

面向21世纪

高等职业技术教育电子电工类规划教材

陕西省普通高等学校优秀教材二等奖

(修订版)

模拟电子技术

主编 周 雪

西安电子科技大学出版社

<http://www.xduph.com>

XDUP

面向 21 世纪

高等职业技术教育电子电工类规划教材

模拟电子技术

(修 订 版)

主 编 周 雪

副主编 张慧玲

参 编 阮黎君 吕红娟 肖志锋

主 审 江晓安 张俊峰

4.9

西安电子科技大学出版社

内 容 简 介

本书为教育部职业教育与成人教育司推荐的五年制高等职业教育电子电工类专业教学用书,是依据《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》,在2002年出版的同名书的基础上,根据高等职业教育发展需要,弃旧扬新,修订出版的。全书在内容的安排上以学生的“技术应用能力的培养”为主线,以应用为目的,以“必需”和“够用”为度;以讲清概念、强化应用为重点,大大削减分立元件,突出集成电路的特性及应用,在讲解基本理论的基础上增加了新器件、新知识。

全书共分10章,内容包括半导体二极管及其应用电路、半导体三极管及其放大电路、场效应管及其应用、集成运算放大器、负反馈放大器、集成运算放大器的基本应用、波形发生电路、功率放大器、直流稳压电源、晶闸管及其应用电路。每小节有思考题,每章有练习题,供读者思考和练习。

本书通过贯穿全书的教学演示,突出了电子技术的应用性、实践性,强化了实际应用能力的培养。

本书内容覆盖面广,安排灵活,既可作为五年制高等职业教育电子、通信、计算机、自控、电气等专业的教材,也可作为三年制、二年制高等职业教育相应专业的教材,还可作为中等专业学校有关专业的提高教材,亦可作为自学考试或从事电子技术的工程人员学习用书。

★ 为了方便学校教学,本书配有电子教案,任课教师可与出版社联系,免费索取。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术 / 周雪主编. —2版.

—西安: 西安电子科技大学出版社, 2005.7 (2007.1 重印)

(面向21世纪高等职业技术教育电子电工类规划教材)

ISBN 7-5606-1106-0

I. 模… II. 周… 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(2005)第036475号

策 划 马乐惠

责任编辑 夏大平 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: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西宏业印务有限责任公司

版 次 2005年7月第2版 2007年1月第11次印刷

开 本 787毫米×1092毫米 1/16 印张 15.375

字 数 354千字

印 数 64 001~68 000册

定 价 18.00元

ISBN 7-5606-1106-0 / TN·0196

XDUP 1377012-11

*** 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。

修改版前言

原 2002 年出版的同名教材,经过几年的试用,得到了企业、学校教师和学生们的认可,并经过层层筛选,被教育部职业教育与成人教育司批准列入《2004~2007 年职业教育教材开发编写计划》。本次重新编写,依据教育部职成司教材开发通知精神,落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》的要求,根据生产实际的需要,充分吸收了近年来职业教育教学改革成果,重新选定了反映新知识、新技术、新工艺、新方法,具有职业教育特色的题材和内容。

本书可作为高等职业教育电子、通信、信号、计算机、自控、电气等专业的教材,也可作为中等专业学校有关专业提高教材,还可作为自学考试或从事电子技术的工程人员学习用书。

本书在编写过程中,认真分析了现行电子教学内容,摒弃了陈旧知识,补充了电子新技术,在内容取材及安排上,具有以下特点:

1. 削减分立,突出集成。例如,负反馈一章全部讲集成运算放大器组成的负反馈放大器。

2. 增加了新器件、新型电子电路。新器件有红外线发光管、激光二极管、双基极二极管、双向触发晶闸管等,新型电子电路有由集成运算放大器组成的压控振荡器、集成函数发生器 8038 等。

