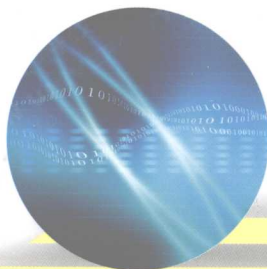


面向
21世纪

高等职业技术教育电子电工类专业“十一五”规划教材

模拟电子技术

主编 张凌云 主审 田培成



西安电子科技大学出版社
<http://www.xduph.com>

面向 21 世纪

高等职业技术教育电子电工类专业“十一五”规划教材

模拟电子技术

主编 张凌云

参编 王喜莹 李学平 刘银红

主审 田培成

西安电子科技大学出版社

2008

内 容 简 介

本书对模拟电子技术的基本内容进行了整合、压缩,以适应高职高专的教学要求。书中以“必需”和“够用”为度,以定性分析为主,讲清基本概念、基本工作原理和电路的基本分析方法,避免繁琐的数学推导和计算。

全书共分8章,内容包括半导体器件、基本放大电路、集成运算放大器、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、功率放大器、正弦波振荡器和直流稳压电源。每小节都有复习与讨论题,每章配有足够的练习题,供读者学习时思考、讨论、练习。

本书内容少而精,可以作为高职高专二年制、三年制、五年制电子信息、电子电工、电子通信、计算机自动控制或相关专业的教材,也可以作为中等专业学校同类专业的教材,还可以作为电子工程技术人员的参考用书。

★本书配有电子教案,需要者可登录出版社网站,免费下载。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术/张凌云主编. —西安:西安电子科技大学出版社,2008.12

面向21世纪高等职业技术教育电子电工类专业“十一五”规划教材

ISBN 978-7-5606-2129-6

I. 模… II. 张… III. 模拟电路—电子技术—高等学校:技术学校—教材 IV. TN710

中国版本图书馆CIP数据核字(2008)第144074号

策 划 马乐惠

责任编辑 南 景 马乐惠

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路2号)

电 话 (029)88242885 88201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb001@163.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西天意印务有限责任公司

版 次 2008年12月第1版 2008年12月第1次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印 张 11.75

字 数 260千字

印 数 1~4000册

定 价 17.00元

ISBN 978-7-5606-2129-6/TN·0462

XDUP 2421001-1

如有印装问题可调换

本社图书封面为激光防伪覆膜,谨防盗版。

面向 21 世纪高等职业技术教育
电子电工类专业“十一五”规划教材

编委会名单

主任委员：唐政平

副主任委员：周 雪 白乃平 王 瑛 郭宗智 张慧玲

委 员：(按姓氏笔画排列)

马安良 方 彦 冯彦炜 毕恩兴

朱晓红 张凌云 肖志锋 吴生有

苏生荣 郭继文 程民利

前言

本书是根据1999年8月教育部高教司制定的“高职高专教育基础课程教学基本要求”和“高职高专教育专业人才培养目标及规格”的精神,参照陕西省职业技术教育学会电子电工教学委员会组织讨论并确定的高等职业院校电子信息、电子通信、计算机类专业“模拟电子技术”教学大纲编写的。本书可以作为高等职业院校电子信息、电子电工、电子通信、计算机自动控制、电气等专业的专业基础课教材,也可以作为中等专业学校有关专业的提高教材,还可作为自学考试或从事电子技术工作的工程技术人员参考用书。根据出版社要求教材要立体配套,也为了读者学习方便,将出版与本书配套的《〈模拟电子技术〉学习指导与习题全解》一书。

在编写本书的过程中,编者认真分析了现行教材的基本内容,与众多版本的现行《模拟电子技术》教材相比,本书有以下特点:

(1) 考虑到高职高专学生的知识结构,为方便学生课前预习,在每章前详细列出了学习本章所具备的“预备知识”,以便学生提前复习补充相关基础知识。

(2) 每章开头还列出了基本内容、本章重点、教学目标,使读者能抓住重点,明确学习目标。

(3) 考虑到现行学制,对模拟电子技术的基本内容进行了整合、删减,力求做到“少而精”、以“够用”为度。在叙述基本原理时力争做到通俗易懂,深入浅出,概念清楚。

(4) 兼顾分立和集成。因为在教学实践中由于学生分立知识不足,导致对集成的理解困难,所以在编写时尽量做到分立、集成兼顾,但侧重集成。

(5) 对一些实用的知识点,以“知识窗”的形式给出。

(6) 为了直观形象,对书中的部分电路给出了实物接线图,以便与原理图对照理解。

本书内容共分8章,按理论教学60学时编写,每小节针对教学内容有复习与讨论题,每章有足够的练习题,供读者复习、思考、讨论、练习。

本书由陕西邮电职业技术学院的张凌云老师担任主编。第1章(部分)、第2章(部分)由陕西机电工程学校的王喜莹老师编写,第3、4、5章由西安理工大学高等职业技术学院的李学平老师编写,第1章第1节以及第6、7章由张凌

