选择一部分原来基础较好的优秀教材进行修订使其逐步形成精品教材;同时还要扩大教材品种,实现教材系列配套,并处理好教材的统一性与多样化,基本教材与辅助教材、文字教材与软件教材的关系,在此基础上形成特色鲜明、一纲多本、优化配套的高职高专教育教材体系。

普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)适用于高等职业学校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、继续教育学院和民办高校使用。

教育部高等教育司

2002年11月30日

前 言

本书是普通高等教育“十五”国家级规划教材(高职高专教育)。编者在第一版的基础上,根据多年教学实践,听取众多使用本教材师生提出的宝贵意见和建议,依照2000年教育部制订的《高职高专数字电子技术基础课程教学基本要求》,在以“必需、够用为度”的原则下,结合目前数字集成器件的发展和使用情况,进行了适当的修订。修订后的教材,更加切合电气、电子类专业高职高专教学层次及教学特点,概念更为清晰、简明,读者更易于掌握数字电子技术的规律,提高应用能力。具体修订有以下方面:

一、鉴于目前数字集成器件的使用倾向于性能优越的CMOS HC系列和TTL LS系列,因此在分析集成逻辑门电路及其特性时,着重以这些系列电路为主。在引用组合和时序逻辑器件的功能时,也尽可能以这些系列作为典型电路介绍,并列出一一些相应型号。

二、为了便于讲解各系列逻辑器件性能参数时对照参考,将各系列主要参数对比表列入正文。

三、由于目前可编程逻辑器件发展较快,在各种高科技电子产品和数字电路中应用也日渐广泛,对这些器件作了知识性介绍,以便于读者了解。

四、对某些功能的集成器件,如集成单稳态触发器等的内部电路不再进行工作原理的分析,主要介绍其外部引脚功能和使用方法。

五、本书仍保留初版的应用电路举例和读图练习,目的在于提高读者对数字电路的分析应用能力。

六、书中标注“*”的章节,如时序逻辑电路的设计、可编程逻辑器件及读图练习等,可作为不同教学层次需要选修。

七、本书在修订中尽可能突出数字器件逻辑功能的规律性,便于读者能较快学习掌握。

八、在每章习题中适量补充了填空、选择和是非判断题,并基本保留原思考题和计算题,便于学生检验和巩固所学的知识。

本书修订是在高等教育出版社高职高专教育编辑室指导下完成的。第1章至第5章由北华大学工学院方向乔修订,第6章至第9章由上海理工大学周良权修订,周良权负责全书的统稿。

本书承蒙沈阳电力高等专科学校熊保辉副教授的认真审阅。审者提出了许多宝贵意见和富有远见的建议,广大兄弟院校师生对本书修订也提出了很好的建议,在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳切期望广大师生和读者提出批评和指正。

编 者

2002年5月

第一版前言

本书是根据国家教育委员会1990年7月制订的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》和1990年11月武汉会议审定通过的《高等学校工程专科电子技术基础教材编写大纲》进行编写的。与本教材配套的有《模拟电子技术基础》和《电子技术基础实验》。

根据高等学校工程专科以培养工程应用型技术人才为主的培养目标,本书力求在保证必要的基本理论、基本知识、基本分析方法和技能的基础上,贯彻理论与工程实践相结合,以应用为目的,以必需、够用为度和掌握概念、强化应用等原则,突出高等学校工程专科教学的特色。

本书编写的思路是:

一、遵循教学规律,力求由浅入深,由易到难,由简到繁,循序渐进。突出数学电路学习的特点和重点。

二、在掌握数制、码制、逻辑代数、卡诺图、真值表、逻辑符号图和逻辑函数式表示方法和分析方法的基础上,以集成电路为主,介绍各种常用的组合和时序逻辑电路的逻辑功能、使用方法,并适当介绍一些常用可编程逻辑器件的基本知识。

三、在介绍集成数字电路的各章中,均列举了各种典型的应用电路,使理论与实践应用相结合,拓宽读者应用思路,了解应用规律和方法。

四、本书最后一章的读图练习,使读者了解数字电路系统的读图方法,以培养分析问题和解决问题的能力。

五、鉴于国际和国内正在推广使用新的二进制逻辑符号,在本书附录中介绍了各种常用集成数字电路逻辑符号及所表示的符号含义,并在书中各章中采用。

六、本书每章开始,根据《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》,归纳出该章教学基本要求,目的是使读者在学习过程中便于检查对照,在每章末列有思考题与习题,书后附有部分计算习题的答案。书中附有部分典型器件的参数,供读者参考了解。