3. 全书贯穿了教学演示,突出了电子技术的应用性、实践性,强化了实际应用能力的培养。

4. 为了使能够认识电子器件,本书收集了各种类型的器件,并采用立体实物图来展示之,拉近了教材与实际、学校与市场的距离。

5. 为突出学生实际动手能力的培养,对每一种器件都有管脚测试和质量检测的方法,并采用立体实物图来描述测试步骤,使测试更直观、更实际。

6. 在电路图中对关键元器件的作用进行了标注说明,使读者更简单、更直观地了解电路的性能。

7. 为方便各学校、各专业的使用,本书分必修及选修内容,其中,选修内容以“*”作为标记。

8. 教材在三极管放大电路部分具有自己独特的处理方式。采用了“先直流

偏置后交流输入,先放大条件后放大对象”的方法,具体是先介绍直流偏置方式,保证三极管起放大作用,在此基础上介绍交流信号在三极管上的输入输出方式,由于公共端的不同,构成了共e、共c、共b极电路,并逐步分析其交流性能。因为共e、共b、共c极电路,其直流偏置方式可以是相同的,这样做,可以避免传统模式上的每种电路的直流偏置方式分析的重复现象。教材经这样处理后,概念清楚,方法简单,所用学时少,且易学易懂。

9. 本次重新修改编写时,根据大部分专业的需求,删掉了原版中的“集成模拟乘法器在频率变换中的应用”一章。

全书内容共分10章,每小节有思考题,每章有习题,供读者思考及练习。

本书由西安铁路职业技术学院的周雪老师担任主编,西安航空职业技术学院的张慧玲老师担任副主编。绪论及第4、9、10章由周雪执笔,第2章由张慧玲执笔,第1、3、8章由西安理工大学的肖志锋老师执笔,第5章由西安铁路职业技术学院的吕红娟老师执笔,第6、7章由西安铁路职业技术学院的阮黎君老师执笔。周雪同志对全书进行了修改和统稿。

在本书的编写过程中,渭南工业职业技术学院的贺歆昉老师做了大量的工作,在此表示感谢。

本书承蒙西安电子科技大学江晓安教授审稿。

中国铁通集团公司陕西分公司副总经理、工程师张俊峰同志,西安铁路局电务工程公司副总经理王德良同志对本书的选题和内容进行了指导和帮助,在此表示衷心的感谢。

由于作者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

2005年3月

第一版前言

本书是依据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电工类专业“模拟电子技术”教学大纲编写的。

本书可作为高等职业教育电子、通信、计算机、自控、电气等专业的教材,也可作为中等专业学校有关专业的提高教材,还可作为自学考试自学或从事电子技术的工程人员学习用书。

本书在教材编写过程中,认真分析了现行电子教学内容,摒弃了陈旧知识,补充了电子新技术,在内容取材及安排上,与现有一些《模拟电子技术》教材相比,具有以下特点:

1. 削减分立,突出集成。例如,负反馈一章全部讲集成运放组成的负反馈放大器,对于分立元件反馈放大电路只是出现在习题练习中。

2. 增加了新器件、新型电子电路。例如,红外线发光管、激光二极管、双基极二极管、双向触发晶闸管等,新型电子电路有:由集成运放组成的压控振荡器、集成函数发生器8038等。

3. 增加了“集成模拟乘法器在频率变换电路中的应用”一章。利用集成模拟乘法器的应用,将调制与解调、倍频、分频等高频电子电路中的内容作了介绍,为需要学习高频电子电路的专业选用。我们认为这样处理基本满足这些专业的要求,且用时少、内容新。

4. 全书贯穿了教学演示,突出了电子技术的应用性,实践性,强化了实际应用能力的培养。

5. 为突出学生实际动手能力的培养,对每一种器件都有管脚测试及质量检测的方法。

6. 在电路图中对关键元器件的作用进行了标注说明,使读者更简单、更直观地了解电路的性能。

7. 为方便各学校、各专业的使用,本书分必修及选修内容,其中,选修内容以“*”作为标记。

8. 在三极管放大电路部分具有自己独特的处理方式。采用了“先直流偏置后交流输入,先放大条件后放大对象”的方法,具体表现在:先介绍直流偏置方

式,保证三极管起放大作用,在此基础上介绍交流信号在三极管上的输入、输出方式,由于公共端的不同,构成了共e、共c、共b电路,并逐步分析其交流性能,因为不管是共e、共b、共c电路,其直流偏置方式可以是相同的,这样做,可以避免传统模式上的每种电路的直流偏置方式都进行分析的重复现象。教材经这样处理后,概念清楚,方法简单,所用学时少,且易学易懂。