云老师编写,第8章由西安铁路职业技术学院的刘银红老师编写,陕西邮电职业技术学院的张甜老师编写了第2章第3节,并为第1、2章选配了练习题,张凌云老师负责对全书进行修改和统稿。

本书承蒙西安理工大学高等职业技术学院的田培成副教授审稿;陕西邮电职业技术学院计算机系的张琳娜老师参加了前期文字录入和电路图的电脑制作及后期的电脑统盘工作;本书在编写过程中得到了陕西邮电职业技术学院基础部、通信系的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于时间紧迫,限于编者业务水平有限,错误、欠妥之处在所难免,恳请使用本书的各位同行和读者批评指正。

编者的 E-mail: Lingyun627@sina.com。

编者

2008年4月

常用符号说明

1. 基本符号

I, i	电流
U, u	电压
P	功率
W	能量
R, r	电阻
g	电导
L	电感
C	电容
M	互感
Z	阻抗
Y	导纳
A	放大倍数

2. 电压、电流

英文小写字母符号 $u(i)$ ，其下标若为英文小写字母，则表示交流电压(电流)瞬时值(例如， u_o 表示输出交流电压瞬时值)。

英文小写字母符号 $u(i)$ ，其下标若为英文大写字母，则表示含有直流的电压(电流)瞬时值(例如， u_O 表示含有直流成分的输出电压瞬时值)。

英文大写字母符号 $U(I)$ ，其下标若为英文小写字母，则表示正弦电压(电流)有效值或幅值(例如， U_o 表示输出正弦电压有效值)。

英文大写字母符号 $U(I)$ ，其下标若为英文大写字母，则表示直流电压(电流)(例如， U_O 表示输出直流电压)。

$\dot{U}, \dot{I}$	正弦电压、电流相量(复数量)
U_m, I_m	正弦电压、电流幅值
U_Q, I_Q	电压、电流的静态值
U_i, I_i	反馈电压、电流有效值
U_{BB}, U_{CC}, U_{EE}	基极、集电极、发射极直流电源电压
U_{DD}, U_{SS}	漏极、源极直流电源电压
U_S, I_S	直流电压源、电流源
u_s, i_s	正弦电压源、电流源的电压、电流瞬时值
U_i	输入电压有效值
u_i	含有直流成分的输入电压瞬时值

u_i	输入交流电压瞬时值
U_o 、 I_o	输出交流电压、电流有效值
u_o	含有直流成分输出电压的瞬时值
U_R	基准电压、参考电压、二极管最大反向工作电压
I_R	参考电流、二极管反向电流
U_+ 、 I_+	运放同相端输入电压、电流
U_- 、 I_-	运放反相端输入电压、电流
U_{id}	差模输入电压信号
U_{ic}	共模电压信号
U_{CEQ}	集电极、发射极间静态压降
I_{BQ}	基极静态电流
I_{CQ}	集电极静态电流
U_{TH}	门限电压
U_{TH1}	上门限电压
U_{TH2}	下门限电压
$U_{o(AV)}$	整流电路输出电压平均值

3. 电阻

r_s	信号源内阻
r_i	输入电阻
r_o	输出电阻
r_{if}	具有反馈时的输入电阻
r_{of}	具有反馈时的输出电阻
r_{id}	差模输入电阻
RP	电位器(可变电阻器)
R_c	集电极外接电阻
R_b	基极偏置电阻
R_e	发射极外接电阻
R_L	负载电阻

4. 放大倍数、增益

A_u	电压放大倍数, $A_u = U_o / U_i$
A_{us}	考虑信号源内阻时的电压放大倍数, $A_{us} = U_o / U_s$, 即源电压放大倍数
A_{ud}	差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
A_{od}	开环差模电压放大倍数
A_f	闭环放大倍数

