

电工电子技术与EDA基础 (下)

Electrical Engineering
and EDA Fundamentals

Volume II

段玉生 王艳丹 何丽静 主编
Duan Yusheng Wang Yandan He Lijing

杨福生 主审
Yang Fusheng



清华大学出版社

电工电子技术 与 EDA 基础 (下)

Electrical Engineering
and EDA Fundamentals Volume II

编者 段玉生 (清华大学电机系)
 王艳丹 (清华大学电机系)
 何丽静 (清华大学电机系)
 侯世英 (重庆大学电气工程学院)
 许怡生 (北京工业大学电控学院)
 李钊年 (青海大学水电系)

主审 杨福生 (清华大学电机系)

清华大学出版社
北京

版权所有,翻印必究。举报电话:010-62782989 13501256678 13801310933

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签,无标签者不得销售。

本书防伪标签采用特殊防伪技术,用户可通过在图案表面涂抹清水,图案消失,水干后图案复现;或将表面膜揭下,放在白纸上用彩笔涂抹,图案在白纸上再现的方法识别真伪。

图书在版编目(CIP)数据

电工电子技术与EDA基础. 下/段玉生,王艳丹,何丽静主编. —北京:清华大学出版社,2006.2

ISBN 7-302-12198-2

I. 电… II. ①段… ②王… ③何… III. ①电工技术—高等学校—教材 ②电子技术—高等学校—教材 ③电子电路—电路设计:计算机辅助设计—高等学校—教材 IV. ①TM ②TN

中国版本图书馆CIP数据核字(2006)第009659号

出版者:清华大学出版社

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

社总机:010-62770175

地址:北京清华大学学研大厦

邮编:100084

客户服务:010-62776969

组稿编辑:王一玲 张占奎

文稿编辑:张占奎 邹开颜

版式设计:刘祎森

印刷者:北京四季青印刷厂

装订者:三河市新茂装订有限公司

发行者:新华书店总店北京发行所

开本:185×230 印张:31.25 字数:663千字

版次:2006年2月第1版 2006年2月第1次印刷

书号:ISBN 7-302-12198-2/TM·76

印数:1~4000

定价:39.80元

前 言

本书是《电工电子技术与 EDA 基础》教材的下册,主要内容是电工学中的电子技术部分,包括模拟电路和数字电路。本书的特色是将传统的电工学教学内容和 EDA 基础知识有机地结合起来,使读者从学习电工学开始就能够了解和使用 EDA 技术,为以后的实际工作打下良好的基础。本书的模拟电路部分,除对半导体器件的工作原理、常用放大电路的构成及分析方法等内容进行了讲解外,还对器件的 SPICE 模型进行了简单介绍,并通过举例介绍了 SPICE 仿真软件 (Multisim) 在电子电路分析与设计中的应用。本书的数字电路部分,除介绍了数字电路中的基本逻辑关系及器件、常用逻辑电路的功能和分析方法等传统内容之外,还增加了硬件描述语言 VHDL 及其应用、可编程逻辑器件的编程原理等新的章节,SPICE 和 VHDL 两种语言是 EDA 技术的基础语言,本书对其进行了较为详细的介绍。软件使用说明见上册光盘,或到网站 <http://www.tup.com.cn> 下载。

本册教材的主要参编人员和上册相同,仍是以清华大学的几位老师为主,同时还有重庆大学、北京工业大学、青海大学等高校有丰富教学经验的老师参加一起完成。本书中,第 1、2、10 章由段玉生老师编写;第 3、4、8 章由王艳丹老师编写;第 5、6 章由许怡生老师编写;第 7 章由侯世英老师编写;第 9、11、12、13 章由何丽静老师编写;第 14、15 章由李钊年老师编写。全书的安排及统稿工作由段玉生、王艳丹、何丽静三位老师共同完成。本书的主审杨福生教授对书中内容进行了认真审查,提出了很多宝贵意见,对教材的出版起了重要作用。本书 VHDL 仿真及可编程逻辑器件的部分编程工作,得到了何峰的大力帮助,在此一并表示感谢!

本书吸收了清华大学应用电子学及电工学教研组很多老师的教学实践经验,凝聚了他们大量心血。在此向对本书做出贡献的老师、同行表示深深的谢意!

由于编者水平有限,书中错误或不当在所难免,恳切希望得到广大读者的批评和指正!