全书内容共分11章,按照理论教学100学时左右编写,每小节有思考题,每章有习题,供读者思考及练习。

本书由周雪担任主编,张慧玲担任副主编;第1、9章由贺敬昉执笔,第2章由张慧玲执笔,第3、8章由肖志锋执笔,第5章由吕红娟执笔,第6、7章由阮黎君执笔,绪论及第4、10、11章由周雪执笔。周雪对全书做了统稿及修改。

扉页参编人员署名按姓氏笔画排序。

本书承蒙西安电子科技大学江晓安教授审稿,并提供了详尽的修改意见,在此表示衷心的感谢。

为了方便教学,本书配有电子教案,任课教师可与西安电子科技大学出版社发行部联系,免费索取,联系电话:(029)8202945。

由于作者水平有限,书中难免有错漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者
2001年9月

常用符号一览表

1. 器件(分立元件)

1) 器件名称

V	二极管、三极管、晶闸管、场效应管
A	放大器
S	开关
T	变压器
RP	电位器

2) 器件管脚名称

本书采用小写英文字母表示各管脚名称(个别除外)

b	三极管基极
c	三极管集电极
e	三极管发射极, 单结晶体管发射极
g(G)	场效应管栅极, 晶闸管控制极
d(D)	场效应管漏极
s(S)	场效应管源极
a	晶闸管阳极
k	晶闸管阴极
b ₁ 、b ₂	单结管第一基极、第二基极

2. 电压与电流

1) 电源电压

(1) 符号规定

大写的英文字母 U , 下角标采用大写的英文字母, 并双写该字母。

(2) 符号使用

U_{BB}	晶体三极管基极电源电压, 单结晶体管的电源电压
U_{CC}	晶体三极管集电极电源电压
U_{EE}	晶体三极管发射极电源电压
U_{GG}	场效应管栅极电源电压, 晶闸管控制极电源电压
U_{DD}	场效应管漏极电源电压
U_{AA}	晶闸管阳极电源电压

2) 电压与电流

(1) 符号规定

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(直流)(例如, U_o 表示输出直流电压)。

若在英文大写字母符号 $U(I)$ 之前加符号“ Δ ”, 则表示直流电压(电流)的变化量。

(2) 符号使用

U_B 、 U_C 、 U_E	基极、集电极、发射极的直流电压
U_{BE}	三极管基射极间的直流电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路时三极管集射极间的反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路时三极管射基极间的击穿电压
u_i	交流输入电压
u_o	交流输出电压
U_i 、 U_o	交流输入、输出电压的有效值
U_{CE}	三极管集射极间直流电压
U_{CES}	三极管的集射极间饱和压降
u_s	信号源电压
i_B	基极含有直流成分的瞬时电流
i_C	集电极含有直流成分的瞬时电流
i_E	发射极含有直流成分的瞬时电流
i_b	基极交流电流
i_c	集电极交流电流
i_e	发射极交流电流
I_b	基极交流电流的有效值
I_c	集电极交流电流的有效值
I_e	发射极交流电流的有效值
I_{BQ} 、 I_{CQ} 、 I_{EQ}	基极、集电极、发射极的静态工作电流
I_{BS}	临界基极饱和电流
I_{CS}	临界集电极饱和电流
I_{CBO}	发射极开路时的集基极间的反向饱和电流
I_{CEO}	基极开路时的集射极间的穿透电流
I_{CM}	集电极最大允许电流
$U_{GS(th)}$	场效应管开启电压
$U_{GS(off)}$	场效应管夹断电压
U_{GS}	场效应管栅源极间的直流电压
U_{gs}	栅源极间的交流电压(有效值)
I_D	漏极直流电流

