

高等学校工程专科教材

模拟电子技术基础

周良权 主编

周良权 傅恩锡 李世馨 编

高等教育出版社



高等学校工程专科教材

模拟电子技术基础

周良权 傅恩锡 李世馨 编

周良权 主编

高等教育出版社

(京) 112 号

本书是根据国家教育委员会在1990年7月制订颁发的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》编写的。与本书配套的教材有《数字电子技术基础》和《电子技术基础实验》。

全书共分十二章,内容是:半导体二极管及其基本应用、半导体三极管及其基本放大电路、场效应管及其基本放大电路、多级放大电路与频率特性、集成运算放大电路基础、负反馈放大电路、集成运算放大器的应用、正弦波振荡电路、功率放大电路、直流稳压电源、晶闸管电路及其应用、模拟电子电路读图练习。各章均列举相应的应用实例、思考题与习题。书末有典型器件的参数附录、汉英对照、参考文献和部分习题答案。

本书由国家教育委员会高等工程专科电子技术基础编审组推荐为全国高等工程专科学校电气、电子类专业“电子技术基础”课程通用教材,也适于作为机电一体化工程专科电子技术课程自学考试教材。也可作为普通高校大专班和职工大学电气、电子类专业“电子技术基础”课程教材,还可供中等专业学校和普通高校本科有关专业或从事电子技术的工程技术人员参考。

本书责任编辑 章浩平

高等学校工程专科教材

模拟电子技术基础

周良权 主编

周良权 傅恩锡 李世馨 编

*

高等教育出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 17.75 字数 460 000

1993 年 10 月第 1 版 1993 年 10 月第 1 次印刷

印数 0001—16 335

ISBN 7-04-004339-4/TN·189

定价 6.75 元

前 言

本书是根据国家教育委员会 1990 年 7 月制订的《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》和 1990 年 11 月武汉会议审定通过的《高等学校工程专科电子技术基础教材编写大纲》进行编写的。与本教材配套的有《数字电子技术基础》和《电子技术基础实验》。

根据高等学校工程专科培养目标的要求,本书编写力求在保证必要的基本理论、基本知识、基本分析方法和技能的基础上,避免繁琐的公式推导;贯彻理论与工程实践相结合;以应用为目的、以必需够用为度和掌握概念、强化应用等原则,突出高等工程专科教学的特色。

本书的编写思路是:

一、遵循教学规律,力求由浅入深,由易到难,由简到繁,循序渐进。

二、由于目前电子技术的飞速发展,国内外电子器件的生产和应用不断趋向集成化,因此,在教材编写内容上,对分立元件所组成单元电路工作原理的介绍作了适当精简,加强了模拟集成电路内容的介绍,并贯彻分立电路原理为集成器件服务的原则。

三、鉴于目前电子新器件不断涌现,本书也介绍了常用的最新模拟集成电路,除了集成运算放大器(以下简称运放)以外,还介绍了集成模拟乘法器、集成功率放大器、集成三端式稳压器、集成接近开关等;并介绍新的常用电子器件,如发光二极管、光电二极管、变容二极管、光电三极管、光电耦合器和大功率 VMOS 场效应管等。

四、对器件及其基本单元电路,在各章中列举了典型应用电

路,使读者了解其应用规律和使用方法,以求取得学用结合,并强调各种器件的使用注意点。

五、为了便于学习,适量例举了各基本电路的分析和计算方法。最后一章的读图练习,使读者了解模拟电子电路的读图方法,以培养分析问题和解决问题的能力。

六、本书每章开始,根据《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》归纳出的该章教学基本要求,都经过国家教育委员会高等学校工程专科电子技术基础教材编审组讨论认定。目的是使学生在学习过程中便于检查对照。在每章末列有思考题与习题,书后附有部分计算习题的答案。书后的器件参数附录表仅列出了部分典型器件,便于了解查阅和选用器件的方法。

本书教学参考学时范围根据《高等学校工程专科电子技术基础课程教学基本要求》规定为55~70学时(不包含第十一章晶闸管电路及其应用教学时数)。其中下限教学时数仅适用于各章教学基本要求的内容;上限教学时数包含基本要求以外的教学内容。各章中所介绍的实用电路,可根据各校专业要求及学时数情况酌情取舍。加星注的为基本要求以外的内容。第十一章可供后续课无晶闸管内容课程的专业选用。

本书由国家教育委员会高等工程专科电子技术基础教材编审组推荐为高等工程专科学校电气、电子类专业电子技术基础课程的通用教材。本书也被选定为机械电子工程师机电一体化工程专科电子技术课程的自学考试教材,也可作为普通高校大专班和职工大学电气、电子类专业的电子技术基础课程教材。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技术人员参考。

本书是在国家教育委员会组织的高等学校工程专科电子技术课程编审组和高等教育出版社指导下编写完成的。由上海机械高等专科学校周良权同志任主编,湘潭机电高等专科学校傅恩锡同志和杭州高等专科学校李世馨同志参加编写。由华中理工大学陈