编 者

2005 年 10 月于清华大学

主要符号及说明

1. 通用符号

I, i	电流	L	电感
U, u	电压	C	电容
E, e	电动势	A	放大倍数, 增益
P, p	功率	f	频率
R, r	电阻	ω	角频率

2. 下标符号意义

i	输入量	f	反馈量
o	输出量	L	负载
s	信号源量		

3. 电压和电流符号的规定

(1) 大写斜体字母, 大写正体下标, 表示直流电压(电流)量, 例如 U_{BE} 表示基极与发射极之间的直流电压。

(2) 大写斜体字母, 小写正体下标, 表示交流电压(电流)的有效值, 例如 U_{be} 表示基极与发射极之间交流电压的有效值。

(3) 小写斜体字母, 大写正体下标, 表示含有直流电压(电流)的瞬时值, 例如 u_{BE} 表示基极与发射极之间含有直流电压的瞬时值。

(4) 小写斜体字母, 小写正体下标, 表示交流电压(电流)的瞬时值, 例如 u_{be} 表示基极与发射极之间交流电压的瞬时值。

(5) 大写斜体字母, 小写正体含 m 的下标, 表示交流电压(电流)的最大值, 例如 U_{cm} 表示集电极交流电压的最大值。

(6) 大写斜体字母上加黑点, 表示正弦交流电压(电流)的相量表

示,例如 \dot{U} 。表示正弦交流输出电压的相量表示。

(7) 大写斜体 U (或 V),大写正体双字母下标,表示直流电源电压,例如 U_{CC} 表示集电极直流电源电压。

4. 常用符号

(1) 电阻

R_s, r_s	信号源内阻
R_i, r_i	输入电阻
R_o, r_o	输出电阻
R_{if}, r_{if}	带反馈网络的输入电阻
R_{of}, r_{of}	带反馈网络的输出电阻
R_{id}, r_{id}	差模输入电阻
R', R_p	运放输入端的平衡电阻
R_w	电位器,可变电阻
R_C, R_B, R_E	集电极、基极、发射极外接电阻
R_L	负载电阻

(2) 放大倍数、增益

A_u	电压放大倍数
A_{uM}, A_{uL}, A_{uH}	中频、低频及高频电压放大倍数
A_{us}	源电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_f	闭环放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
F	反馈系数
A_i	电流放大倍数

放大倍数上方加“·”表示放大倍数是复数。

(3) 频率

f_H	放大电路的上限频率
f_L	放大电路的下限频率
BW	通频带
GBP, f_c	增益带宽积,单位增益带宽
f_0	谐振频率,振荡频率

主要符号及说明

ω_0 谐振角频率, 振荡角频率

(4) 功率与效率

P_o 输出功率

P_E, P_V 直流电源供给功率

P_T 管子损耗功率

η 效率

P_{Cm} 集电极最大允许功耗

(5) 器件及参数

D 二极管

T 三极管

D_Z 稳压管

U_Z 稳压管稳定电压

I_Z 稳压管稳定电流

I_{CBO} 发射极开路, 集电极与基极间的反向饱和电流

I_{CEO} 基极开路, 集电极与发射极间的穿透电流

P P型半导体

N N型半导体

r_{be} 基极与发射极间的微变电阻

β 共射电流放大倍数

g_m 场效应管的跨导

(6) 其他

T, t 周期, 时间

φ 相角

φ_A 放大电路相移

φ_f 反馈网络相移

K_{CMR} 共模抑制比

Q 静态工作点

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 PN 结与半导体二极管	1
1.1.1 半导体的基本知识	1
1.1.2 PN 结的形成与单向导电性	3
1.1.3 半导体二极管	9
1.1.4 二极管的 SPICE 模型	12
1.1.5 含二极管电路的分析	13
1.1.6 二极管的应用	15
1.2 特殊二极管	17
1.2.1 稳压二极管	17
1.2.2 光电二极管	18
1.2.3 光电池	18
1.2.4 发光二极管	18
1.2.5 肖特基二极管	19
1.3 半导体三极管	19
1.3.1 半导体三极管的电流控制作用	20
1.3.2 半导体三极管的特性曲线	22
1.3.3 半导体三极管的主要参数	23
1.3.4 半导体三极管的电路模型	25
1.3.5 半导体三极管的 SPICE 模型	27
1.4 场效应晶体管	28
1.4.1 结型场效应管	29
1.4.2 绝缘栅型场效应管	31
1.5 SPICE 仿真举例	35
小结	38