U_{DS}	漏源极间的直流电压
U_{ds}	漏源极间的交流电压(有效值)
I_A	流过晶闸管阳极的直流电流
i_a	流过晶闸管阳极的交流电流
U_{GK}	晶闸管控制极至阴极间的直流电压
u_f	反馈电压
u_{id}	差模输入电压, 净输入电压
u_{ic}	共模信号电压
$U_+、I_+$	运放同相端的输入电压、输入电流
$U_-、I_-$	运放反相端的输入电压、输入电流
$U_Z、I_Z$	稳压二极管的稳定电压、稳定电流
I_F	最大整流电流
U_{RM}	最大反向工作电压
I_R	二极管的反向电流
f_M	二极管的最高工作频率
U_{REF}	电压比较器的参考电压
U_{TH}	阈值电压或门限电压
$U_{TH1}、U_{TH2}$	上门限电压、下门限电压
ΔU_{TH}	回差电压

3. 功率

P_{CM}	集电极最大耗散功率
P_{DC}	直流电源提供的功率
P_C	三极管耗散功率
P_O	输出功率
P_{Omax}	最大输出功率

4. 电阻、电容、电感

R_b	基极偏置电阻
R_c	集电极电阻
R_e	发射极电阻
R_L	负载电阻
r_i	输入交流电阻
r_{be}	基射极间的交流输入电阻
r_o	输出交流电阻
r_s	信号源内阻
r_{id}	差模输入电阻
r_{od}	差模输出电阻
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_g	场效应管的栅极电阻
R_d	场效应管的漏极电阻
R_s	场效应管的源极电阻
C	电容
L	电感

5. 频率参数

f_H	放大电路的上限截止频率
f_L	放大电路的下限截止频率
BW	通频带
f_0	振荡频率
ω_0	谐振角频率
f_{Hf}	具有反馈时的上限截止频率
f_{Lf}	具有反馈时的下限截止频率
f_s	晶体的串联谐振频率
f_p	晶体的并联谐振频率

6. 性能参数

$\bar{\beta}$	共发射极直流电流放大倍数
β	共发射极交流电流放大倍数
A_u	交流电压放大倍数
A_{us}	源电压放大倍数
A_i	电流放大倍数
g_m	场效应低频跨导
η	效率
A_{ud}	差模电压放大倍数
$A_{ud1}(A_{ud2})$	单端出差模电压放大倍数
A_{uc}	共模电压放大倍数
K_{CMR}	共模抑制比
A	开环放大倍数
A_{uf}	闭环电压放大倍数
γ	稳压系数
s	纹波电压
δ	占空比
S_T	温度系数
φ_A	放大电路的相位移
φ_F	反馈网络的相位移

目 录

绪论	1
0.1 课程的研究对象	1
0.2 电子技术的发展概况	2
0.3 电子技术的应用领域	2
0.4 课程的特点	3
0.5 课程的基本要求	3
第 1 章 半导体二极管及其应用电路	5
1.1 PN 结	5
1.1.1 半导体的基础知识	5
1.1.2 PN 结及其单向导电性	8
思考题	9
1.2 半导体二极管	9
1.2.1 半导体二极管的结构、符号、实物图及类型	9
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	10
1.2.3 半导体二极管的主要参数	12
1.2.4 二极管的简易测试	12
1.2.5 二极管使用注意事项	13
1.2.6 半导体二极管的命名方法	13
1.2.7 半导体二极管的应用举例	14
思考题	15
1.3 特殊二极管	16
思考题	20
本章小结	20
习题	20
第 2 章 半导体三极管及其放大电路	23
2.1 半导体三极管	23
2.1.1 三极管的结构与分类	23
2.1.2 三极管的电流放大作用	25
2.1.3 三极管的特性曲线	27
2.1.4 三极管的主要参数及温度的影响	29
2.1.5 三极管的命名及判别方法	30
2.1.6 特殊三极管简介	34
思考题	35
2.2 放大电路的基本知识	35
2.2.1 放大电路的基本概念	35