根据《高等学校工程专科电子技术基础教学基本要求》,本书教学参考学时范围规定为45~55学时。其中下限教学时数仅适用于各章教学基本要求的内容,上限教学时数包含基本要求以外的教学内容。各章中所介绍的实用电路,可根据各专业要求及学时数情况酌情取舍。加*注的为基本要求以外的教学内容。

本书由国家教育委员会高等学校工程专科电子技术基础教材编审组推荐为高等学校工程专科电气、电子类专业电子技术基础课程的通用教材。本书也被选定为机械电子工程师机电一体化工程专科电子技术课程的自学考试教材。也可作为普通高校大专班和职工大学电气、电子类专业电子技术基础课程教材,还可供中等专业学校或普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程技术人员参考。

本书是在国家教育委员会组织的高等学校工程专科电子技术教材编审组和高等教育出版社指导下编写完成的。本书的第一章到第五章和附录中的器件参数由吉林电气化高等专科学校方向乔同志编写,第六章到第九章和附录中的二进制逻辑符号由上海机械高等专科学校周良权同

志编写,周良权同志负责全书的统稿。华中理工大学陈大钦教授担任本书主审,参加审阅的还有彭容修副教授和杨华老师。

参加 1991 年 7 月在集美召开的审稿会的有南通职业大学陈卜锁副教授、沈阳电力高等专科学校熊保辉副教授、华北航天工业学院高璘副教授、江汉大学易沅陵副教授、集美航海学院黄国庆副教授等同志。

参加审稿和承担主审及审阅的同志对本书提出了许多宝贵的意见和建议,高等学校工程专科电子技术教材编审组组长南京化工学院副院长莫彬副教授主持组织讨论,做了许多辛勤的工作,在此一并表示衷心感谢。

电子技术日新月异,教学改革任重道远,我们的能力与所提出的要求相比,还有一定差距。由于编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,敬请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

1993 年 8 月

常用符号表

A、B、C…	输入逻辑变量	dp	速度-功耗积
a	各种计数体制展开式位权系数	Q	触发器输出
c	进位系数	Q^n	触发器输出初态
CP	触发器时钟脉冲输入端	Q^{n+1}	触发器输出次态
C_{ext}	外接电容端	q	占空比
CR	清零端	R、S	R、S 触发器输入端
D	D 触发器输入端	$R_D、S_D$	触发器直接置 0、置 1 端
D_{SR}	移位寄存器右移串行输入端	R_L	上拉电阻、负载电阻
D_{SL}	移位寄存器左移串行输入端	T	T 触发器输入端
E_I	使能输入控制端	T	周期
E_O	使能输出控制端	T_N	N 沟道场效应管
FF	触发器	T_P	P 沟道场效应管
f_{max}	最高工作频率	TG	传输门
G	逻辑门	TSL	三态门
I_{CCH}	空载截止电源电流	t_{wI}	输入脉宽
I_{CCL}	空载导通电源电流	t_{wO}	输出脉宽
I_{IH}	输入高电平电流	t_{wL}	输出低电平脉宽
I_{IL}	输入低电平电流	t_{wH}	输出高电平脉宽
I_{OH}	输出高电平电流	t_{PHL}	导通延迟时间
I_{OL}	输出低电平电流	t_{PLH}	截止延迟时间
I_{IS}	输入短路电流	t_{pd}	平均延迟时间
J、K	J、K 触发器输入端	U	电压
L、Z	输出逻辑变量	U_I	输入电压
LD	预置输入控制端	U_{IH}	高电平输入电压
LT	灯测试输入端	U_{IL}	低电平输入电压
m	最小项	U_{BE}	三极管基极-射极电压
N	计数器计数输入、计数循环长度计数状态数、模	$U_{CE(sat)}$	三极管饱和压降
N_O	扇出系数	$U_{IL(max)}$	输入低电平最高电压
OC	集电极开路输出	$U_{IH(min)}$	输入高电平最低电压
P_{off}	空载截止功耗	U_{SH}	标准输出高电平
P_{on}	空载导通功耗	U_{SL}	标准输出低电平

