



电子与信息技术应用专业  
高职高专规划教材

# 现代电子技术基础

(下册)

教育部机械职业教育教学指导委员会  
中国机械工业教育协会 组编

主编 王成安



GUIHUA JIAOCAI

 机械工业出版社  
CHINA MACHINE PRESS

gz



高职高专规划教材  
(电子与信息技术应用专业)

# 现代电子技术基础

(下 册)

教育部机械职业教育教学指导委员会 组编  
中国机械工业教育协会  
主 编 王成安  
副主编 苏德深 渠立岩  
参 编 王 超 王 艳 方庆山  
贾厚林 吴俊芹  
主 审 童建华



机械工业出版社

10h  
7-08

本书从高职教育的角度,以全新的理念介绍现代电子技术的基础知识,以基础知识为引导,突出介绍电子技术的新发展、新器件、新电路、新技术、新工艺,特别注重实践应用,贴近岗位技能需要。为方便教学与学生自学,在每章首写有本章导读,章末有本章小结、动手做、实用资料、自测题和练习题。与本书配套的教材有《现代电子技术实践》。

全书共分19章,分上、下册出版。上册内容包括半导体器件及其应用、基本放大电路及其分析方法、多级放大电路及其频率特性、差动放大电路与集成运放、放大电路中的负反馈、集成运放的应用、集成功率放大器、信号的产生和波形变换、现代光电器件及其应用。下册内容包括逻辑电路基础、集成组合逻辑电路、触发器与集成定时器、集成时序逻辑电路、集成数模转换器和模数转换器、可编程逻辑器件及其应用、开关型稳压电源与实际电路分析、现代常用传感器及其应用、现代电子电力器件及其应用和电子电路图的读图。

本书适用于高职电子与信息技术专业、应用电子技术专业、电类其他专业做为电子技术基础课教材,还可供从事电子技术的工程技术人员参考。

#### 图书在版编目(CIP)数据

现代电子技术基础.下册/王成安主编. —北京:机械工业出版社,2004.8

高职高专规划教材

ISBN 7-111-14916-5

I. 现... II. 王... III. 电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第069505号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:王世刚 于宁 责任编辑:王宁

版式设计:霍永明 责任校对:陈延翔

封面设计:姚毅 责任印制:施红

北京铭成印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2004年9月第1版第1次印刷

787mm×1092mm<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·13印张·320千字

定价:20.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换  
本社购书热线电话(010)68993821、88379646  
封面无防伪标均为盗版

# 机电类高等职业技术教育教材建设 领导小组人员名单

顾问：郝广发

组长：杨黎明

成员：刘亚琴

姜立增

储克森

李超群

李向东

薛涛

惠新才

刘大康

王世刚

鲍风雨

## 电子与信息技术应用专业教材编审委员会

焦斌

王成安

杨海祥

童建华

储克森

文国电

石小法

易培林

黄家善

钱金法

曹克澄

孟凤果

薛涛

章彬宏

曹振军

于宁

赵辉

于淑萍

杨清学

《现代电子技术基础》是为高职院校的电子与信息技术应用专业、应用电子技术专业及电类其他专业编写的一本崭新的教材。本书分上、下两册出版。

电子技术的发展已经达到了如此的程度，使得过去将电子技术基础简单划分为模拟电子和数字电子两部分已无法涵盖现代电子技术所需的基础知识，也不适应高职教育对电子技术基础教学的要求。比如大家熟悉的时基电路 555 就是模拟电路与数字电路的有机结合，很难将其划分为是模拟电子或是数字电子；现在正在兴起的 D 类放大器，晶体管工作在开关状态，输入和输出的却是模拟信号；实际的电子电路中几乎无一不包含各种传感器件和各种负载，而传统的电子技术基础却只讲中间的电路部分，形成有中间无首尾的状况；各个院校每个学期的学时数不同，很难将学时数与恰恰安排在本学期的模拟电子或数字电子的教学内容协调起来。由于电子技术的发展非常迅速，各种新器件、新电路、新技术、新工艺如雨后春笋般涌现，电子技术基础的教材必须及时反映出这些新进展，与时俱进，才能胜任现代电子技术基础的教学任务。特别是在大规模集成电路被广泛应用的今天，电子技术正朝着专用电子集成电路(ASIC)方向、硬件和软件合为一体的电子系统(CPLD 和 FPGA)方向发展，以硬件电路设计为主的传统设计方法，正向着充分利用器件内部资源和外部引脚功能的设计方法转化。正是从适应高职教学和现代电子技术基础的实际需要出发，我们编写了这本教材，力图解决上述矛盾，反映新知识和新技术，介绍新器件和新电路，体现新思路和新方法，更好地为高职教育服务。