2.2.2 放大电路的工作状态分析	38
思考题	40
2.3 放大电路的失真现象分析	40
思考题	42
2.4 放大电路的偏置方式	42
思考题	45
2.5 放大电路性能指标的估算	45
2.5.1 放大电路的动态性能指标	45
2.5.2 共发射极放大电路性能指标的估算	46
2.5.3 共集电极、共基极放大电路的性能指标	50
2.5.4 三种基本放大电路的性能比较	53
思考题	54
2.6 多级放大电路	54
2.6.1 多级放大电路的组成	55
2.6.2 多级放大电路的性能指标估算	56
2.6.3 放大电路的频率特性	57
思考题	60
本章小结	60
习题	61

第3章 场效应管及其应用

3.1 场效应管	66
3.1.1 结型场效应管	66
3.1.2 绝缘栅型场效应管	68
3.1.3 场效应管的主要参数及使用注意事项	71
思考题	74
3.2 场效应管放大电路	74
3.2.1 共源放大电路	74
3.2.2 共漏放大电路	76
3.2.3 场效应管放大电路的应用	77
思考题	79
本章小结	79
习题	79

第4章 集成运算放大器

4.1 差动放大电路	81
4.1.1 电路组成与性能分析	81
思考题	84
4.1.2 差动放大电路的输入输出方式	85
思考题	87
4.2 集成运算放大器	87
4.2.1 集成运算放大器器件的识读	87
4.2.2 集成运放的组成及其符号	88

4.2.3 集成运算放大器的分类	89
4.2.4 模拟集成电路的型号命名方法	91
思考题	91
4.3 集成运算放大器的主要参数及其选择	91
4.3.1 集成运算放大器的主要参数	91
4.3.2 集成运算放大器的选择	94
思考题	94
本章小结	94
习题	95
第5章 负反馈放大器	98
5.1 反馈的基本概念	98
思考题	102
5.2 负反馈对放大器性能的影响	103
思考题	106
5.3 深度负反馈放大电路的分析	106
思考题	108
本章小结	108
习题	109
第6章 集成运算放大器的基本应用	111
6.1 概述	111
思考题	112
6.2 基本运算电路	112
6.2.1 比例运算	112
6.2.2 加法运算	114
6.2.3 减法运算	115
6.2.4 微积分运算	117
* 6.2.5 乘法运算电路	118
思考题	120
* 6.3 有源滤波和精密整流电路	120
6.3.1 有源滤波电路	120
6.3.2 精密整流电路	123
思考题	125
6.4 电压比较器	125
6.4.1 单门限电压比较器	125
6.4.2 滞回电压比较器	126
思考题	128
6.5 集成运算放大器的使用常识	128
思考题	130
本章小结	131
习题	131

第 7 章 波形发生电路	136
7.1 正弦波振荡电路	136
7.1.1 正弦波振荡电路的基础知识	136
7.1.2 RC 正弦波振荡电路	138
7.1.3 LC 振荡电路	140
7.1.4 晶体振荡电路	144
思考题	146
7.2 非正弦信号发生器	146
7.2.1 矩形波发生器	147
7.2.2 三角波发生器	148
7.2.3 锯齿波发生器	149
思考题	150
7.3 集成函数发生器 8038 简介	150
* 7.4 压控振荡器	151
本章小结	154
习题	155
第 8 章 功率放大器	158
8.1 功率放大器的特点和分类	158
思考题	159
8.2 乙类互补对称功率放大电路(OCL 电路)	159
思考题	162
8.3 单电源互补对称功率放大电路(OTL 电路)	162
思考题	163
8.4 复合互补对称功率放大电路	163
8.4.1 复合管	163
8.4.2 电路举例	164
8.5 集成功率放大器	165
本章小结	168
习题	168
第 9 章 直流稳压电源	170
9.1 概述	170
9.1.1 演示电路	170
9.1.2 稳压电源	171
9.2 整流滤波电路	172
9.2.1 整流电路	172
9.2.2 滤波电路	175
思考题	179
9.3 硅稳压管稳压电路	180
思考题	181
9.4 串联型线性稳压电路	181

