



高等技术应用型人才培养规划教材·电子信息类专业

电子技术与应用



张虹 主编



电子工业出版社

PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

<http://www.phei.com.cn>

TN01/107

2008

高等技术应用型人才培养规划教材·电子信息类专业

电子技术与应用

张 虹 主编

电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

为适应电子信息时代的新形势和应用型本科院校培养应用型人才的迫切需要,经过教学改革与实践,我们编写了这本《电子技术与应用》。

本教材知识全面,深入浅出,通俗易懂。在保证基本理论知识的同时,注重引入新知识、新技术;注重理论联系实际,培养学生的各方面能力。

全书共分 13 章:绪论,半导体器件,基本放大电路,集成运算放大器及其应用,直流稳压电源,逻辑代数基础,集成逻辑门电路,组合逻辑电路,触发器,时序逻辑电路,脉冲波形的产生与变换,数/模、模/数转换器,电子技术课程设计。各章均配有经典例题和习题,书后附有习题参考答案。

本书适于作为高等院校计算机、电子、通信、机电、控制等专业本科和专科的教材,也可作为自学考试和从事电子技术工程人员自学用书。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。
版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术与应用/张虹主编. —北京:电子工业出版社, 2008.3
高等技术应用型人才培养规划教材·电子信息类专业
ISBN 978-7-121-06009-0

I. 电… II. 张… III. 电子技术—高等学校—教材 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 018180 号

责任编辑:贺志洪 特约编辑:张晓雪

印 刷:北京市顺义兴华印刷厂

装 订:三河市双峰印刷装订有限公司

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本:787×1 092 1/16 印张:19.5 字数:499.2 千字

印 次:2008 年 3 月第 1 次印刷

印 数:4 000 册 定价:29.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zltts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

前 言

近年来新建本科院校大都以应用型为办学定位,形成了一批占全国本科高校总数近 30% 的与传统本科院校不同的应用型本科院校。

应用型本科院校就是培养本科层次应用型人才的高等学校,之所以称为应用型本科院校,最终还是要落脚到它的人才培养上,即主要是对这类学校的人才培养目标、规格以及人才类型、层次做出规定。它把人才培养目标定位在一线或实际岗位群,使其具有适应高新技术发展及自我学习、提高的能力。所以,应用型本科教育既非宽泛的工程科学教育,亦非狭窄的职业技能培训,而是培养适应工业、工程生产第一线现实和发展需要的工程应用型、技术应用型人才,是保证本科人才的基本素质,又具有现代职业技术教育特征的高等教育。

为此,应用型本科教材的编写就要体现和满足它的人才培养模式与培养目标。要充分体现“应用、实用、适用”的特色,适应高等院校培养高层次应用人才的实际需要,致力于培养应用型人才的创新精神和实践能力。

本教材即是围绕以上宗旨进行编写的。参编人员大都是双师型教师,有着丰富的工程实践经验,能够从实用角度出发对问题进行论证和阐述,例题、习题的选取也具有这个特点。总之,本教材注重以下 5 方面的问题:(1) 保证基础,加强概念,培养思路;(2) 精选内容,主次分明,详略得当;(3) 面向更新,联系实际,理论与实践并重,知识与技能并重;(4) 问题分析深入浅出,文字叙述通俗易懂,图文并茂,例题精选,便于自学;(5) 理论知识以够用为目的,重点加强实际应用。考虑到当前电子技术飞速发展、日益更新的趋势,本书加强了新技术的内容,尤其突出集成电路芯片引脚及应用方面的介绍。此外,本书最后一章结合所学理论,列举几个与实际生活密切相关的电子设计题目,旨在培养学生理论联系实际、解决实际问题的能力。

参加本书编写的人员主要来自潍坊学院及潍坊科技学院,具体编写情况是:张虹(前言、第 1、2、3、12、13 章),刘晓亮(第 5、6、章),杜德(第 9、10 章),刘贞德(第 4、7 章),李耀明(第 8 章),杨洁(第 11 章)。本书由张虹担任主编,并统编全稿。此外,参加本书编写的还有:王立梅、陈光军、李厚荣、张元国、孙俊香、高寒、纪官焱、于钦庆、齐丽丽。