习题	39
第2章 基本放大电路	43
2.1 放大电路的主要性能指标	43
2.2 共射极电压放大电路	45
2.2.1 共射极放大电路的组成与工作原理	45
2.2.2 放大电路的分析方法	46
2.2.3 静态工作点稳定的放大电路	53
2.3 射极跟随器	57
2.4 场效应管放大电路	59
2.5 多级阻容耦合放大电路	62
2.5.1 阻容耦合多级放大电路的分析	63
2.5.2 阻容耦合放大电路的频率特性	65
2.6 放大电路的仿真举例	68
小结	72
习题	73
第3章 放大电路中的反馈	79
3.1 反馈的概念及其表示方法	79
3.1.1 反馈的概念	79
3.1.2 反馈的方框图表示法	80
3.2 反馈的分类及其判别方法	81
3.3 深度负反馈放大电路的分析计算	88
3.3.1 有负反馈的单级放大电路	89
3.3.2 有负反馈的多级放大电路	92
3.4 负反馈对放大电路的影响	94
小结	96
习题	97
第4章 集成运算放大器及其应用	99
4.1 差动放大器	99
4.1.1 直接耦合电路的特殊问题	99
4.1.2 基本差动放大器	100

4.1.3	双电源长尾式差动放大电路	102
4.1.4	恒流源式差动放大电路	106
4.1.5	差动放大电路的几种接法	106
4.2	集成运算放大器	107
4.2.1	集成运算放大器的基本结构	107
4.2.2	主要参数	109
4.3	由运放组成的线性处理器	111
4.3.1	模拟运算电路	112
4.3.2	有源滤波电路	120
4.3.3	电压源、电流源及测量电路	124
4.3.4	应用举例	128
4.4	由运放组成的非线性处理器	130
4.4.1	限幅器	131
4.4.2	简单电压比较器	131
4.4.3	迟滞比较器	134
4.4.4	应用举例	137
4.5	波形产生电路	140
4.5.1	方波发生器	140
4.5.2	三角波发生器	143
4.5.3	锯齿波发生器	146
4.5.4	正弦波发生器	147
4.5.5	应用举例	151
4.6	运算放大器电路的仿真分析	153
4.6.1	运算放大器的 SPICE 建模	153
4.6.2	运算放大器电路的仿真分析举例	154
小结	.....	156
习题	.....	156
第 5 章	功率放大电路	167
5.1	概述	167
5.2	互补对称式功率放大电路	169
5.2.1	OCL 电路	169
5.2.2	OTL 电路	171

5.3	功率放大电路的效率计算和晶体管选择	174
5.4	变压器耦合式功放简介	177
5.5	集成功放及应用举例	178
	小结	179
	习题	180
第6章	直流稳压电源	182
6.1	概述	182
6.2	整流和滤波电路	183
6.2.1	整流电路	183
6.2.2	滤波电路	185
6.3	直流稳压电路的工作原理	189
6.4	集成稳压器件	192
6.4.1	固定输出的三端集成稳压器	192
6.4.2	输出可调的三端集成稳压器	195
	小结	196
	习题	197
第7章	电力电子技术	200
7.1	概述	200
7.1.1	电力电子技术的产生	200
7.1.2	电力电子电路	201
7.1.3	电力电子技术的发展展望	202
7.2	电力电子器件简介	203
7.2.1	电力电子器件的分类	204
7.2.2	电力二极管	205
7.2.3	晶闸管	207
7.2.4	典型的全控型器件	213
7.2.5	其他新型电力电子器件	215
7.2.6	电力电子器件的驱动电路	216
7.3	电力电子电路简介	217
7.3.1	整流电路(AC/DC)——可控整流电路	218

7.3.2	交流变换电路(AC/AC)——交流调压、调功 与交交变频电路	225
7.3.3	逆变电路(DC/AC)	227
7.3.4	直流变直流——直流斩波电路(DC/DC)	229
7.4	SPICE 仿真举例	232
小结	.....	236
习题	.....	237
第 8 章	数字电路的基础知识	239
8.1	概述	239
8.2	数制和二进制码	240
8.2.1	数制	240
8.2.2	二进制码	242
8.3	基本逻辑关系及其表示方法	243
8.4	逻辑代数基础	245
8.4.1	逻辑运算规则和定理	246
8.4.2	逻辑关系的表示方法	248
8.5	逻辑函数的化简	251
8.5.1	逻辑代数化简法	251
8.5.2	卡诺图化简法	252
小结	.....	255
习题	.....	255
第 9 章	基本逻辑器件	258
9.1	概述	258
9.2	门电路	258
9.2.1	分立元件门电路	259
9.2.2	TTL 门电路	261
9.2.3	CMOS 门电路	271
9.3	触发器	274
9.3.1	基本触发器	275
9.3.2	电平触发器	277
9.3.3	主从触发器	281