根据高等教育培养目标的要求，高职层次培养的人才必须具有大学专科的理论基础，并具有较强的本专业职业技能。高职教育培养的人才是面向生产第一线的技术型人才，这类人才不同于将学科体系转化为图样和设计方案的工程技术人员，而主要是如何把方案和图样转化为实物和产品的实施型高级技术人才，因此课程的教学内容必须要按照培养目标来制定。只有培养学生思考、会学习、会应用，才能使培养出的高职学生适应飞速发展的社会要求。

本书在力求保证基础、掌握基本概念的基础上，注重集成电路以及新器件、新电路的分析和应用，在编写中强调了理论联系实际和电子电路的读图能力，我们编写的目标是：

1) 现代电子技术基础是一门专业基础性质的课程，既要有知识的连续性，又要有知识的先进性，所以在内容的安排上，除了包含有模拟电子和数字电子的基本内容外，增加了现代光电器件、现代传感器件和电子技术的发展方向——可编程逻辑器件的知识内容。考虑到开关稳压电源在电子技术中的重要性，专门为其设立一章。对于这些知识的处理，不是讲不讲，而是怎样讲的问题。要遵循循序渐进的原则，由浅入深，深入浅出，由历史到现代，使电子技术教材的内容跟上时代的发展步伐。

2) 在知识的讲解上，以“必须”和“够用”为原则。对典型电路进行分析时，不做过于繁杂的理论推导；对于电子器件着重介绍其外部特性和主要参数，重点放在其使用方法和

实际应用上；对分立元件组成的电路尽可能精简，明确分立元件为集成电路服务的方向；对精选的集成电路主要介绍最新器件的型号、特点和典型应用。

3) 从高职的培养目标出发，本书在内容的安排上突破了传统的顺序：以章为段，以便更好地配合教学的进度和时数；在每章的章首安排了本章导言以引导学生进入本章的学习，在每章的章末安排有本章小结，归纳出本章的知识重点；在每章都精心设计了自测题和练习题，以方便教师和学生对本章的学习效果进行检查；更有特色的是，结合各章的知识内容，精心安排了“动手做”、“新资料”、“新技术”、“新工艺”等内容，为学生提供了花钱少、取材方便、容易制作、有实用价值的电子电路和一些不容易查找的新资料，相信会对提高学生的电子技术技能和开拓学生的视野有所帮助，为学生迈入电子世界的大门起到引路的作用。

4) 为了培养学生对电子设备电路图的识图能力，在教材中专门安排了电子电路的读图方法，并结合一些具体实例进行了分析，目的是使学生切实掌握对电子电路图的识图方法，增强分析问题和解决实际问题的综合能力。

本教材适用于普通高职、普通高校大专班的电子与信息技术应用专业(含应用电子技术等专业)，作为电子技术基础的教材，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人员参考。为方便老师授课，本书将备有免费教学课件，有需要者请与主编联系。

本书由辽宁省 2003 年高等教育专业精品课主讲人——辽宁机电职业技术学院王成安教授任主编，苏德深和渠立岩任副主编。王成安制定了编写大纲，撰写了前言、绪论、编写了第 1、2、3、4 章和附录，并对全书进行统稿。苏德深编写了第 5、6 章，方庆山编写了第 7、8 章，王超编写了第 9、18、19 章，渠立岩编写了第 10、11 章，吴俊芹编写了第 12、13 章，贾厚林编写了第 14、15 章，王艳编写了第 16、17 章。无锡商业职业技术学院童建华教授从高职教育的角度出发，仔细审阅了全书，对全书提出了很多宝贵的意见和建议。对书后所列参考书籍和资料的各位作者，编者表示深深的感谢。

尽管我们在现代电子技术基础教材的建设方面做了许多努力，但由于编者水平所限，加之时间仓促，书中不妥之处在所难免，在取材新颖性和实用性等方面定有诸多不足，敬请兄弟院校的师生和广大读者给予批评和指正。我们衷心盼望本书能对有志于从事电子技术应用的读者有所帮助。请您把对本书的意见和建议告诉我们，以便修订时改进。所有意见和建议请寄往：

E-mail: wang-ca420@sohu.com 联系电话: 0415-2533489

编者

Table with 2 columns: Page number and Content description. Includes entries for chapters 1 through 17 and appendices A through D.

