

高等学校工程专科教材

数字电子 技术基础

周良权 方向乔 编

高等教育出版社



高等学校工程专科教材

数字电子技术基础

周良权 方向乔 编

高等教育出版社

(京)112号

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。本书与已经出版发行的《模拟电子技术基础》(专科)和即将出版发行的《电子技术基础实验》(专科)配套使用。

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,突出高等工程专科教学的特色。

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。本书同时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,也可供普通高校大专班等相近层次的学校作为电子技术基础教材使用。

本书责任编辑 章浩平

图书在版编目(CIP)数据

数字电子技术基础/周良权,方...编. - 北京:高等教育出版社, 1998 重印

高等学校工程专科教材,机械电子工程师机电一体化工程专科自学考试教材

ISBN 7-04-004987-2

I. 数... II. ①周... ②方... 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(95)第 04404 号

*

高等教育出版社 出版

新华书店总店北京发行所发行

北京顺新印刷厂印装

*

开本 850 × 1168 1/32 印张 13.5 插页 2 字数 350 000

1994 年 7 月第 1 版 1998 年 8 月第 7 次印刷

印数 51 482 - 66 491

定价 13.20 元

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月武汉会议审定的通过的《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。突出数字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 and 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宝辉副教授、华北航天工业学院高磷副教授、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

$A, B, C \dots$	输入逻辑变量	LT	灯测试输入端
a	各种计数体制展开式 位权系数	m	最小项
c	进位系数	N	计数器计数输入
CP	触发器时钟脉冲输入 端	N_0	扇出系数
C_{ext}	外接电容端	OC	集电极开路输出
CR	清零端	P_{off}	空载截止功耗
D	D触发器输入端	P_{on}	空载导通功耗
D_{SR}	移位寄存器右移串行 输入端	pd	速度-功耗积
D_{SL}	移位寄存器左移串行 输入端	Q	触发器输出
E_I	使能输入控制端	Q^n	触发器输出初态
E_O	使能输出控制端	Q^{n+1}	触发器输出次态
FF	触发器	q	占空比
f_{max}	最高工作频率	R, S	R、S触发器输入端
G	逻辑门	R_D, S_D	触发器直接置0、置 1端
I_{OCH}	空载截止电源电流	R_L	上拉电阻、负载电阻
I_{OCL}	空载导通电源电流	T	T触发器输入端
I_{IH}	输入高电平电流	T	周期
I_{IL}	输入低电平电流	T_N	N沟道场效应管
I_{OH}	输出高电平电流	T_P	P沟道场效应管
I_{OL}	输出低电平电流	TG	传输门
I_{IS}	输出短路电流	TSL	三态门
J, K	J、K触发器输入端	t_{PI}	输入脉宽
L, Z	输出逻辑变量	t_{PO}	输出脉宽
LD	预置输入控制端	t_{PL}	输出低电平脉宽
		t_{PH}	输出高电平脉宽
		t_{PH1}	导通延迟时间
		t_{PLH}	截止延迟时间

t_{pd}	平均延迟时间	$U_{GS(th)N}$	N 沟道增强型场效应管开启电压
U	电压	$U_{GS(th)P}$	P 沟道增强型场效应管开启电压
U_i	输入电压	ΔU_H	回差电压
U_{IH}	高电平输入电压	V_{CC}	(TTL)三极管集电极电源电压
U_{IL}	低电平输入电压	V_{EE}	(TTL)三极管射极电源电压
U_{RE}	三极管基极-射极电压	V_{DD}	(CMOS)场效应管漏极电源电压
$U_{CE(sat)}$	三极管饱和压降	V_{GG}	场效应管栅极电源 (CMOS)电压
$U_{IL(max)}$	输入低电平最高电压	V_{SS}	场效应管源极电源 (CMOS)电压
$U_{IH(min)}$	输入高电平最低电压	β	三极管共射电流放大系数
U_{SH}	标准输出高电平		
U_{SL}	标准输出低电平		
U_{NL}	低电平噪声容限		
U_{NH}	高电平噪声容限		
U_{TH}	阈值电压		
U_{T+}	正向阈值电压		
U_{T-}	负向阈值电压		