编写过程中,由于时间仓促,加之水平有限,书中错误和不妥之处在所难免,敬请各方面的读者予以批评指正,以便今后不断改进。

编 者

2008 年 1 月

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 电子技术的发展与应用领域	1
1.1.1 电子技术的发展	1
1.1.2 电子技术的应用领域	1
1.2 信号与电子系统	2
1.2.1 模拟信号和数字信号	2
1.2.2 电子系统	3
1.3 电子电路的计算机辅助分析和设计软件介绍	4
1.3.1 PSpice	5
1.3.2 Multisim	5
本章小结	5
第 2 章 半导体器件	6
2.1 半导体特性和 PN 结	6
2.1.1 半导体特性	6
2.1.2 PN 结	7
2.2 半导体二极管	9
2.2.1 二极管的结构和型号	9
2.2.2 二极管的伏安特性	10
2.2.3 二极管的主要参数	11
2.2.4 二极管的应用电路	11
2.2.5 特殊二极管	13
2.3 半导体三极管	16
2.3.1 三极管的结构、外形及型号	16
2.3.2 三极管的电流放大原理	18
2.3.3 三极管的共射特性曲线	20
2.3.4 三极管的主要参数	21
2.4 场效应管	22
2.4.1 N 沟道增强型 MOS 管	22
2.4.2 N 沟道耗尽型 MOS 管	24
2.4.3 场效应管和三极管比较	24
本章小结	25
习题 2.....	25
第 3 章 基本放大电路	29
3.1 基本放大电路的组成	29
3.1.1 信号放大的基本概念	29

3.1.2	放大电路的主要性能指标	29
3.1.3	基本放大电路的组成	31
3.2	基本放大电路的工作原理	32
3.2.1	放大电路的静态	32
3.2.2	放大电路的动态	33
3.2.3	放大电路中电压、电流符号使用规定	33
3.3	基本放大电路的分析方法	33
3.3.1	直流通路与交流通路	33
3.3.2	静态分析	34
3.3.3	动态分析	35
3.4	放大电路静态工作点的稳定	38
3.4.1	温度对静态工作点的影响	39
3.4.2	静态工作点稳定电路	39
3.5	共集电极放大电路	41
3.5.1	电路的基本分析	41
3.5.2	共集电极电路的特点和应用	43
3.6	多级放大电路	43
3.6.1	多级放大电路的耦合方式	43
3.6.2	多级放大电路的动态分析	45
	本章小结	45
	习题 3	46
第 4 章	集成运算放大器及其应用	49
4.1	集成电路概述	49
4.1.1	集成电路及其发展	49
4.1.2	集成电路的特点及分类	49
4.1.3	集成电路制造工艺简介	50
4.2	集成运放的基本组成及功能	51
4.2.1	偏置电路——电流源	51
4.2.2	输入级——差动放大电路	52
4.2.3	输出级——功率放大电路	57
4.3	理想运算放大器	62
4.3.1	理想运放的技术指标	62
4.3.2	理想运放的两种工作状态	62
4.4	反馈放大电路	63
4.4.1	反馈的基本概念及判别方法	64
4.4.2	负反馈对放大电路性能的影响	67
4.5	集成运算放大器的线性应用	68
4.5.1	比例运算电路	68
4.5.2	加减运算电路	71