# 目 录

前言	11.1.1 组合逻辑电路的分析方法	36
绪论	11.1.2 组合逻辑电路的设计方法	37
第 10 章 数字逻辑电路基础	11.2 集成组合逻辑器件	38
本章导言	11.2.1 编码器	38
10.1 数字系统中的计数体制和编码	11.2.2 译码器	42
10.1.1 二进制数	11.2.3 数据选择器	47
10.1.2 八进制数	11.2.4 数值比较器	49
10.1.3 十六进制数	11.2.5 加法器	51
10.1.4 不同进制数的相互转换	11.3 集成存储器	53
10.1.5 二进制数的四则运算	11.3.1 半导体存储器的概念	54
10.1.6 代码、编码与二进制码	11.3.2 只读存储器 ROM	54
10.2 逻辑代数基础	11.3.3 可编程只读存储器 PROM	54
10.2.1 逻辑变量和基本逻辑运算	11.3.4 可擦除可编程的只读存储器	54
10.2.2 逻辑代数中的基本定律	EPROM	54
10.2.3 逻辑代数的基本规则	11.3.5 可编程逻辑阵列 PLA	55
10.3 逻辑函数的化简	本章小结	55
10.3.1 逻辑函数的表示方法	动手做：一位十进制数码显示器	55
10.3.2 逻辑函数的最小项表达式	实用资料：常用国标和国外逻辑	
10.3.3 逻辑函数的公式法化简	电路符号对照表	55
10.3.4 用卡诺图化简逻辑函数	自测与练习	56
10.3.5 具有无关项的逻辑函数的化简	第 12 章 触发器与集成时基电路 555	58
10.4 基本逻辑门电路	本章导言	58
10.4.1 数字电路概述	12.1 触发器的基本电路	58
10.4.2 半导体开关器件	12.1.1 基本 RS 触发器	58
10.4.3 逻辑门电路	12.1.2 同步触发器	60
10.4.4 集成门电路	12.1.3 集成触发器	64
本章小结	12.2 触发器的转换	69
动手做：用与非门制作的触摸式延时开关	12.2.1 JK 触发器转换成 D 触发器	69
自测与练习	12.2.2 JK 触发器转换成 T、T' 触发器	69
第 11 章 集成组合逻辑电路	12.2.3 D 触发器转换成 T、T' 触发器	69
本章导言	12.3 用 555 构成数字电路的三种最基本	
11.1 组合逻辑电路的分析与设计	电路	70

12.3.1 555 时基电路的内部结构	70	本章导言	104
及其功能分析	70	14.1 模数转换器(ADC)	104
12.3.2 时基电路 555 构成三种最基本的	72	14.1.1 A/D 转换的基本步骤	104
数字电路	72	14.1.2 ADC 的基本原理	105
12.4 集成时基电路 555 的扩展应用	74	14.1.3 ADC 的主要技术指标	108
12.4.1 单稳态触发器的应用	74	14.2 集成模数转换器	109
12.4.2 多谐振荡器的应用	75	14.2.1 ADC0809 主要性能	109
12.4.3 施密特触发器的应用	77	14.2.2 ADC0809 引脚功能	110
12.4.4 双时基集成电路 556	77	14.2.3 ADC0809 的典型应用	110
本章小结	79	14.3 数模转换器(DAC)	111
动手做: 用 555 构成的全自动点火器	79	14.3.1 T 形电阻网络型 D/A 转换器	111
自测与练习	80	14.3.2 倒 T 形电阻网络型 D/A	112
<b>第 13 章 常用集成时序逻辑电路</b>	84	转换器	112
本章导言	84	14.3.3 D/A 转换器的主要技术指标	113
13.1 时序逻辑电路概述	84	14.4 集成数模转换器	114
13.1.1 时序逻辑电路的组成	84	14.4.1 DAC0832 的主要性能	114
13.1.2 时序逻辑电路的分类	84	14.4.2 DAC0832 的引脚功能	114
13.1.3 时序逻辑电路的分析方法	84	本章小结	116
13.2 集成寄存器	85	动手做: 集成低功耗数显温度计的	116
13.2.1 数码寄存器	85	设计与制作	116
13.2.2 移位寄存器	86	自测与练习	117
13.3 计数器的分析	90	<b>第 15 章 可编程逻辑器件及其应用</b>	119
13.3.1 计数器概述	90	本章导言	119
13.3.2 同步计数器的分析	90	15.1 可编程逻辑器件概论	119
13.3.3 异步计数器的分析	93	15.2 通用可编程逻辑器件 GAL	122
13.4 集成计数器	96	15.2.1 GAL 的特点与分类	122
13.4.1 集成计数器 74LS161	96	15.2.2 GAL 的电路结构和工作原理	122
13.4.2 用 74LS161 构成任意进制的	97	15.3 复杂可编程逻辑器件 CPLD	125
计数器	97	15.3.1 CPLD 的基本结构	125
13.4.3 集成计数器 74LS192	97	15.3.2 CPLD 的主要特点	126
13.4.4 74LS192 的应用	98	15.3.3 CPLD 的开发环境	126
本章小结	99	15.3.4 CPLD 的应用实例	127
动手做: 可逆循环彩灯控制器	99	15.4 现场可编程逻辑器件 FPGA	127
新技术和新器件: 快速闪存技术与 U 盘	100	15.4.1 FPGA 的结构	127
自测与练习	100	15.4.2 FPGA 的产品介绍及主要应用	128
<b>第 14 章 集成数模转换器和模数</b>	104	15.5 可编程逻辑器件的编程软件和	130
<b>转换器</b>	104	编程器	130