9.3.4	边沿触发器	286
9.4	触发器的分类及逻辑功能的转换	289
9.4.1	触发器的分类	289
9.4.2	触发器逻辑功能的转换	289
9.5	触发器应用举例	291
小结	.....	292
习题	.....	293
第 10 章	VHDL 语言入门	300
10.1	概述	300
10.2	VHDL 描述的基本结构	301
10.2.1	实体描述	301
10.2.2	结构体描述	302
10.3	VHDL 对象、类和类型	303
10.3.1	数据类型	304
10.3.2	运算符	307
10.3.3	VHDL 的库和包	308
10.4	并行处理语句	309
10.4.1	并行赋值语句	309
10.4.2	条件赋值语句	310
10.4.3	选择信号赋值语句	311
10.4.4	元件例化语句	311
10.4.5	生成语句	313
10.4.6	进程语句	314
10.5	顺序描述语句	315
10.5.1	信号和变量赋值语句	315
10.5.2	分支语句	315
10.5.3	循环条件	318
10.5.4	wait 语句	318
10.6	VHDL 的描述风格	319
10.7	VHDL 设计的仿真	320
小结	.....	322
习题	.....	322

第 11 章 组合逻辑电路	324
11.1 概述	324
11.2 组合逻辑电路的一般分析方法和设计方法	324
11.2.1 组合逻辑电路的一般分析方法	324
11.2.2 组合逻辑电路的设计方法	326
11.3 加法器	328
11.3.1 半加器	328
11.3.2 全加器	329
11.3.3 加法器及其集成器件	329
11.4 数值比较器	332
11.4.1 一位数值比较器	332
11.4.2 多位数值比较器	332
11.4.3 集成比较器及其应用	333
11.5 编码器	335
11.5.1 二进制编码器	336
11.5.2 二进制优先编码器	337
11.5.3 集成编码器	338
11.5.4 几种常用的编码	340
11.6 译码器	342
11.6.1 二进制译码器及集成器件	342
11.6.2 显示译码器及集成器件	346
11.7 数据选择器和数据分配器	349
11.7.1 数据选择器	349
11.7.2 数据分配器	353
11.8 VHDL 在组合逻辑电路中的应用	355
小结	358
习题	359
第 12 章 时序逻辑电路	364
12.1 概述	364
12.2 时序逻辑电路的一般分析方法	364
12.3 时序逻辑电路的一般设计方法	366
12.4 寄存器	369

12.4.1	数码寄存器	369
12.4.2	移位寄存器	370
12.4.3	集成寄存器及其应用	372
12.5	计数器	374
12.5.1	二进制计数器	374
12.5.2	十进制计数器	380
12.5.3	任意进制(N 进制)计数器	381
12.6	数字逻辑电路的应用举例	391
12.6.1	数字钟	391
12.6.2	动态扫描键盘编码器	392
12.7	VHDL 在时序逻辑电路中的应用	394
小结	.....	398
习题	.....	398
第 13 章	可编程逻辑器件	405
13.1	概述	405
13.2	可编程逻辑器件的编程原理	406
13.2.1	PLD 内部电路的一般表示法	406
13.2.2	存储器的编程原理	407
13.2.3	GAL 的编程原理	411
13.3	CPLD 和 FPGA 的结构和特点	416
13.3.1	CPLD 的结构和特点	416
13.3.2	FPGA 的结构和特点	417
13.3.3	CPLD 和 FPGA 特点的比较	419
小结	.....	420
第 14 章	波形的产生及整形	421
14.1	概述	421
14.2	单脉冲的产生	421
14.3	连续脉冲的产生	422
14.3.1	环形振荡器	423
14.3.2	RC 耦合式振荡器	425
14.3.3	石英晶体多谐振荡器	426

14.4	单稳态触发器	428
14.4.1	积分型单稳的工作原理	428
14.4.2	集成单稳及其应用	430
14.5	555 定时器	434
14.5.1	工作原理	435
14.5.2	应用举例	436
14.6	综合应用举例	440
小结	.....	441
习题	.....	442
第 15 章	数模、模数转换	445
15.1	概述	445
15.2	D/A 变换器	445
15.2.1	D/A 变换器的类型及工作原理	446
15.2.2	D/A 变换器的主要技术指标	448
15.2.3	集成 D/A 变换器及其应用	449
15.3	A/D 变换器	453
15.3.1	A/D 变换器的类型及工作原理	454
15.3.2	A/D 变换器的主要技术指标	457
15.3.3	集成 A/D 变换器及其应用	458
小结	.....	461
习题	.....	461
附录 A	负反馈对放大器性能的影响中各公式的证明	463
附录 B	三极管的 SPICE 参数	467
附录 C	半导体分立器件型号命名规则	469
附录 D	常用术语	473
参考文献	.....	481