4.5.3	积分和微分运算电路	74
4.5.4	模拟乘法器及其应用	74
4.6	集成运算放大器的非线性应用	76
4.6.1	电压比较器概述	76
4.6.2	单限电压比较器	77
4.6.3	滞回电压比较器	77
4.6.4	双限电压比较器	79
	本章小结	80
	习题 4	81
第 5 章	直流稳压电源	84
5.1	直流稳压电源的组成	84
5.2	整流电路	84
5.2.1	单相半波整流电路	85
5.2.2	单相桥式全波整流电路	85
5.2.3	整流电路的主要参数	85
5.3	滤波电路	88
5.3.1	电容滤波电路	88
5.3.2	电感滤波电路	88
5.4	稳压电路	89
5.4.1	串联型稳压电路	89
5.4.2	集成稳压电路	90
	本章小结	92
	习题 5	92
第 6 章	逻辑代数基础	94
6.1	数字电路中使用的数制简介	94
6.1.1	二进制数	94
6.1.2	二进制数与其他进制数的转换	94
6.1.3	二进制正、负数的表示法	95
6.2	码制和常用代码	97
6.2.1	二-十进制编码 (BCD 码)	97
6.2.2	可靠性编码	98
6.2.3	字符码	100
6.3	逻辑代数	101
6.3.1	逻辑变量与逻辑函数	101
6.3.2	基本逻辑运算	101
6.3.3	复合逻辑运算	103
6.3.4	几个概念	104
6.4	逻辑函数的表示方法及其相互转换	104
6.4.1	真值表	105

6.4.2	逻辑表达式	105
6.4.3	逻辑图	106
6.4.4	波形图	107
6.4.5	卡诺图	107
6.5	逻辑代数的基本公式、定律和规则	108
6.5.1	基本公式	108
6.5.2	基本定律	109
6.5.3	基本规则	110
6.6	逻辑函数的化简	110
6.6.1	“最简”的概念及最简表达式的几种形式	111
6.6.2	逻辑函数的公式化简法	112
6.6.3	逻辑函数的卡诺图化简法	112
6.6.4	具有无关项的逻辑函数的化简	115
本章小结		117
习题 6		117
第 7 章 集成逻辑门电路		121
7.1	半导体器件的开关特性	121
7.1.1	半导体二极管的开关特性	121
7.1.2	半导体三极管的开关特性	121
7.1.3	MOS 管的开关特性	123
7.2	分立元件门电路	123
7.2.1	二极管与门	123
7.2.2	二极管或门	124
7.2.3	三极管非门(反相器)	124
7.3	集成 TTL 门电路	125
7.3.1	集成 TTL 与非门	125
7.3.2	集成 TTL 非门、或非门、集电极开路门和三态门	128
7.3.3	改进型 TTL 门电路——抗饱和 TTL 门电路	133
7.3.4	TTL 门电路的使用规则	134
7.4	集成 MOS 门电路	134
7.4.1	CMOS 门电路	135
7.4.2	CMOS 集成门电路及其使用规则	137
7.4.3	TTL 与 MOS 门电路之间的接口技术	137
本章小结		138
习题 7		139
第 8 章 组合逻辑电路		143
8.1	组合逻辑电路概述	143
8.1.1	组合电路的特点	143
8.1.2	组合电路的一般分析方法	143

8.1.3	组合电路的一般设计方法	145
8.2	常用中规模集成组合逻辑电路	147
8.2.1	编码器	147
8.2.2	译码器	152
8.2.3	加法器	158
8.2.4	数值比较器	159
8.2.5	数据选择器	162
8.2.6	数据分配器	165
8.3	组合电路中的竞争冒险	167
8.3.1	竞争冒险的概念及产生原因	168
8.3.2	竞争冒险的消除方法	168
	本章小结	170
	习题 8	170
第 9 章	触发器	173
9.1	触发器概述	173
9.1.1	触发器的功能特点	173
9.1.2	触发器的分类及逻辑功能描述方法	173
9.2	基本 RS 触发器	174
9.2.1	电路组成及逻辑符号	174
9.2.2	逻辑功能分析及描述	174
9.2.3	应用举例	175
9.3	同步触发器	177
9.3.1	同步 RS 触发器	177
9.3.2	同步 D 触发器	179
9.4	主从触发器	180
9.4.1	主从 RS 触发器	180
9.4.2	主从 JK 触发器	181
9.4.3	主从 T 触发器和主从 T' 触发器	183
9.5	边沿触发器	184
9.5.1	维持阻塞 D 触发器	184
9.5.2	边沿 JK 触发器	186
9.6	不同类型时钟触发器间的转换	187
9.6.1	转换原理	187
9.6.2	JK $\rightarrow$ D、T、T' 和 RS	188
9.6.3	D $\rightarrow$ JK、T、T' 和 RS	189
9.7	集成触发器应用电路举例	190
9.7.1	分频器电路	190
9.7.2	单脉冲产生电路	191
9.7.3	三相脉冲信号源	191