A_{uf}	具有负反馈的电压放大倍数, 即闭环电压放大倍数
A_i	开环电流放大倍数
F	反馈系数

5. 功率

P	平均功率(有功功率)
P_o	输出信号功率
P_c	集电极损耗功率
P_E	直流电源供给功率

6. 频率

f	频率通用符号
ω	角频率通用符号
f_H	放大电路的上限截止频率。此时, 放大电路的放大倍数 $A_{ush} = 0.707A_{usm}$
f_L	放大电路的下限截止频率。此时, $A_{usl} = 0.707A_{usm}$
BW	通频带(带宽), $f_{BW} = f_H - f_L$
f_{Hf}	具有负反馈时放大电路的上限截止频率
f_{Lf}	具有负反馈时放大电路的下限截止频率
f_{Bwf}	具有负反馈时的通频带
ω_0	谐振角频率, 振荡角频率
f_0	振荡频率

7. 器件参数

V_D	二极管
I_D	漏极电流
I_R	二极管反向饱和电流
I_S	源极电流
I_{FM}	最大整流电流
U_B	基极直流电压
b(B)	基极
c(C)	集电极
e(E)	发射极
I_{CBO}	发射极开路时的集-基间反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时的集-射间穿透电流
P	空穴型半导体
N	电子型半导体
$r_{bb'}$	基区体电阻

α	共基接法下, 集电极电流的变化量与发射极电流的变化量之比, 即 $\alpha = \Delta I_C / \Delta I_E$
$\bar{\alpha}$	从发射极到达集电极的载流子的百分数, $\bar{\alpha} = I_C / I_E$
β	共射接法下, 集电极电流的变化量与基极电流的变化量之比, 即 $\beta = \Delta I_C / \Delta I_B$
$\bar{\beta}$	共射接法且不考虑穿透电流时, I_C 与 I_B 的比值
g_m	跨导
I_{CM}	集电极最大允许电流
P_{CM}	集电极最大耗散功率
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时, e-b 间的击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时, c-e 间的击穿电压
I_B	集成运放输入偏置电流
V	三极管
D	场效应管漏极
G	场效应管栅极
S	场效应管源极, 开关
$U_{GS(th)}$	场效应管开启电压
$U_{GS(off)}$	场效应管栅源截止电压(夹断电压)
I_{DSS}	结型、耗尽型场效应管 $U_{GS} = 0$ 时的 I_D 值
K_{CMR}	共模抑制比
Q	静态工作点, LC 回路的品质因数
τ	时间常数
η	效率
ϕ, φ	相角
φ_F	反馈网络的相移
T	变压器
K_r	电流—电压转换系数
K_g	电压—电流转换系数

说明: 本书所用图形符号和文字符号执行国家标准 GB—4728、GB—7159。

目 录

第 1 章 半导体器件	1
1.1 半导体的基础知识	2
1.1.1 半导体的基本特性	2
1.1.2 半导体的原子结构	2
1.1.3 本征激发	4
1.1.4 杂质半导体	5
1.1.5 PN 结及其单向导电性	6
复习与讨论	8
1.2 半导体二极管	9
1.2.1 半导体二极管的外形、结构、电路符号及类型	9
1.2.2 二极管的命名方法	9
1.2.3 二极管的伏安特性	10
1.2.4 二极管的主要参数	11
1.2.5 二极管的简易测试及应用	12
1.2.6 特殊二极管	13
复习与讨论	14
1.3 半导体三极管	14
1.3.1 半导体三极管的外形、结构及分类	15
1.3.2 三极管的放大条件及电流放大作用	16
1.3.3 三极管的特性曲线	18
1.3.4 三极管的主要参数及温度的影响	20
1.3.5 三极管的引脚判别及性能测试	21
复习与讨论	22
1.4 场效应管	22
1.4.1 结型场效应管	22
1.4.2 绝缘栅型场效应管	25
复习与讨论	29
本章小结	29
练习题	31
第 2 章 基本放大电路	35
2.1 放大电路的基础知识	36
2.1.1 放大的概念	36
2.1.2 基本放大电路的连接形式	36
2.1.3 直流通路和交流通路	36