U_{NL}	低电平噪声容限	ΔU_H	回差电压
U_{NH}	高电平噪声容限	V_{CC}	(TTL)三极管集电极电源电压
U_{TH}	阈值电压	V_{EE}	(TTL)三极管射极电源电压
U_{T+}	正向阈值电压	V_{DD}	(CMOS)场效应管漏极电源电压
U_{T-}	负向阈值电压	V_{GG}	(CMOS)场效应管栅极电源电压
$U_{GS(th)N}$	N沟道增强型场效应管开启电压	V_{SS}	(CMOS)场效应管源极电源电压
$U_{GS(th)P}$	P沟道增强型场效应管开启电压	β	三极管共射电流放大系数

目 录

第 1 章 数字电路基础	(1)	2.1 二极管、三极管的开关特性	(32)
1.1 概述	(1)	2.1.1 二极管的开关特性	(33)
1.1.1 数字信号和数字电路	(1)	2.1.2 三极管的开关特性	(34)
1.1.2 数字电路的特点	(1)	2.2 分立元件门电路	(36)
1.1.3 数字电路的分类和应用	(2)	2.2.1 二极管门电路	(36)
1.2 几种常用的数制和码制	(2)	2.2.2 三极管门电路	(37)
1.2.1 数制	(2)	2.3 CMOS 集成逻辑门	(39)
1.2.2 码制	(6)	2.3.1 CMOS 反相器	(40)
1.3 逻辑函数中三种最基本的逻辑运算	(7)	2.3.2 其它类型的 CMOS 逻辑门	(46)
1.3.1 逻辑函数和逻辑变量	(7)	2.3.3 CMOS 改进型的门电路	(53)
1.3.2 三种基本逻辑关系及其表示 方法	(7)	2.3.4 CMOS 电路的正确使用	(54)
1.4 复合逻辑函数	(9)	2.4 TTL 集成逻辑门	(55)
1.5 逻辑函数的几种表示方法及其 相互转换	(11)	2.4.1 TTL 与非门的工作原理	(56)
1.5.1 已知真值表求逻辑表达式和 逻辑图	(11)	2.4.2 其它类型的 TTL 门电路	(57)
1.5.2 已知逻辑函数式求真值表和 逻辑图	(13)	2.4.3 各种系列的 TTL 门电路及 其性能比较	(59)
1.5.3 已知逻辑图求逻辑函数式和 真值表	(13)	2.4.4 TTL 与非门的外特性及其主要 参数	(61)
1.6 逻辑代数	(14)	2.4.5 其它双极型集成逻辑门电路的 特点	(64)
1.6.1 基本公式、定律和常用规则	(14)	2.4.6 双极型集成逻辑门电路使用中的 几个实际问题	(65)
1.6.2 逻辑函数的代数化简法	(16)	2.5 不同类型门电路的接口	(66)
1.7 逻辑函数的卡诺图化简法	(19)	2.6 门电路应用举例	(70)
1.7.1 逻辑函数的最小项及最小项 表达式	(19)	自我检验题	(71)
1.7.2 逻辑函数的卡诺图表示方法	(20)	思考题与习题	(72)
1.7.3 用卡诺图法化简逻辑函数	(22)	第 3 章 组合逻辑电路	(77)
1.7.4 具有无关项的逻辑函数及其 化简	(25)	3.1 概述	(77)
1.8 关于正逻辑和负逻辑的规定及其 转换	(26)	3.2 组合逻辑电路的分析	(77)
自我检验题	(27)	3.3 组合逻辑电路的设计	(79)
思考题与习题	(28)	3.3.1 组合逻辑电路的设计步骤	(79)
第 2 章 集成逻辑门电路	(32)	3.3.2 组合逻辑电路设计举例	(80)
		3.4 常用的组合逻辑电路	(83)
		3.4.1 编码器	(83)
		3.4.2 译码器	(88)
		3.4.3 多位加法器	(98)