9.7.4 串行数值比较器	191
9.7.5 时间判别电路	192
本章小结	192
习题 9	193
第 10 章 时序逻辑电路	197
10.1 时序逻辑电路概述	197
10.1.1 时序电路的特点	197
10.1.2 时序电路逻辑功能的描述方法	197
10.1.3 时序电路的一般分析方法	198
10.1.4 常用时序电路	198
10.2 计数器	199
10.2.1 计数器的分类	199
10.2.2 同步计数器	200
10.2.3 异步计数器	208
10.2.4 集成计数器构成 N 进制计数器的方法	209
10.3 寄存器	212
10.3.1 数码寄存器	213
10.3.2 移位寄存器	214
10.3.3 寄存器的应用	216
10.4 时序逻辑电路的设计	219
10.4.1 设计方法及步骤	219
10.4.2 设计举例	219
本章小结	223
习题 10	223
第 11 章 脉冲波形的产生与变换	226
11.1 555 定时器	226
11.1.1 电路结构	226
11.1.2 基本功能	227
11.2 单稳态触发器	228
11.2.1 555 定时器构成的单稳态触发器	228
11.2.2 应用举例	229
11.3 多谐振荡器	229
11.3.1 555 定时器构成的多谐振荡器	230
11.3.2 应用举例	231
11.4 施密特触发器	232
11.4.1 555 定时器构成的施密特触发器	233
11.4.2 应用举例	234
本章小结	235
习题 11	235

第 12 章 D/A、A/D 转换电路	238
12.1 D/A 转换器	238
12.1.1 D/A 转换原理	238
12.1.2 倒 T 形电阻网络 D/A 转换器	239
12.1.3 D/A 转换器的主要技术指标	240
12.1.4 集成 DAC	241
12.2 A/D 转换器	244
12.2.1 A/D 转换的一般步骤	244
12.2.2 取样保持电路	245
12.2.3 逐次渐近型 A/D 转换器	246
12.2.4 双积分型 A/D 转换器	248
12.2.5 A/D 转换器的主要技术指标	249
12.2.6 集成 ADC	250
本章小结	251
习题 12	252
第 13 章 电子技术课程设计	254
13.1 电子技术课程设计概述	254
13.1.1 电子技术课程设计的目的与要求	254
13.1.2 电子技术课程设计的教学过程	254
13.1.3 电子电路的调试	257
13.1.4 电子电路的故障分析与处理	259
13.2 常用电子仪器	260
13.2.1 DF4321 双踪示波器	260
13.2.2 EM1642 函数信号发生器	264
13.2.3 SX2172 型交流毫伏表	266
13.2.4 仪器“接地”与“共地”问题	267
13.3 电子技术课程设计	268
13.3.1 电冰箱温度控制电路	268
13.3.2 司机酒后驾车限制电路	269
13.3.3 电压/频率转换电路(压控振荡器)	270
13.3.4 洗手自控器电路	271
13.3.5 感应式防盗报警电路	272
13.3.6 市电过、欠电压保护电路	273
13.3.7 简易调频无线话筒电路	274
13.3.8 医院住院病人“呼喊”器	276
13.4 电子技术课程设计题目汇集	278
13.4.1 模拟电路部分	278
13.4.2 数字电路部分	281
习题参考答案	284
参考文献	297