思考题	183
9.5 三端集成稳压器	183
9.5.1 三端固定式集成稳压器	184
9.5.2 三端可调集成稳压器	187
9.5.3 三端集成稳压器的使用注意事项	188
思考题	188
9.6 开关稳压电源	188
思考题	190
本章小结	190
习题	191
第 10 章 晶闸管及其应用电路	193
10.1 单向晶闸管	193
10.1.1 单向晶闸管的实物图及其性能演示	193
10.1.2 单向晶闸管的内部结构及工作原理	195
10.1.3 晶闸管的伏安特性曲线及其主要参数	196
10.1.4 晶闸管的型号	198
10.1.5 单向晶闸管质量粗测	199
思考题	201
10.2 单相可控整流电路	201
10.2.1 单相半波可控整流电路	201
10.2.2 单相半控桥式整流电路	203
思考题	206
10.3 单结晶体管触发电路	206
10.3.1 单结晶体管的结构及其性能	206
10.3.2 单结晶体管张弛振荡器	209
10.3.3 单结晶体管同步触发电路	210
思考题	211
10.4 双向晶闸管及其应用电路	211
10.4.1 双向晶闸管	211
10.4.2 触发二极管	213
10.4.3 交流调光台灯的应用电路	214
思考题	215
本章小结	215
习题	215
附录	217
部分习题参考答案	230
参考文献	233

绪 论

几乎所有的人都收听过收音机。收音机是如何把人耳听不见、眼睛看不见的电磁波接收下来并且变换成听得见的声音信号的呢？

开大会时，我们总是看见讲话人面前放着一个话筒，而我们从喇叭里就能听得见讲话人的声音，这里边有什么奥妙呢？它是如何把小声音变成全场都能听得见的大声音呢？实际上，话筒的作用是把声音信号转换成微弱的电信号，再经过扩音机把这个信号放大，然后向扬声器提供一定的功率信号。扩音机示意图如图 0.1 所示。

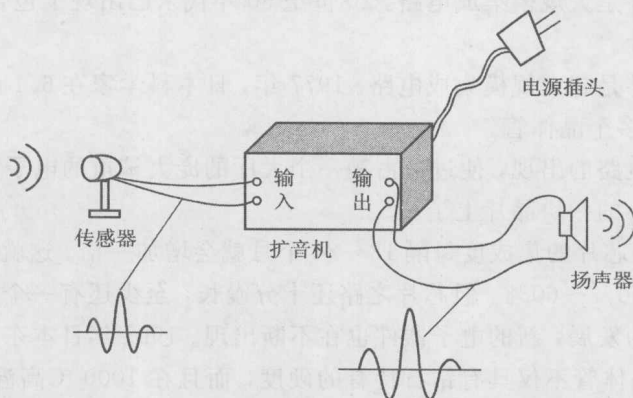


图 0.1 扩音机示意图

在上述收音机及扩音机的例子中，其内部都有放大电路，它们放大的都是随声音连续变化的电信号，将此类电路称之为模拟电子电路。我们所说的“模拟电子技术”就是讲述“模拟电子电路”（或者称之为“电子线路”）技术的一门课程。该课程的研究对象、基本内容、应用领域、特点是什么呢？在没有进行新课之前应对此有所了解。

0.1 课程的研究对象

电子技术就是应用电子元器件来达到某种特定目的或完成某项特定任务的技术。电子技术研究的对象是电子元器件和由电子元器件构成的各种基本功能电路，以及由某些基本功能电路所组成的有各种用途的装置或系统。电子技术按照其处理信号的不同，可分为模拟电子技术和数字电子技术两部分。取值随时间连续变化的信号是模拟信号，产生、传输