3.4.4 数值比较器	(100)	荡器	(179)
3.4.5 数据选择器	(102)	6.2 集成和其它单稳态触发器	(181)
3.5 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	(107)	6.2.1 微分型单稳态触发器	(181)
3.5.1 什么是竞争-冒险现象	(107)	6.2.2 集成单稳态触发器	(183)
3.5.2 竞争-冒险的识别方法	(108)	6.3 集成施密特触发器	(186)
3.5.3 消除竞争-冒险的方法	(109)	6.4 其它多谐振荡器电路	(190)
自我检验题	(110)	6.4.1 用 CMOS 反相器组成的多谐振 荡器	(190)
思考题与习题	(111)	6.4.2 石英晶体多谐振荡器	(192)
第 4 章 集成触发器	(115)	* 6.5 脉冲产生与整形电路的应用	(194)
4.1 基本 RS 触发器	(115)	自我检验题	(197)
4.2 几种时钟触发器的逻辑功能	(118)	思考题与习题	(197)
4.2.1 同步 RS 触发器	(119)	第 7 章 数/模和模/数转换器	(201)
4.2.2 主从 CMOS 边沿 D 触发器	(121)	7.1 概述	(201)
4.2.3 维持阻塞边沿 D 触发器	(122)	7.2 D/A 转换器	(202)
4.2.4 负边沿 JK 触发器	(124)	7.2.1 R-2R 倒 T 形电阻网络 DAC 基本原理	(202)
4.2.5 T 触发器和 T' 触发器	(126)	7.2.2 集成 D/A 转换器 AD7520 电路 结构和应用	(203)
4.3 触发器的选择和使用	(128)	7.2.3 D/A 转换器的主要技术指标	(207)
自我检验题	(128)	7.3 A/D 转换器	(208)
思考题与习题	(129)	7.3.1 采样、保持和量化及编码	(209)
第 5 章 时序逻辑电路	(134)	7.3.2 V-T 型双积分式 A/D 转换器	(211)
5.1 概述	(134)	7.3.3 逐次逼近型 A/D 转换器	(213)
5.2 时序逻辑电路的分析方法	(135)	7.3.4 A/D 转换器的主要技术指标	(215)
5.3 寄存器和移位寄存器	(137)	7.4 D/A 和 A/D 转换器应用举例	(216)
5.3.1 寄存器	(137)	7.4.1 数控电流源	(216)
5.3.2 移位寄存器	(138)	* 7.4.2 $3\frac{1}{2}$ 位 A/D 转换器 7106 集成 数字电压表	(217)
5.4 计数器	(142)	自我检验题	(218)
5.4.1 异步计数器	(143)	思考题与习题	(218)
5.4.2 同步计数器	(149)	第 8 章 半导体存储器和可编程逻辑 器件	(222)
5.4.3 N 进制计数器	(155)	8.1 只读存储器(ROM)	(222)
* 5.5 时序逻辑电路的设计	(162)	8.1.1 固定 ROM	(222)
* 5.6 集成时序逻辑电路应用设计举例	(164)	8.1.2 可编程 ROM(PROM)	(225)
自我检验题	(168)	8.1.3 可擦除可编程 ROM(EPROM)	(226)
思考题与习题	(168)	8.2 随机存取存储器(RAM)	(229)
第 6 章 脉冲波形发生器与整形电路	(172)	8.2.1 RAM 的电路结构和工作原理	(229)
6.1 555 定时器及其应用	(172)	8.2.2 RAM 存储容量的扩展方法	(232)
6.1.1 555 定时器的结构及工作原理	(172)	* 8.3 可编程逻辑器件(PLD)	(233)
6.1.2 用 555 定时器组成单稳态触发 器电路	(174)		
6.1.3 用 555 定时器组成的施密特 触发器	(177)		
6.1.4 用 555 定时器组成的多谐振 荡器	(179)		

8.3.1	PLD 基本电路的结构、功能与 习惯表示法	(233)	9.1	读图的基本步骤	(250)
8.3.2	可编程逻辑阵列(PLA)	(235)	9.2	$3\frac{1}{2}$ 位数字电压表	(251)
8.3.3	可编程阵列逻辑(PAL)	(237)	9.3	金属带材厚度自动控制器	(255)
8.3.4	通用阵列逻辑(GAL)	(238)	附录一	二进制逻辑单元图形符号	
8.3.5	在系统可编程逻辑器件 (ISP-PLD)	(240)		说明	(263)
8.3.6	现场可编程门阵列(FPGA)	(244)	附录二	ASCII 编码	(275)
8.3.7	在系统可编程通用数字开关 (isp GDS)	(247)	附录三	常用逻辑符号对照表	(277)
	自我检验题	(248)		名词术语汉英对照	(278)
	思考题与习题	(248)		部分习题答案	(285)
*第 9 章	数字电路读图练习	(250)		参考文献	(288)

第 1 章

数字电路基础

本章教学基本要求：

掌握：(1) 数制和码制,各种数制间的转换;(2) 与、或、非逻辑和其它复合逻辑函数;(3) 逻辑代数基本定律的运用,用代数法和卡诺图法化简和变换逻辑函数;(4) 逻辑问题的描述方法:真值表、逻辑表达式、卡诺图和逻辑图。