第1章 绪 论

【内容提要】本书作为电子技术基础课程的教材（包括模拟和数字两部分），将对目前一些常用的基本电子电路的分析与设计方法进行讨论。

本章首先介绍电子系统的发展与应用领域，电信号的分类及特点，电子系统的基本组成及功能，然后简要介绍了目前电子线路常用的计算机辅助分析与设计软件，如 PSpice 和 Multisim。本章是全书的导引与基础。

1.1 电子技术的发展与应用领域

电子技术是信息社会的基石。电子技术造就了我们的日常生活。家庭中有大量的电子产品，如收音机、电视机、录像机、高保真音响、盒式录音机及 CD 唱机、微波炉、手机及个人计算机……可以说，电子产品已经渗透了我们的大部分生活。

1.1.1 电子技术的发展

从电子整流装置到集成电路，电子技术的发展已经有 100 多年的历史。从工程应用角度看，可以用主要元器件的发展与应用作为里程碑。

1. 电子管阶段

电子管是一种在气密性封闭容器（一般为玻璃管）中产生电流传导，利用电场对真空中的电子流的作用以获得信号放大或振荡的电子器件。早期应用于电视机、收音机、扩音机等电子产品中，近年来逐渐被晶体管和集成电路所取代。

2. 半导体分立元件阶段

与电子管相比，半导体器件（二极管、三极管、场效应管）的体积大为缩小，从而使得电子系统的体积也大为缩小，电子系统所消耗的功率也迅速降低，系统的效率得到了很大的提高。

3. 集成电路阶段

1958 年，美国 TI 公司工程师 keibey 发明了第一块模拟集成电路，集成电路的发明，是电子技术发展的重要里程碑。集成电路技术不仅大大缩小了电子系统的体积和减小了功率损耗，进一步扩大了电子技术的应用范围，同时还提供了更加简单的应用技术。

1.1.2 电子技术的应用领域

在现代工程技术中，只要把任何其他形式的信号转变为电信号（大部分是电压信号），都可以使用电子技术对其进行处理。从信息传输和处理的角度看，所有的工程系统都可以看

成一个信号和信息处理系统，而任何信息处理，都可以看成对输入信号进行某种数学运算。实现工程信号和信息处理的最好办法，是使用电子技术理论与知识设计出相应的电子系统。

1. 通信系统

现代通信系统本身就是一个复杂的电子系统，所有通信设备无一例外都是电子产品，如电话机、电视机、寻呼机、移动电话等。

2. 控制系统

现代控制系统的基本实现技术之一就是电子技术。利用集成电路设计与制造技术，可以把一个控制系统集成在一个单片的集成电路中，实现信息对系统设备运行的智能控制。特别是在智能控制领域，例如机器人、自动驾驶系统等领域，电子技术已经成为必不可少的基本实现技术。

3. 信息处理系统

信息处理系统的基本处理设备是由电子技术所提供的硬件来实现的，例如各种计算机和计算设备、嵌入式系统、显示设备、网络设备等。

4. 测试系统

由于电子技术的信号处理能力十分强大，特别是电子系统的计算功能，使得电子技术在测试系统中占有十分重要的地位。从传感器到测试仪器，几乎所有的测量系统都离不开电子技术。

5. 计算机

计算机实际上是一个软件控制下的复杂的电子系统。在硬件的支持下，通过运行相应的软件，计算机可以完成十分复杂的信号和信息处理任务。

6. 生物医学电子系统

在生物医学工程中，生物医学电子系统是各种生物医学仪器的基本实现技术，也是现代信息医学和定量医学的重要技术基础。除此之外，近年来基因技术和生物技术的发展，促使了生物芯片的产生。

另外，还有许多其他应用领域，如家用电器、机电一体化、农业机械等，此处不再一一列举。

1.2 信号与电子系统

1.2.1 模拟信号和数字信号

在自然界中有形形色色的物理量，尽管它们的性质各异，但就其变化规律的特点而言，不外乎有两大类：模拟信号和数字信号。

1. 模拟信号

模拟信号是指时间和数值上都是连续变化的信号，它具有无穷多的数值，其数学表达式也较复杂，例如正弦函数、指数函数等。如图 1.1(a)所示为典型的模拟信号。

人们从自然界感知的许多物理量均属于模拟性质的，如速度、压力、声音、温度等。在工程技术上，为了便于分析，常用传感器将模拟量转换为电流、电压或电阻等电量，以使用电路进行分析和处理。传输、处理模拟信号的电路称为模拟电子线路，简称**模拟电路**。在模拟电路中主要关心输入、输出信号间的大小、相位、失真等方面的问题。