目 录

第一章 数字电路基础	1
1.1 概述	1
1.2 几种常用的数制和码制	3
1.2.1 数制	3
1.2.2 码制	10
1.3 逻辑函数中三种最基本的逻辑运算	11
1.3.1 逻辑函数和逻辑变量	11
1.3.2 三种基本逻辑关系及其表示方法	11
1.4 复合逻辑函数	15
1.5 逻辑函数的几种表示方法及其相互转换	17
1.5.1 已知真值表求逻辑表达式和逻辑图	17
1.5.2 已知逻辑函数式求真值表和逻辑图	20
1.5.3 已知逻辑图求逻辑函数式和真值表	21
1.6 逻辑代数	21
1.6.1 基本公式、定律和常用规则	21
1.6.2 逻辑函数的代数化简法	26
1.7 关于正逻辑和负逻辑的规定及其转换	30
1.8 逻辑函数的卡诺图化简法	31
1.8.1 逻辑函数的最小项及最小项表达式	32
1.8.2 逻辑函数的卡诺图表示方法	34
1.8.3 用卡诺图法化简逻辑函数	37
1.8.4 具有无关项的逻辑函数及其化简	42
思考题与习题	44
第二章 集成逻辑门电路	50
2.1 二极管、三极管的开关特性	50
2.1.1 二极管的开关特性	51
2.1.2 三极管的开关特性	53

2.2 分立元件门路	55
2.2.1 二极管门电路	56
2.2.2 三极管门电路	57
2.3 TTL 集成逻辑门	60
2.3.1 TTL 与非门的工作原理	61
2.3.2 TTL 与非门的外特性及其主要参数	63
2.3.3 其它类型的 TTL 门电路	70
2.3.4 各种系列的 TTL 门电路的性能比较	76
2.3.5 其它双极型集成逻辑门电路的特点	79
2.3.6 双极型集成逻辑门电路使用中的几个实际问题	80
2.4 CMOS 集成逻辑门	85
2.4.1 概述	85
2.4.2 CMOS 反相器	86
2.4.3 CMOS 逻辑门	89
2.4.4 CMOS 数字集成电路使用中的几个实际问题	94
2.5 门电路应用举例	100
思考题与习题	102
第三章 组合逻辑电路	110
3.1 概述	110
3.2 组合逻辑电路的分析	111
3.3 组合逻辑电路的设计	113
3.3.1 组合逻辑电路的设计步骤	114
3.3.2 组合逻辑电路设计举例	114
3.4 常用的组合逻辑电路	120
3.4.1 编码器	120
3.4.2 译码器	127
3.4.3 多位加法器	142
3.4.4 数值比较器	144
3.4.5 数据选择器	148
3.5 组合逻辑电路中的竞争-冒险现象	156
3.5.1 什么是竞争-冒险现象	156

3.5.2 竞争-冒险的识别方法	158
3.5.3 消除竞争-冒险的方法	160
思考题与习题	161
第四章 集成触发器	167
4.1 基本RS触发器	167
4.2 几种时钟触发器的逻辑功能	173
4.2.1 同步RS触发器	173
4.2.2 主从CMOS边沿D触发器	177
4.2.3 维持阻塞边沿D触发器	180
4.2.4 负边沿JK触发器	182
4.2.5 T触发器和T'触发器	185
4.3 触发器电路小结	189
思考题与习题	195
第五章 时序逻辑电路	203
5.1 概述	203
5.2 时序逻辑电路的分析方法	205
5.3 寄存器和移位寄存器	209
5.3.1 寄存器	209
5.3.2 移位寄存器	211
5.4 计数器	217
5.4.1 异步计数器	217
5.4.2 同步计数器	225
5.4.3 N进制计数器	237
5.5 集成时序逻辑电路应用设计举例	247
思考题与习题	252
第六章 脉冲波形发生器与整形电路	257
6.1 555定时器及其应用	257
6.1.1 555定时器的结构及工作原理	258
6.1.2 用555定时器组成单稳态触发器电路	260
6.1.3 用555定时器组成的施密特触发器	265
6.1.4 用555定时器组成的多谐振荡器	268

6.2 集成和其它单稳态触发器	271
6.2.1 微分型单稳态触发器	271
6.2.2 集成单稳态触发器	274
6.3 集成施密特触发器	279
6.4 其它多谐振荡器电路	286
6.4.1 用CMOS反相器组成的多谐振荡器	286
6.4.2 石英晶体多谐振荡器	288
6.5 脉冲产生与整形电路的应用	292
思考题与习题	295
第七章 数/模和模/数转换器	302
7.1 概述	302
7.2 D/A转换器	303
7.2.1 R-2R T形网络DAC基本原理	303
7.2.2 集成D/A转换器5G7520电路结构和应用	305
7.2.3 D/A转换器的主要技术指标	310
7.3 A/D转换器	312
7.3.1 采样、保持的量化和编码	312
7.3.2 V-T型双积分式A/D转换器	315
7.3.3 逐次逼近型A/D转换器	318
7.3.4 A/D转换器的主要技术指标	322
7.4 D/A和A/D转换器应用举例	323
7.4.1 数控电流源	324
7.4.2 $3\frac{1}{2}$ 位A/D转换器7106集成数字电压表	325
思考题与习题	326
第八章 半导体存储器	331
8.1 只读存储器(ROM)	331
8.1.1 固定ROM	332
8.1.2 可编程ROM (PROM)	335
8.1.3 可擦除可编程ROM(EPROM)	337
8.2 随机存取存储器(RAM)	340