1.1 概 述

1.1.1 数字信号和数字电路

工程上把电信号分为模拟信号和数字信号两大类。模拟信号是指在时间上和数值上都是连续变化的信号,如电视的图像和伴音信号,生产过程中由传感器检测的由某种物理量转化成的电信号等。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电路。数字信号是指在时间上和数值上都是断续变化的离散信号,如生产中自动记录零件个数的计数信号,由计算机键盘输入计算机的信号等。把传输、处理数字信号的电路称为数字电路。

1.1.2 数字电路的特点

由于数字信号采用二值信息来表示脉冲的有、无或电平的高、低,所以数字电路在结构和工作状态、研究内容和分析方法等方面都与模拟电路不同,它具有如下特点:

1. 数字电路在稳态时,电子器件(如二极管、三极管)处于开关状态,即工作在饱和区和截止区。这和二进制信号的要求是相对应的。因为导通和截止两种状态的外部表现正是电流的有、无,电压的高、低,这种有和无、高和低相对立的两种状态,分别用 **1** 和 **0** 两个数码来表示。

2. 数字电路是由几种最基本的单元电路组成的,在这些基本单元电路中,对元件的精度要求不高,允许有较大的误差。因为数字电路信号的 **1** 和 **0** 没有任何数量的含义,而只是状态的含义,所以电路在工作时只要能可靠地区分开 **1** 和 **0** 两种状态就可以了。相应地,组成数字电路中的单元结构也比较简单,具有便于集成化和系列化生产、工作准确可靠、精度高、成本低廉、使用方便等优点。

3. 对于数字电路,人们关心和研究的主要问题是输入信号的状态(**0** 或 **1**)和输出信号的状态(**0** 或 **1**)之间的逻辑关系,以反映电路的逻辑功能。数字电路的研究内容可以分为两类问题,一种是对已有电路分析其逻辑功能,叫做逻辑分析;另一种是按逻辑功能要求设计电路,称为逻辑

辑设计。

4. 由于数字电路工作状态、研究内容与模拟电路不同,所以分析方法也不同,它主要是用逻辑代数和卡诺图法进行分析。

5. 数字电路能够对数字信号 1 和 0 进行各种逻辑运算和算术运算。所谓逻辑运算,就是按照逻辑规则,进行逻辑推理和逻辑判断。因为数字电路不仅具有运算能力,还具有逻辑思维能力,因此,可利用它制造数控装置、智能仪表、数字通信设备以及电子计算机等现代化的科技产品。

1.1.3 数字电路的分类和应用

1. 数字电路按组成的结构可分为分立元件电路和集成电路两大类。

集成电路按集成度(在一块硅片上包含的逻辑门电路或元件数量的多少)分为小规模(SSI)、中规模(MSI)、大规模(LSI)和超大规模(VLSI)集成电路。SSI 集成度为 1~10 门/片或 10~100 元件/片,主要是一些逻辑单元电路,如逻辑门电路、集成触发器。MSI 集成度为 10~100 门/片或 100~1 000 元件/片,主要是一些逻辑功能部件,包括译码器、编码器、选择器、算术运算器、计数器、寄存器、比较器、转换电路等。LSI 集成度大于 100 门/片或大于 1 000 元件/片,此类集成芯片是一些数字逻辑系统,如中央控制器、存储器、串并行接口电路等。VLSI 集成度大于 1 000 门/片或大于 10 万元件/片,是高集成度的数字逻辑系统,如在一个硅片上集成一个完整的微型计算机。

2. 按电路所用器件的不同,数字电路又可分为双极型和单极型电路。其中双极型电路有 DTL、TTL、ECL、IIL、HTL 等多种,单极型电路有 JFET、NMOS、PMOS、CMOS 四种。

3. 根据电路逻辑功能的不同,又可分为组合逻辑电路和时序逻辑电路两大类。

根据“理论知识以应用为目的,以必需、够用为度”、“理论与工程实际相结合”的原则,本课程将以小规模集成电路为基础,以中规模集成电路为主,着重介绍各种逻辑单元电路和逻辑部件的工作原理。在分析它们逻辑功能的同时,还将介绍逻辑电路的分析方法和逻辑电路的一般设计方法。再结合一些电路的应用举例介绍逻辑器件和电路的选择及使用方法。对集成电路的工艺设计和制造,本课程不作介绍。