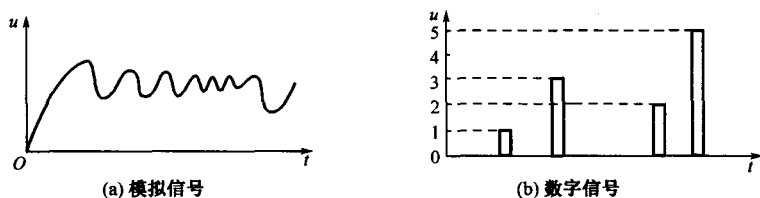


图 1.1 模拟信号与数字信号

2. 数字信号

电子系统中一般均含有模拟和数字两种构件。模拟电路是系统中必需的组成部分。但是，为了便于存储、分析或传输信号，数字电路更具优越性。

数字信号是指时间和数值上都是不连续变化的信号，即数字信号具有离散性，如图 1.1(b)所示。交通信号灯控制电路、智力竞赛抢答电路，以及计算机键盘输入电路中的信号，都是数字信号。对数字信号进行传输、处理的电子线路称为数字电子线路，简称**数字电路**。在数字电路中主要关心输入、输出之间的逻辑关系。

1.2.2 电子系统

1. 电子系统的组成

用不同种类、不同功能的电路构成具有特定功能的仪器、设备，称为**电子系统**。

如图 1.2 所示为典型的电子系统示意图。系统首先采集信号，即进行信号的提取。通常，这些信号来源于测试各种物理量的传感器、接收器，或者来源于用于测试的信号发生器。对于实际系统，传感器或接收器所提供的信号的幅值往往很小，噪声很大，且易受干扰，有时甚至分不清哪些是有用信号，哪些是干扰或噪声。

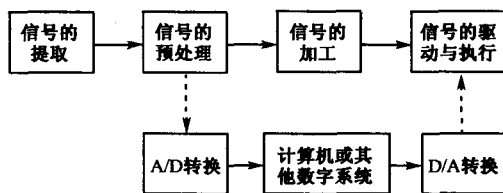


图 1.2 电子系统的组成示意图

因此，在加工信号之前，需将其进行预处理。进行预处理时，要根据实际情况利用隔离、滤波、阻抗变换等各种手段将信号提取出来并进行放大。当信号足够大时，再进行信号的运算、转换、比较等不同的加工。最后，一般还要经过功率放大以驱动执行机构（负载）。若要进行数字化处理，则首先通过 A/D 转换电路将预处理后的模拟信号转换为数字信号，输入至计算机或其他数字系统，经处理后，再经 D/A 转换电路将数字信号转换为模拟信号，以便

驱动负载。

如图 1.2 所示电子系统是模拟-数字混合系统,信号的提取、预处理、加工、驱动由模拟电路完成,计算机或其他数字系统由数字电路组成,A/D、D/A 转换为模拟电路和数字电路的接口电路。

2. 电子系统中的模拟电路

从对信号的分析可知,对模拟信号最基本的处理是放大,而且放大电路是构成各种功能模拟电路的基本电路。在电子系统中,常用的模拟电路及其功能如下所述。

(1) 放大电路:用于信号的电压、电流或功率放大。

(2) 滤波电路:用于信号的提取、变换或抗干扰。

(3) 运算电路:完成信号的比例、加、减、乘、除、积分、微分、对数、指数等运算。

(4) 信号转换电路:用于将电流信号转换成电压信号或将电压信号转换成电流信号、将直流信号转换成交流信号或将交流信号转换成直流信号、将直流电压转换成与之成比例的频率等。