2.1.4 电压、电流符号和正方向的规定	37
复习与讨论	38
2.2 共发射极放大电路的分析	38
2.2.1 电路的组成和各元件作用	38
2.2.2 放大电路的静态分析	39
2.2.3 放大电路的动态分析	42
2.2.4 静态工作点对输出波形的影响	46
复习与讨论	47
2.3 图解分析法	47
2.3.1 图解法确定静态工作点	47
2.3.2 图解法分析交流工作状态	49
复习与讨论	51
2.4 共集电极、共基极放大电路的分析	51
2.4.1 共集电极放大电路	51
2.4.2 共基极放大电路	53
2.4.3 三种基本放大电路的性能比较	54
复习与讨论	54
2.5 场效应管放大电路	54
2.5.1 共源极放大电路的静态分析	55
2.5.2 共源极放大电路的动态分析	55
复习与讨论	57
2.6 多级放大电路的耦合方式和性能分析	57
2.6.1 多级放大电路的结构	57
2.6.2 多级放大电路的性能指标	59
2.6.3 放大电路的频率特性	60
复习与讨论	62
本章小结	62
练习题	63
第3章 集成运算放大器	68
3.1 差动放大电路	69
3.1.1 直接耦合放大电路需要解决的问题	69
3.1.2 差动放大电路	70
复习与讨论	76
3.2 集成运算放大器	76
3.2.1 集成运放的电路结构及符号	76
3.2.2 集成运放的特点	78
3.2.3 集成运放的分类	78
3.2.4 集成运放的电压传输特性和参数	79
复习与讨论	81
本章小结	81
练习题	82
第4章 负反馈放大电路	84
4.1 反馈概述	85

4.1.1	反馈的基本概念	85
4.1.2	反馈的极性与判断	86
4.1.3	直流反馈和交流反馈	88
	复习与讨论	89
4.2	负反馈放大电路的四种组态	89
4.2.1	负反馈放大电路的一般关系式	89
4.2.2	反馈类型及判断	90
4.2.3	四种类型的负反馈放大电路	91
	复习与讨论	93
4.3	负反馈对放大电路性能的影响	93
4.3.1	提高放大倍数的稳定性	93
4.3.2	扩展通频带	94
4.3.3	减小非线性失真	94
4.3.4	抑制放大器内部的干扰和噪声	95
4.3.5	改变输入电阻和输出电阻	95
	复习与讨论	97
4.4	深度负反馈放大电路的分析	97
4.4.1	深度负反馈的特点	98
4.4.2	深度负反馈放大电路的参数估算	98
	复习与讨论	101
	本章小结	101
	练习题	102
第5章	集成运算放大器的应用	105
5.1	概述	106
5.1.1	理想集成运放的性能指标	106
5.1.2	集成运放的传输特性	106
	复习与讨论	106
5.2	集成运放的线性应用	106
5.2.1	集成运放线性应用的必要条件	107
5.2.2	线性放大电路	107
5.2.3	信号变换电路	110
5.2.4	信号基本运算电路	110
	复习与讨论	112
5.3	集成运放的非线性应用	113
5.3.1	单限电压比较器	113
5.3.2	迟滞电压比较器	114
	复习与讨论	116
	本章小结	116
	练习题	117
第6章	功率放大器	120
6.1	功率放大器的特点和分类	121
6.1.1	功率放大器的特点	121
6.1.2	功率放大器的分类	122

复习与讨论	123
6.2 乙类互补对称功率放大器(OCL)	123
6.2.1 电路组成	123
6.2.2 工作原理	123
6.2.3 交越失真及其消除方法	124
6.2.4 性能指标估算	125
复习与讨论	126
6.3 单电源互补对称功率放大器(OTL)	127
6.3.1 电路组成及工作原理	127
6.3.2 采用复合管的 OTL 电路	128
复习与讨论	129
6.4 集成功率放大器	130
6.4.1 集成功放 LM386	130
6.4.2 用 LM386 组成 OTL 应用电路	131
复习与讨论	132
6.5 功率管的安全使用	132
6.5.1 功率管的散热	132
6.5.2 二次击穿及防护措施	132
复习与讨论	134
本章小结	134
练习题	135
第 7 章 正弦波振荡器	137
7.1 正弦波振荡器的基本知识	138
7.1.1 振荡电路	138
7.1.2 振荡条件	138
7.1.3 起振与稳幅过程	139
7.1.4 振荡电路的组成	140
7.1.5 振荡电路的分析方法及其分类	140
复习与讨论	140
7.2 RC 桥式正弦波振荡器	141
7.2.1 RC 串并联选频网络	141
7.2.2 RC 桥式振荡电路	142
复习与讨论	143
7.3 LC 正弦波振荡器	143
7.3.1 变压器反馈式 LC 振荡器	143
7.3.2 电感三点式 LC 振荡器	145
7.3.3 电容三点式 LC 振荡器	146
7.3.4 改进型电容三点式振荡器	147
复习与讨论	148
7.4 石英晶体振荡器	148
7.4.1 石英晶体的基本特性	148
7.4.2 石英晶体振荡器的分类	150
复习与讨论	151