8.2.1 RAM的电路结构和工作原理	341
8.2.2 RAM存储容量的扩展方法	346
*8.3 可编程逻辑器件(PLD)	377
8.3.1 用固定ROM实现组合逻辑电路	348
8.3.2 可编程逻辑阵列器件(PLA)	351
8.3.3 可编程阵列逻辑器件(PAL)	355
8.3.4 通用阵列逻辑器件(GAL)	355
思考题与习题	359
第九章 数字电子电路读图练习	361
9.1 读图的基本步骤	361
9.2 $3\frac{1}{2}$ 位数字电压表	362
9.3 金属带材压延厚度自动控制器	369
附录一 二进制逻辑单元图形符号说明	378
附录二 ISO和ASCII编码	392
附录三 部分TTL门电路型号、引脚排列和 主要特性	395
附录四 部分CMOS门电路引脚图和特性	401
附录五 CMOS集成电路与74LS系列电路性能比较	404
主要参考文献	405
部分习题答案	406
汉英名词对照	410

第一章 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

一、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。

二、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，电子元、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出满足逻辑功能的电路，称为逻辑设计。

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等进行分析。

5. 数字电路能够对数字信号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，人们才能制造出各种数控装置、智能仪表以及电子数字计算机等现代化的科技产品并使其得到广泛的应用。

三、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。

其中集成电路按集成度（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（MAI）、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100~1000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1000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1000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等四种。

3. 根据电路的逻辑功能的不同特点，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。在分析它们的逻辑功能的同时，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。还将结合一些电路的应用举例介绍逻辑器件和电路的选择和使用知识。对集成电路的工艺设计和制造，本课程将不作介绍和研究。

数字电路的产生和发展是电子技术发展的最重要的分支。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、电子测量仪器等各个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

1. 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，人们经常采用不

同基数作为计数体制。例如用来计时的有六十进制、二十四进制、三十(或三十一)进制、十二进制等,但最常用的还是十进制,即以10为基数的计数体制。一般来说,各种计数体制都采用位置计数法。即以特定的一些数字符号(也称数码)排列起来,每个符号处于不同位置作为各位的系数,每个位置都有一定的位权。其数值(数字量)就是把各位的位权乘以该位的系数相加之和。

(1) 十进制

十进制是以10为基数的计数体制,各位的系数为0、1、2、3、4、5、6、7、8、9中的一个,各位的位权是以10为底的幂。如 $5350.23 = 5 \times 10^3 + 3 \times 10^2 + 5 \times 10^1 + 0 \times 10^0 + 2 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$, 式中 10^3 、 10^2 、 10^1 、 10^0 、 10^{-1} 、 10^{-2} 是根据每一数码所在的位置而定的,所以称之为位权,十进制中的数码为0、1、2、...、9十个,其进位规律是逢十进一,即 $9 + 1 = 10$ 。

由此,可以得出十进制数的一般表达式。如果一个十进制数包含 n 位整数和 m 位小数,则

$$\begin{aligned} N_{10} &= a_{n-1} \times 10^{n-1} + a_{n-2} \times 10^{n-2} + \cdots + a_1 \times 10^1 + a_0 \times 10^0 \\ &\quad + a_{-1} \times 10^{-1} + a_{-2} \times 10^{-2} + \cdots + a_{-m} \times 10^{-m} \\ &= \sum_{i=-m}^{n-1} a_i \times (10)^i \end{aligned} \quad (1.2.1)$$

式(1.2.1)中每一项都等于系数 a_i 乘以该位所具有的权,即10的 i 次幂,整数部分的权为10的正幂,小数部分的权为10的负幂,乘上了权的系数称为加权系数。这样,十进制数的数值等于各加权系数之和。

十进制的位权关系列于表1.2.1。

(2) 二进制

在数字电路中常采用的是二进制(Binary),因为二进制的两个数码0和1可以与电路的两个状态(饱和与截止)直接对应。二进制是以2为基数的计数体制,其计数方法是逢二进一(或借