15.5.1 可编程逻辑器件的开发软件	130	16.6.2 长虹 2588 型彩色电视机的	148
MAX + PLUS II	130	电源电路	148
15.5.2 可编程逻辑语言	130	16.6.3 富丽 FV—55 型 VCD 电源电路	150
15.5.3 PLD 器件的设计流程	131	本章小结	151
15.5.4 编程器简介	131	实用资料: PWM 集成电路	151
本章小结	132	新技术: 交流输入电压为 85 ~ 270V 的	152
实用资料: ALTERA 公司的 MAX9000 系列产		直流稳压电源	152
品性能一览表	133	自测与练习	152
自测与练习	133	<b>第 17 章 现代常用传感器及其应用</b>	153
<b>第 16 章 开关型稳压电源与实际</b>		本章导言	153
<b>电路分析</b>	135	17.1 传感器的作用和种类	153
本章导言	135	17.1.1 概述	153
16.1 开关型稳压电源的组成与特点	135	17.1.2 传感器的作用	154
16.1.1 开关型稳压电源的组成	135	17.1.3 传感器的组成和分类	154
16.1.2 开关电源的特点	136	17.1.4 传感器的应用领域和发展方向	155
16.1.3 开关电源的分类	136	17.1.5 传感器的选用原则	157
16.2 并联型开关稳压电源及其应用	136	17.2 集成传感器	158
16.2.1 并联型开关稳压电源的组成	136	17.2.1 概述	158
16.2.2 并联型开关稳压电源的工作		17.2.2 力敏传感器	158
原理	136	17.2.3 磁敏传感器	160
16.2.3 并联型开关稳压电源的		17.2.4 温度传感器	162
应用	137	17.2.5 气敏传感器	164
16.3 串联型开关稳压电源及其应用	138	17.2.6 光敏传感器	166
16.3.1 串联型开关稳压电源的		本章小结	167
组成	138	动手做: 用半导体晶体管做为温度传感器	167
16.3.2 串联型开关稳压电源的工作		制作温度计	167
原理	138	实用资料: 微型压力变送器 LD200 系列	168
16.3.3 串联型开关稳压电源的应用	138	自测与练习	168
16.4 开关变压器型稳压电源及其应用	140	<b>第 18 章 现代电力电子器件及其</b>	
16.4.1 单管式直流变换器	140	<b>应用</b>	170
16.4.2 推挽式直流变换器	141	本章导言	170
16.4.3 桥式直流变换器电路	143	18.1 普通晶闸管	170
16.5 脉宽调制控制型(PWM)集成电路	143	18.1.1 晶闸管的结构	170
16.5.1 由 MC3520 构成的开关电源	143	18.1.2 晶闸管的工作原理	171
16.5.2 由 UC3842 构成的开关电源	145	18.1.3 晶闸管的伏安特性	172
16.6 实际开关稳压电源电路分析	146	18.1.4 晶闸管的主要参数	173
16.6.1 松下 DVD—A300 型影碟机		18.1.5 晶闸管的测量	173
电源电路	146		

18.2 功率场效应晶体管(Power MOSFET) …	174	自测与练习 ……………	184
18.2.1 功率 MOSFET 的结构和工作原理 ……………	174	<b>第 19 章 电子电路图的读图</b> ……………	185
18.2.2 功率 MOSFET 的主要特性 ……………	174	本章导言 ……………	185
18.2.3 功率 MOSFET 的主要参数 ……………	176	19.1 电子电路图的种类 ……………	185
18.3 绝缘栅双极型晶体管 ……………	177	19.1.1 电路原理图 ……………	185
18.3.1 IGBT 的结构和工作原理 ……………	177	19.1.2 电路框图 ……………	185
18.3.2 IGBT 的主要特性 ……………	178	19.1.3 电路接线图 ……………	186
18.3.3 IGBT 的主要参数 ……………	178	19.2 电子电路图的读图方法和典型电路分析 ……………	187
18.3.4 智能型器件 IPM ……………	179	本章小结 ……………	192
18.4 现代电力电子技术应用实例分析 ……………	180	自测与练习 ……………	192
18.4.1 晶闸管调速系统 ……………	180	<b>附录</b> ……………	193
18.4.2 用功率 MOSFET 构成高频电源 ……	182	附录 A 74 × × × 系列集成电路逻辑功能速查表 ……………	193
18.4.3 逆变器 ……………	182	附录 B 常用 MOSFET 管的主要参数 ……………	197
本章小结 ……………	183	<b>参考文献</b> ……………	198
动手做: 电子调光台灯 ……………	183		
实用资料: KP 型晶闸管的主要参数 ……………	183		