数字电路的产生和发展是电子技术发展最重要的基础。由于数字电路相对于模拟电路有一系列的优点,使它在通信、电子计算机、电视、雷达、自动控制、电子测量仪器等科学领域得到广泛的应用,对现代科学、工业、农业、医学、社会和人类的文明产生着越来越深刻的影响。

1.2 几种常用的数制和码制

1.2.1 数制

一、各种计数体制及其表示方法

所谓数制就是计数的方法。在生产实践中,人们经常采用位置计数法,即将表示数字的数码从左至右排列起来。常用的有十进制、二进制、十六进制等。

通常,十进制数用 $(N)_{10}$ (或 $(N)_D$) 表示,二进制数用 $(N)_2$ (或 $(N)_B$) 表示,十六进制数用

$(N)_{16}$ (或 $(N)_H$) 表示。

1. 十进制 (Decimal)

十进制有如下特点:

- (1) 它的数码 K 共有十个, 为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9。
- (2) 相邻位的关系, 高位为低位的十倍, 逢十进一, 借一当十, 即十进制的基数 R 等于 10。
- (3) 任何一个十进制数都可以写成以 10 为底的幂之和的形式:

$$(N)_{10} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times R^i = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 10^i \quad (1.2.1)$$

式(1.2.1)中 i 为数字中各数码 K 的位置号, 为正负整数, 小数点前第一位 $i=0$ (0 号位), 第二位 $i=1$ (1 号位), 依此类推; 小数点后第一位 $i=-1$ (-1 号位), 第二位 $i=-2$ (-2 号位), 依此类推。

10^i 为第 i 位的位权。

例如 $(246.134)_{10} = 2 \times 10^2 + 4 \times 10^1 + 6 \times 10^0 + 1 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2} + 4 \times 10^{-3}$

式(1.2.1)称为数的按权展开式。一个数是由数码 K 、基数 R 和位权 R^i 这三个要素构成的。一个数的数值等于数码乘位权的集合。

十进制的位权关系列于表 1.2.1。

表 1.2.1 十进制的位权

位号	$n-1$	$n-2$...	2	1	0	小数点	-1	-2	...	$-m$
位权	10^{n-1}	10^{n-2}	...	10^2	10^1	10^0	.	10^{-1}	10^{-2}	...	10^{-m}

2. 二进制 (Binary)

二进制的数码 K 为 0、1, 基数 $R=2$, 相邻位的关系为逢二进一, 借一当二, 位权为 2 的整数

幂, 其按权展开式为 $(N)_2 = \sum_{i=-\infty}^{\infty} K_i \times 2^i$

例如 $(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0$

再如 $(10011.01)_2 = 1 \times 2^4 + 0 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$

因为二进制的两个数码 0 和 1 能够与电路的两个状态 (饱和与截止) 直接对应, 所以二进制是数字电路中经常采用的。

表 1.2.2 列出了二进制各位的位权。

表 1.2.2 各位二进制数的位权

位号	i	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
位权	2^i	1	2	4	8	16	32	64	128	256	512	1 024	2 048	4 096	8 192

3. 十六进制 (Hexadecimal)

十六进制是以 16 为基数的计数体制, 它采用的数码 K 为 0、1、2、3、4、5、6、7、8、9、A、B、C、D、E、F。符号 A~F 分别代表十进制的 10~15。各位的位权是 16 的整数幂, 其计数规律是逢十六进一, 借一当十六。其按权展开式为

$$(N)_{16} = \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times (16)^i$$

例如 $(4E6)_{16} = 4 \times 16^2 + E \times 16^1 + 6 \times 16^0$
 $= 4 \times 16^2 + 14 \times 16^1 + 6 \times 16^0 = (1\ 254)_{10}$

上述几种数制各有其优缺点,应用场合也不相同。以十进制和二进制作比较,十进制在日常生活中应用最多,是人们最熟悉和习惯的计数体制,但其十个数码在数字电路中难于找到十个状态与之对应。数字电路的两个状态可用两个数码表示,故采用二进制。二进制计算规则简单,但人们对它不习惯,另外其数位较多,不易读写。利用二进制与十进制和十六进制的对应关系对十进制、十六进制进行二进制编码,用起来就很方便了。