本章小结	152
练习题	152
第8章 直流稳压电源	155
8.1 整流、滤波电路	156
8.1.1 整流电路	156
8.1.2 滤波电路	159
复习与讨论	161
8.2 串联型稳压电路	161
复习与讨论	163
8.3 集成三端稳压器	163
复习与讨论	165
8.4 开关型稳压电路	165
复习与讨论	167
本章小结	167
练习题	167
附录	169
附录一 半导体分立器件各组成部分的符号及意义	169
附录二 二极管和三极管的型号及主要参数	170
参考文献	171

第1章 半导体器件

预备知识

原子核的结构
电场的相关知识
伏安特性曲线
基尔霍夫电流、电压定律
受控源(CCCS、VCCS)

基本内容

半导体基本知识
晶体二极管
晶体三极管
场效应管

本章重点

PN 结的单向导电性
二极管的符号、主要参数和伏安特性
三极管的符号、主要参数和伏安特性
场效应管的符号、主要参数和伏安特性
三极管和场效应管的性能比较

教学目标

熟识二极管、三极管和场效应管的外形和电路符号
熟悉二极管、三极管和场效应管的主要参数
掌握二极管的单向导电性及其分析方法
掌握三极管的输入、输出特性和各电极间电流的关系
理解三极管、场效应管的工作原理
了解几种常用特殊二极管的功能和使用常识
能使用万用表判断二极管和三极管的电极,并检测管子的好坏
会查阅半导体器件手册,能按照要求选用参数合适的半导体器件

1.1 半导体的基础知识

1.1.1 半导体的基本特性

1. 什么是半导体

自然界中的物质,按其导电能力的强弱,可分为导体、绝缘体和半导体三类。容易导电的物质称为导体。例如金、银、铜、铁、铝等金属都是良好的导体,导电能力都很强。不容易导电的物质称为绝缘体。例如陶瓷、云母、塑料、玻璃、橡胶等,导电能力都很差。导电能力介于导体与绝缘体之间的物质称为半导体,例如硅(Si)、锗(Ge)、硒(Se)、砷化镓及金属氧化物等。半导体之所以能被制造成各种电子器件而广泛应用,主要是因为其具有独特的导电特性。

2. 半导体的特性

1) 热敏特性

随着温度的上升,半导体材料的导电能力迅速增加,这种特性称为热敏特性。利用这种热敏效应可以制作热敏元件,例如热敏电阻。

2) 光敏特性

半导体随着光照的变化其导电能力明显增强,这种特性称为光敏特性。利用光电效应可以制作光电晶体管、光电耦合器、光电池等。

3) 掺杂特性

在纯净的半导体中掺入微量的杂质元素能使其导电性能发生显著变化,这种特性称为掺杂特性。例如在纯净的硅中掺入百万分之一的杂质,其导电能力可以增强上百万倍。各种半导体器件的制作,正是利用掺杂特性来改变和控制半导体的导电能力的。

此外,半导体的导电能力还会随着电场、磁场的作用而变化。

为什么半导体会有这些独特的导电性能呢?这主要是由其内部的原子结构所决定的。

1.1.2 半导体的原子结构

用来制造晶体管的半导体材料主要是硅和锗。下面就来讨论这两种半导体材料的原子结构。

1. 单个原子结构

硅的化学元素符号是Si,它有一个带正电的原子核和14个带负电的电子。电子分三层绕原子核不停地旋转,如图1.1(a)所示。由于原子核带14个电子电量的正电,因此正常情况下原子呈中性。锗的化学元素符号是Ge,它共有32个电子,分四层绕原子核不停地转动,如图1.1(b)所示。

一般只有最外层电子有可能脱离原子核的束缚,逸出并参与导电,而内层电子由于被束缚在原子核的周围,是不大可能参与导电的。为了便于区别,通常称最外层的电子为价电子,有几个价电子就称为几价元素。硅和锗原子最外层的电子都是4个,所以硅、锗都是四价元素,如图1.1(c)所示。根据原子理论,只有外层价电子达到8个时,原子才会处