## 绪 论

世纪交替，风云际会。世界正在受到新科技革命浪潮的冲击，科学技术正处在历史上最伟大的变革时期。在 20 世纪为人类生产和生活条件的改善做出巨大贡献的电子技术，仍然充当着新世纪高新技术的领头羊。电子技术的发展历史很短，迄今不过百年，却从根本上改变了世界的面貌。纵观电子技术的发展历程，炎黄子孙将感到振兴中华的责任重大而迫切，中国的科学技术面临着国情的挑战，面临着世界的挑战，面临着 21 世纪的挑战。

电子技术的发展大致可分为三个阶段。20 世纪 20~40 年代为第一阶段，以电子管为标志，由此促使了电子工业的诞生，发展了无线电广播和通信产业。1946 年诞生的世界上第一台电子计算机(美国制造,名为 ENIAC)可以认为是这个阶段的典型代表和终极产品。虽然它的运算速度只有 5000 次/s，却是一个重为 28t、体积为 85m<sup>3</sup>、占地 170m<sup>2</sup> 的庞然大物。它由 18000 个电子管组成，耗电 150kW，其内部的连线总长可以绕地球 20 圈。

1948 年，第一只半导体晶体管的问世，标志着电子技术第二阶段的开始，掀起了电子产品向小型化、大众化和高可靠性、低成本进军的革命风暴。半导体进入电子领域，促进了无线广播电视和移动通信的高度发展，使得计算机的小型化变为现实，导致了人造地球卫星遨游太空。电子产品逐渐由科研和军用领域向民用领域普及，极大地改善了人们的生活质量。

到 20 世纪 70 年代，集成电路的使用已经不再新奇，电子技术步入了第三个发展阶段。正是在这个阶段，电子技术飞速发展，各种电子产品如雨后春笋般涌现，世界进入了空前繁荣的电子时代。电子计算机朝着大型化和微型化发展，其使用领域由科研转向工业及各个行业，自动控制、智能控制得以真正实现，航天工业得到从未有过的发展。随着制造工艺的提高，在一块 36mm<sup>2</sup> 的硅片上制造 100 万个晶体管已经不是梦想。1999 年美国英特尔公司宣布，其生产的奔腾 4 CPU，在一块芯片上集成了 2975 万个晶体管，使微型机的运算速度远远超过以往的大型计算机。掌上电脑已经问世，移动通信已发展到全球通，数字式 CDMA 通信技术已非常成熟，手机已不再是奢侈品。笔记本电脑正在把人们的工作地点从办公室里解放出来。家用电器基本普及，人们的生活质量大幅提高，中国古代传说中的“千里眼”和“顺风耳”都在电子技术的发展过程中变成现实。人们可以“上九天揽月”，能够“下五洋捉鳖”。2003 年，人类将高度智能化的火星探测器送上火星，研制成功了可用于修补大脑的集成电路芯片，量子计算机的基本电路也研制成功。这一切都有赖于电子技术的巨大成就。可以预料，在新的世纪里，电子技术仍将高速发展，其所能达到的水平和发展速度，无论你怎么想像都不过分。

我国的电子工业在解放前基本上是空白。新中国成立后，在一批归国科学家的引领下，于 1956 年自主生产出第一只半导体晶体管，1965 年生产出第一块集成电路，1983 年研制出银河 I 型亿次机，标志着中国的计算机行业迈入了巨型机的行列。1992 年我国又研制出十

亿次银河计算机, 1995 年研制成功的曙光 1000 型并行处理计算机, 其运行速度可达 25 亿次/s。2003 年, 曙光 4000L 百万亿数据处理超级服务器研制成功, 每秒峰值速度达到 6.75 万亿次。我国的电子工业从无到有, 从小到大, 虽然起步晚, 但起点高, 现在我国家用电器的产量已居世界第一, 质量提高也很快。神州系列载人飞船的成功发射和回收, 标志着我国在空间技术领域已跃居世界前列。这些成就的取得, 电子技术功不可没。尽管如此, 我国在电子核心元器件的生产和高级电子产品等方面, 与发达国家相比还有较大差距。努力缩小差距, 赶超世界先进水平, 这正是历史赋予我们这一代人的光荣使命。

电子技术的知识范围很广, 其分支也很多, 有些分支已发展成为一门独立的学科, 如计算机、单片机、晶闸管、可编程序控制器等, 但这些学科的知识基础仍然是电子技术。

从对信号的处理方式上来分, 电子技术可分成模拟电子技术和数字电子技术。模拟电子技术是研究使用硅、锗等半导体材料做成的电子器件组成的电子电路, 对连续变化的电信号(如正弦波)进行控制、处理的应用科学技术。比如我们日常生活中使用的固定电话、收音机、电视机等都属于模拟电子技术应用的产品。数字电子技术是研究处理二值数值信号的应用科学技术。像 VCD 机、DVD 机、数码照相机、数码摄像机和计算机都是数字电子技术应用的典型产品。现代电子技术的发展, 已经将模拟电子技术和数字电子技术融为一体, 在一个电路甚至是一个芯片中, 将模拟信号和数字信号同时进行处理, 比如移动通信所使用的手機, 就是将语音这样的模拟信号进行数字化处理后再发射出去。