二、几种数制之间的相互转换

1. 非十进制转换为十进制

可以将非十进制数写为按权展开式,得出其相加的结果,就是与其对应的十进制数。

[例 1.2.1] $(11010)_2 = 1 \times 2^4 + 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 1 \times 2^1 + 0 \times 2^0$
 $= 2^4 + 2^3 + 2^1 = (26)_{10}$

[例 1.2.2] $(1001.01)_2 = 1 \times 2^3 + 0 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0 + 0 \times 2^{-1} + 1 \times 2^{-2}$
 $= 2^3 + 2^0 + 2^{-2} = (9.25)_{10}$

[例 1.2.3] $(174)_{16} = 1 \times 16^2 + 7 \times 16^1 + 4 \times 16^0$
 $= 256 + 112 + 4 = (372)_{10}$

2. 十进制转换为非十进制

整数部分可用“除基取余法”,即将原十进制数连续除以要转换的计数体制的基数,每次除完所得余数就作为要转换数的系数(数码)。先得到的余数为转换数的低位,后得到的为高位,直到除得的商为 0 为止。这种方法概括起来可说成“除基数,得余数,作系数,从低位到高位”。符号 LSB 表示最低位,符号 MSB 表示最高位。

[例 1.2.4] $(26)_{10} = (\quad)_2 = (\quad)_{16}$

商	0	1	3	6	13	26
余数	1	1	0	1	0	÷ 2
	↑				↑	
	⋮				⋮	
	MSB				LSB	

上算式中右侧表示原十进制数 26,欲转换为二进制数,需将 26 连除 2。左侧上方表示每次除得的商,左侧下方表示每次所得的余数,从右至左,先得的余数为二进制数的最低位 LSB,最后得的余数为二进制数的最高位 MSB。所以 $(26)_{10} = (11010)_2$ 。

同理,欲将 $(26)_{10}$ 转换为十六进制数,将有

商	0	1	26
余数	1	A	÷ 16

所以, $(26)_{10} = (1A)_{16}$ 。

[例 1.2.5] 将 $(81)_{10}$ 转换为二进制、十六进制数。

解: (1) 先将 $(81)_{10}$ 用“除基取余法”转化为二进制数

商	0	1	2	5	10	20	40		81
余数	1	0	1	0	0	0	1		÷2
	↑				↑				
	⋮				⋮				
	MSB				LSB				

得 $(81)_{10} = (1010001)_2$

(2) 可用“除基取余法”直接求十六进制数。也可以利用十六进制数码与二进制数码的对应关系,由二进制数转化为十六进制数。因为每一个十六进制数码都可以用 4 位二进制数来表示,所以可将二进制数从低位向高位每 4 位一组写出各组的值,从左到右读写,就是十六进制数。在将二进制数按 4 位一组划分字节时最高位一组位数不够可用 0 补齐。

$$(81)_{10} = (1010001)_2 = (0101\ 0001)_2 = (51)_{16}$$

小数点以后的二进制数转化为十六进制数在划分字节时是从高位到低位进行的。

上述方法是可逆的,将十六进制数的每 1 位写成 4 位二进制数,左右顺序不变,就能从十六进制直接转化为二进制。

表 1.2.3 给出了十六进制数码与其它几种数制的对照表。

表 1.2.3 数制对照表

计数体制基数 R	数码表示方法																
R = 16	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	10
R = 2	0	1	10	11	100	101	110	111	1000	1001	1010	1011	1100	1101	1110	1111	10000
R = 10	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
R = 8	0	1	2	3	4	5	6	7	10	11	12	13	14	15	16	17	20

表 1.2.3 中也给出了八进制与其它几种进制的对应关系,请读者确认其基数、位权和数码,验证其转换关系。

* 十进制小数部分转换为其它进制小数可采用“乘基取整法”,即将原十进制纯小数乘以要转换出的数制的基数,取其积的整数部分作系数,剩余的纯小数部分再乘基数,先得到的整数作新数的高位(MSB),后得到的作低位(LSB),直至其纯小数部分为 0 或到一定精度为止。这种方法可概括地说成“乘基数,取整数,作系数,从高位,到低位”。

[例 1.2.6] 将 $(0.875)_{10}$ 转换为二进制数。

$$0.875 \times 2 = 1.750 \cdots 1 \quad \text{MSB}$$

$$0.750 \times 2 = 1.500 \cdots 1$$

$$0.500 \times 2 = 1.000 \cdots 1 \quad \text{LSB}$$

所以 $(0.875)_{10} = (0.111)_2$