(5) 信号发生电路:用于产生正弦波、矩形波、三角波、锯齿波。

(6) 直流电源:将 220 V、50Hz 交流电转换成不同输出电压和电流的直流电,作为各种电子电路的供电电源。

3. 电子系统中的数字电路

数字电路又叫开关电路或逻辑电路,它是利用半导体器件的开关特性使电路输出高、低两种电平,从而控制事物相反的两种状态,如灯的亮和灭、开关的开和关、电机的转动和停转等。数字电路中的信号只有高、低两种电平,分别用二进制数字 1 和 0 表示,即数字信号都是由 0、1 组成的一串二进制代码。

数字电路按照逻辑功能的不同分为两大类,即组合逻辑电路和时序逻辑电路。计算机的硬件系统就是典型的数字电路,其内部的各个部件不外乎都是这两种功能的数字电路,如编码器、译码器、加法器、数值比较器、数据选择器、数据分配器等是组合电路;寄存器、计数器等是时序电路。

1.3 电子电路的计算机辅助分析和设计软件介绍

随着计算机的飞速发展,以计算机辅助设计(Computer Aided Design, CAD)为基础的电子设计自动化(EDA)技术已成为电子学领域的重要学科。EDA 工具使电子电路和电子系统的设计产生了革命性的变化,它摒弃了靠硬件调试来达到设计目的的烦琐过程,实现了硬件设计软件化。

EDA 技术自 20 世纪 70 年代开始发展,其标志是美国加利福尼亚大学柏克莱分校开发的 SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) 于 1972 年研制成功,并于 1975 年推出实用化版本。当时仅适用于模拟电路的分析,而且只能用程序的方式输入。此后,在扩充电路分析功能、改进和完善算法、增加元器件模型库、改进用户界面等方面做了很多实用性的工作,使之成为享有盛誉的电子电路辅助设计工具,1988 年被定为美国国家工业标准。与此同时,各种以 SPICE 为核心的商用仿真软件应运而生,常用的有 PSpice 和 Electronics

Workbench EDA (简称 EBW)。

1.3.1 PSpice

PSpice 是非常出色的 EDA 软件, 它的 5.00 以上版本是在 Windows 下的模拟电路和数字电路的混合仿真软件, 因而得到广泛的应用。

PSpice 由电路原理图输入程序、激励源编辑程序、电路仿真程序、输出结果绘图程序、模型参数提取程序和元器件模型库 6 部分组成。

PSpice 支持电路原理图和网单文件两种输入方式, 电路元器件符号库提供绘制电路原理图的所有元器件符号; 具有正弦波、脉冲源、指数源、分段线性源、单频调频源等种类繁多的信号源。作为 PSpice 的核心部分——仿真功能包括: 直流工作点分析、直流转移特性分析、直流小信号传递函数分析、交流小信号分析、交流小信号噪声分析、瞬态分析、傅里叶分析、直流灵敏度分析、温度分析、最坏情况分析和蒙特卡罗统计分析等; 仿真结果可在屏幕绘出曲线、波形, 并可打印输出。PSpice 具有二极管库、晶体管库、通用集成运放库、晶体振荡器库、专用 IC 库及 74 系列、PAL、GAL 等几十个元器件模型参数库, 而且还在不断发展。

1.3.2 Multisim

Multisim 的前身是 EWB。EWB 是 IIT (Interactive Image Technologies) 公司在 20 世纪 90 年代初推出的 EDA 软件。它由 Spice 软件发展而来, 以 Spice3 F5 为模拟软件的核心, 增强了数字机混合模拟信号方面的功能。在众多的电路仿真软件中, EWB 是最容易上手的, 对于电路设计工作者来说, 它是一种优秀的 EDA 工具。

EWB 版本众多, 在国内流传较广的主要有 EWB 4.0d 和 5.0c 等版本。从 6.0 版开始, IIT 公司对其进行了较大的改进, 并更名为 Multisim。所以, Multisim 即高版本的 EWB。但与 EWB 相比, Multisim 除继承了 EWB 的传统优点之外, 还在以下方面进行了较大的改进:

(1) 扩充了数据库, 特别是大量新增的与现实元件相对应的元件模型, 增强了仿真电路的实用性。

(2) 增加了射频电路的仿真功能。

(3) 增加了许多新的测试仪表, 允许测试仪表多台同时使用, 扩充了电路的测试功能。

(4) 专业版支持 VHDL 和 Verilog 语言的电路设计与仿真。

因而, 学习 Multisim, 除了可以提高仿真能力、综合能力和设计能力之外, 还可进一步提高实践能力。

初步掌握一种电子电路计算机辅助分析和设计软件对学习电子技术课很有必要。

本章小结

◆ 从电子整流装置到集成电路, 电子技术的发展已经有 100 多年的历史。在现代工程技术中, 只要把任何其他形式的信号转变为电信号 (大部分是电压信号), 都可以使用电子技术对其进行处理。

◆ 电子线路包括模拟电子线路和数字电子线路, 模拟电路处理的是模拟信号, 数字电路处理的是数字信号。电子系统通常是模拟-数字混合系统, 可以完成对信号的采集、预处理、加工、驱动、D/A、A/D 转换等。

◆ 随着计算机的飞速发展, 以计算机辅助设计 (CAD) 为基础的电子设计自动化 (EDA) 技术已成为电子学领域的重要学科。常用的计算机辅助电子线路分析与设计软件有 PSpice 和 Multisim 等。

第2章 半导体器件

【内容提要】本章主要介绍半导体基础知识，包括本征半导体的原子结构、两种载流子、杂质半导体、PN 结的形成及其单向导电性。在此基础上讲述半导体二极管、稳压管、三极管和场效应管的工作原理、外特性、主要参数以及基本应用。

2.1 半导体特性和 PN 结

2.1.1 半导体特性

1. 本征半导体

导电能力介于导体和绝缘体之间的物质称为半导体。半导体是构成电子元器件的重要材料，最常用的半导体材料是硅（Si）和锗（Ge）两种元素。纯净的晶体结构的半导体称为**本征半导体**。

本征半导体是通过一定的工艺过程形成的单晶体，其中每个硅或锗原子最外层的 4 个价电子，均与它们相邻的 4 个原子的价电子共用，从而形成共价键。本征半导体中原子间的共价键具有较强的束缚力，每个原子都趋于稳定。在常温下，由于热运动价电子被激活，有些获得足够能量的价电子会挣脱共价键成为自由电子，与此同时共价键中就留下一个空位，称为空穴。这种现象称为**本征激发**。由于电子带负电荷，所以空穴表示缺少一个负电荷，即空穴具有正电荷粒子的特性。

在电子、空穴对产生的同时，运动中的自由电子也有可能去填补空穴，使电子和空穴成对消失，这种现象称为**复合**。在外电场作用下，一方面带负电荷的自由电子作定向移动，形成电子电流；另一方面价电子会按电场方向依次填补空穴，产生空穴的定向移动，形成空穴电流。能够运动的、可以参与导电的带点粒子称为**载流子**，因而自由电子和空穴是半导体中的两种载流子。由于它们所带电荷极性相反，所以电子电流和空穴电流的方向相反。

在一定温度下，电子、空穴对的产生和复合都在不停地进行，最终处于一种动态平衡状态，使半导体中载流子的浓度一定。当温度升高时，本征半导体中载流子浓度将增大。由于导电能力决定于载流子数目，因此半导体的导电能力将随温度升高而增强。温度是影响半导体器件性能的一个重要的外部因素，半导体材料的这种特性称为**热敏性**。此外，还有**光敏性**、**压敏性**、**磁敏性**和**掺杂性**等。利用这些特性，可以用半导体材料制成各种敏感元器件，如热敏电阻、光敏电阻、压敏电阻和磁敏电阻等，广泛应用于电子技术的各个领域。如图 2.1 所示为各种敏感元件的电路符号和外形。