从电子技术所包含的内容上来分, 电子技术可以分成电子元器件和电子电路两部分。在电子元器件这部分内容中, 主要研究各种电子元器件的结构、特点、主要参数和生产工艺, 其设计和制造属于电子技术的一个重要领域, 但不在本书的研究范围内。电子电路是把电子元器件按照对电信号处理的要求进行一定的连接, 以实现预定的功能, 它的种类很多, 过去是将其分成模拟电路和数字电路分别进行阐述, 现在已不能简单地将其划分为哪一部分了。

高等职业院校电类专业的学生都必须学习现代电子技术基础这门课, 这是电子技术入门性质的课程。这本教材将把现代电子技术中最需要的基础内容加以阐述, 当然也要涉猎到一些电子技术在生产和生活方面的实际应用。我们要学习现代电子技术中的基本概念和基本原理, 学习基本的电子电路和新型的电子电路, 掌握电子电路的分析方法, 认识和使用现代电子技术中常用的电子元器件和新型元器件, 要学习现代电子电路设计的新思想和新方法, 了解现代电子技术的新工艺和新技术, 还要学习电子电路中常用的传感器件, 学会读电子电路图, 这样才能掌握比较扎实的电子技术基础, 为学习电子技术专业课打下良好的基础。

电子技术是一门实践性很强的课程, 我们要在学习理论的基础上, 多参与实践, 通过做电子实验和参加电子实训, 学习和掌握电子技术方面的基本技能。同学们通过学习电子技术要达到四会: 会认识和检测常用电子元器件、会认识和分析常用基本电子电路、会焊接和安装小型电子电器产品、会调试和维护小型电子系统。通过实践你会发现, 电子技术就在你的身边, 学习电子技术, 会激起你的极大兴趣, 会给你带来无穷的欢乐。让我们共同遨游在电子世界的海洋里, 为社会的发展和进步, 为人类生活的更加美好, 做一名合格的建设者。当然, 你也会分享到社会进步带给你的幸福。

## 第 10 章 数字逻辑电路基础

### 本章导言

现今社会已经进入了数字时代，而数字时代是建立在数字电子技术的基础上。数字电子技术在近三十年来得到了飞速发展，已经渗透到各个领域，极大地改变了世界的面貌。为什么数字电子技术有如此大的魔力？数字电子技术都有哪些奥妙？让我们先来认识一下逻辑代数，它虽然是一门有着近两百年历史的数学学科，却是指导和设计数字电路的理论基础和强大工具，领略了逻辑代数的基本知识后，你将会发现，原本枯燥无味的数字也竟然有如此奇妙。逻辑代数将为你开启一扇分析和设计数字电路的大门，在此基础上发明的逻辑电路将带你迈进数字电子世界的殿堂。

### 10.1 数字系统中的计数体制和编码

在日常生产生活中，人们已经习惯了使用十进制的计数体系，而在电子电路系统中，采用二进制计数体系将更加方便和实用。数制是计数体制的简称，在电子技术领域常用到的数制除了二进制外，还有八进制和十六进制。这些数制所用的数字符号叫做数码，某种数制所用数码的个数称为基数。

#### 10.1.1 二进制数

常用的十进制数，由 0、1、2……9 十个数码组成，十进制数数制的基数为十。数的组成从左向右由高位到低位排列，计数时“逢十进一，借一当十”。数码在不同的位置上，其代表的数值不同，称之为“位权”，或简称为“权”。

二进制数只有两个数码，用 0 和 1 表示，两个数码按一定的规律排列起来，可以表示数值的大小，其计数规律是“逢二进一，借一当二”。二进制数数制的基数是二。

例如 1011 这个四位二进制数，它可以写成

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

它们是从低位到高位依次排列，低位在右，高位在左。

#### 10.1.2 八进制数

八进制数有 0~7 共八个数码，基数为八，计数时“逢八进一，借一当八”。其组成也是从左向右由高位到低位排列，每一位的位权值为 8 的整数次幂。八进制数按位权展开的方法与二进制数相同，例如 371<sub>8</sub> 这个三位八进制数，它可以写成：

$$(371)_8 = 3 \times 8^2 + 7 \times 8^1 + 1 \times 8^0$$

### 10.1.3 十六进制数

十六进制数比二进制数和八进制数的位数少，因此在现代计算机技术中得到广泛使用。十六进制数有 0~9 和 A、B、C、D、E、F 共 16 个数码，基数为十六，计数时“逢十六进一，借一当十六”。数的组成也是从左向右由高位到低位排列，每一位的位权值为 16 的整数次幂。例如 3FA2 这个四位十六进制数，它可以写成：

$$(3FA2)_{16} = 3 \times 16^3 + 15 \times 16^2 + 10 \times 16^1 + 2 \times 16^0$$

言号章本

### 10.1.4 不同进制数的相互转换

有了权的概念，就能够很容易地将不同进制的数进行相互转换。

#### 1. 二进制数和十进制数的相互转换

欲将二进制数转换成十进制数，只要将二进制数中为 1 的那些位的权相加，所得的值就是它所对应的十进制数。例如将二进制数 1011 转换成十进制数，可写成：

$$(1011)_2 = 1 \times 2^3 + 1 \times 2^2 + 1 \times 2^0 = 8 + 4 + 1 = (13)_{10}$$

欲将十进制数换算为二进制数，可采用“除二取余法”。即将十进制数连续除以 2，直至整数商为零。十进制数被 2 相除时，每次所得的余数非 1 即 0，将余数由下到上依次排列，就得到相应的二进制数。例如：

	余数	
2	29	… 1    低
2	14	… 0    位
2	7	… 1    ↑
2	3	… 1    高
2	1	… 1    位
	0	

结果为： $(29)_{10} = (11101)_2$

#### 2. 十六进制、八进制数和十进制数的互换

将十六进制、八进制数转换成十进制数的方法和将二进制数转换成十进制数的方法相似。只需将十六进制数或八进制数的各位数码与该位位权的乘积求和，例如将十六进制数 4A5F 转换成十进制数，可写成：

$$(4A5F)_{16} = 4 \times 16^3 + 10 \times 16^2 + 5 \times 16^1 + 15 \times 16^0 = (19039)_{10}$$

将八进制数  $247_8$  转换成十进制数，可写成：

$$(247)_8 = 2 \times 8^2 + 4 \times 8^1 + 7 \times 8^0 = (167)_{10}$$

将十进制数转换成十六进制、八进制数的方法和将十进制数转换成二进制数的方法相似。只需将十进制数分别除以十六或除以八再取余，一直除到整数商为零为止。第一次得到的余数为最低位。例如十进制数 125 转换成十六进制、八进制数，可分别写成：

	余数	乘	减	加
8   125	... 5	1011	低位	1101
8   15	... 7	1011 ×	↑	0111
8   1	... 1	1011	高位	1101 +
0		0000		11001
		1011		
		100001		

结果为:  $(125)_{10} = (175)_8$

	余数	乘	减	加
16   125	... D		低位	
16   7	... 7		↑	
0			高位	

结果为:

$$(125)_{10} = (7D)_{16}$$

### 3. 二进制数和十六进制、八进制数的互换

由于十六进制数的基数为  $16 = 2^4$ , 因此一个四位二进制数就相当于一个一位十六进制数。所以将二进制数转换成十六进制数的方法是, 将一个二进制数从低位向高位, 每四位分成一组, 每组对应转换成一一位十六进制数。例如:

$$(100110111)_2 = (137)_{16}$$

——八进制数的基数为  $8 = 2^3$ , 因此一个三位二进制数就相当于一个一位八进制数, 所以将二进制数转换成八进制数的方法是, 将一个二进制数从低位向高位, 每三位分成一组, 每组对应转换成一一位八进制数。例如:

$$(100110111)_2 = (467)_8$$

将十六进制数转换成二进制数的方法, 是从高位向低位开始, 将每一位十六进制数转换成四位二进制数。

将八进制数转换成二进制数的方法, 是从高位向低位开始, 将每一位八进制数转换成三位二进制数。例如:

$$(A19)_{16} = (101000011001)_2$$

$$(712)_8 = (111001010)_2$$

### 10.1.5 二进制数的四则运算

和十进制数一样, 二进制数也能进行四则运算。

加法运算规则为:

$$0 + 0 = 0 \quad 0 + 1 = 1 \quad 1 + 0 = 1 \quad 1 + 1 = 10$$

乘法运算规则为:

$$0 \times 0 = 0 \quad 0 \times 1 = 0 \quad 1 \times 0 = 0 \quad 1 \times 1 = 1$$

减法和除法为加法和乘法的逆运算。举例如下:

加法 $\begin{array}{r} 1110 \\ + 1011 \\ \hline 11001 \end{array}$	减法 $\begin{array}{r} 1011 \\ - 101 \\ \hline 110 \end{array}$	乘法 $\begin{array}{r} 1101 \\ \times 101 \\ \hline 1101 \\ 0000 \\ 1101 \\ \hline 100001 \end{array}$	除法 $\begin{array}{r} 11 \\ 110 \overline{)10010} \\ \underline{110} \phantom{0} \\ 110 \phantom{0} \\ \underline{110} \\ 0 \end{array}$
---	--	---	--

要特别注意，在加法运算中， $1+1=10$ ，即逢二进一。在减法运算中，当某位被减数小于减数时，要向相邻高位借位，则借一当二。

### 10.1.6 代码、编码与二进制码

在数字系统中，常常采用一定位数的二进制码来表示各种图形、文字、符号等特定信息，通常称这种二进制码为代码。所有的代码都是用二进制数码“0”和“1”的不同组合构成，但在这里的二进制数并不表示数值的大小，而是仅仅表示某种特定信息。 $n$ 位二进制数有 $2^n$ 种不同的组合，可以代表 $2^n$ 种不同的信息。建立这种代码与图形、文字、符号或特定对象之间一一对应关系的过程，就称为编码。下面介绍几种常见的二进制码。

#### 1. BCD 码

BCD 码是用四位二进制数来表示一位十进制数。由于四位二进制数有 16 种不同的状态组合，而十进制数只有 0~9 十个数码，所以只需选择其中的十种状态组合，就可以实现编码。从十六种组合中选择十种组合有多种方案，所以 BCD 码有多种编码方案。表 10-1 所示为 0~9 十个数码的几种不同的编码方案。

表 10-1 几种常用的 BCD 码

十进制数	8421 码	5421 码	2421 码	余三码
0	0000	0000	0000	0011
1	0001	0001	0001	0100
2	0010	0010	0010	0101
3	0011	0011	0011	0110
4	0100	0100	0100	0111
5	0101	1000	1011	1000
6	0110	1001	1100	1001
7	0111	1010	1101	1010
8	1000	1011	1110	1011
9	1001	1100	1111	1100

(1) 8421BCD 码 8421BCD 码是一种最基本最常用的编码，它是一种有权码，其中“8421”是指在这种编码中，代码从高位到低位的位权值分别为 8、4、2、1 用 8421BCD 代码对十进制数进行编码，正好和十进制数的各位数字分别用四位二进制数表示出来相吻合。例如要将十进制数 $(57)_{10}$ 用 8421BCD 代码来表示，就是：

$$(57)_{10} = (0101\ 0111)_{8421\text{BCD}}$$

虽然在一组 8421BCD 代码中，每位的位权值与四位二进制数的位权值相同，但二者的意义是完全不同的，一个是代码，一个是数值。在 8421BCD 代码中，每一组的四位数之间是二进制关系，组与组之间却是十进制的关系。

(2) 2421BCD 代码 2421BCD 代码也是一种有权码，在一组代码中，从高位到低位，每



位的位权值分别为 2、4、2、1。每一组代码各位的加权系数之和为其所代表的十进制数。

(3) 5421BCD 码 5421BCD 代码也是一种有权码，从高位到低位，每位的位权值分别为 5、4、2、1。每组代码各位的加权系数之和为其代表的十进制数。

(4) 余三码 余三码是由 8421BCD 的每组代码加上 0011 (加上 3) 形成的，是一种无权码。

## 2. 可靠性代码

各种二进制代码在形成和传输的过程中难免会产生错误，为了减少代码的差错，或在代码出现差错能及时得到发现和纠正，就必须采用可靠性代码。常用的可靠性代码有格雷码和奇偶校验码。

(1) 格雷码 格雷码是一种无权码，其编码方案很多。典型的格雷码如表 10-2 所示，其特点是任意两组相邻的代码(包括首、尾两个码组)之间只有一位码不同，其余各位的码都相同，因此格雷码是一种循环码。格雷码的这种特性使它在形成和传输的过程中，产生的错误很容易被检测出来，从而减少了误差。

表 10-2 典型的格雷码与 8421BCD 码的比较

十进制数	8421BCD 码	格雷码	十进制数	8421BCD 码	格雷码
0	0000	0000	8	1000	1100
1	0001	0001	9	1001	1101
2	0010	0011			
3	0011	0010			
4	0100	0110			
5	0101	0111			
6	0110	0101			
7	0111	0100			

(2) 奇偶校验码 奇偶校验码是可以检测出代码中有一位码发生错误的代码。它由两部分组成：一部分是需要传输的信息位，它是位数不限的二进制代码；另一部分是奇偶校验位，它仅有一位，排在每组代码的最低位。其编码方式有两种：使整个代码中“1”的个数总和为奇数的，称为奇校验；使得“1”的个数总和为偶数的，称为偶校验。接收方对接收到的奇偶校验码进行检测，若每组代码中“1”的个数与约定的不相符，则此组代码为错码。表 10-3 所示为 8421BCD 码的奇偶校验码。

表 10-3 8421BCD 奇偶校验码

十进制数	带奇校验的 8421BCD 码		带偶校验的 8421BCD 码	
	信息位	校验位	信息位	校验位
0	0000	1	0000	0
1	0001	0	0001	1
2	0010	0	0010	1
3	0011	1	0011	0
4	0100	0	0100	1
5	0101	1	0101	0
6	0110	1	0110	0
7	0111	0	0111	1
8	1000	0	1000	1
9	1001	1	1001	0