大钦教授主审，参加审阅的还有杨华和彭容修副教授。教材具体编写分工如下：傅恩锡同志编写第一、二、三章，周良权同志编写第四、七、九、十、十一、十二章，李世馨同志编写第五、六、八章。

参加1991年7月在集美召开的审稿会的有南通职业大学陈卜锁副教授、沈阳电力高等专科学校熊宝辉副教授、江汉大学易沅陵副教授、集美航海学院黄国庆讲师、华北航天工业学院高璘副教授等同志。

主审陈大钦教授和杨华、彭容修副教授对本教材书稿进行了认真、负责和仔细的审阅，提出了许多宝贵意见和修改建议。参加审稿会的同志对初稿进行认真审阅和提出许多宝贵意见。在此一并表示衷心的感谢。

电子技术日新月异，教学改革任重道远，我们的能力与所提出的要求相比，还有一定的差距。由于编者水平有限，书中难免有错误和不妥之处，敬请使用本书的师生和读者批评指正。

编 者

1992年6月

本书常用符号说明

A	电流量的单位(安培)、运放器件
A	放大倍数、增益
A_f	反馈放大电路的增益、反馈放大电路的放大倍数
A_i	电流增益、电流放大倍数
A_{uo}	开环电压增益、开环电压放大倍数
A_u	带载电压增益、带载电压放大倍数
A_u'	空载电压增益、空载电压放大倍数
A_{uc}	共模电压增益、共模电压放大倍数
A_{ud}	差模电压增益、差模电压放大倍数
A_{uf}	闭环电压增益、闭环电压放大倍数
A_{um}	中频区电压增益、中频区电压放大倍数
A_{us}	考虑信号内阻时的源电压放大倍数
a	整流元件的阳极(正极)
BW	频带宽度、通频带
b	半导体三极管的基极
C	电容
C_B	势垒电容
C_b	隔直电容(耦合电容)
$C_{b'c}$	基极-集电极电容
$C_{b'e}$	基极-发射极电容
C_D	扩散电容
C_e	发射极旁路电容
C_f	反馈电容
C_i	输入电容

C_j	结电容
C_L	负载电容
C_o	输出电容
c	半导体三极管的集电极
D	二极管
D_z	稳压管
d	场效应管的漏极
e	半导体三极管的发射极
$\hat{F}$	反馈系数
F_N	噪声系数
F_v	电压反馈系数
f	频率
f_H	放大电路的上限频率
f_L	放大电路的下限频率
f_o	谐振频率、中心频率
f_T	特征频率
f_c	半导体三极管共基极的截止频率
f_e	半导体三极管共发射极的截止频率
G	电导
g	微变电导
g	场效应管的栅极
g_m	跨导
H	双口网络的混合参数
$h_{ie}, h_{ie}, h_{oe}, h_{re}$	三极管共射接法的 H 参数
I, i	电流
I_C (下标大写)	集电极静态电流、直流电流
I_c (下标小写)	集电极电流交流分量有效值
I_{cm}	集电极电流交流分量幅值
ΔI_C	集电极电流变化量

I_D	二极管静态电流、漏极静态电流
I_P	二极管正向电流平均值
I_I 、 i_I	输入电流
I_{IB}	输入偏置电流
I_{IO}	输入失调电流
I_i	输入电流有效值
I_L 、 i_L	负载电流
I_o	输出电流有效值
I_{OAV}	输出电流平均值
I_{OM}	最大输出电流
i_{OS}	输出短路电流
I_P	二极管反向电流
I_S	信号源电流、二极管反向饱和电流
I_+ 、 i_+	运放同相端输入电流
I_- 、 i_-	运放反相端输入电流
i_C (下标大写)	集电极总电流
i_c (下标小写)	集电极电流交流分量
i_F	反馈电流
i_I	总输入电流
K	热力学温度单位
KA	继电器
K_{CMR}	共模抑制比
KM	接触器
K_r	纹波系数
k	玻耳兹曼常数
k	整流元件的阴极(负极)
L	自感系数、电感
M	互感系数、互感
N	电子型半导体

N	绕组的匝数比
n	电子浓度
P	功率
P	空穴型半导体
p	空穴浓度
Q	静态工作点、品质因数
q	电子的电荷量
R	电阻
R_b 、 R_c 、 R_e	半导三极管放大电路的基极、集电极、发射极电阻
R_d 、 R_g	场效应管放大电路的漏极、栅极电阻
R_f	反馈电阻
R_i	直流输入电阻
R_i	放大电路的交流输入电阻
R_L	负载电阻
R_o	放大电路交流输出电阻
R_s	信号源内阻、场效应管放大电路的源极电阻
R_w	电位器(可变电阻)
r	微变电阻(交流电阻或动态电阻)
r_{be}	半导体三极管的输入电阻
r_{ce}	半导体三极管的输出电阻
S	开关
SB	按钮开关
SQ	限位开关
S_R	转换速率
S_r	稳压系数
s	复频率变量
s	场效应管源极
T	温度

T	双口有源器件(半导体三极管、场效应管、晶闸管等)
Tr	变压器
t	时间
$U、u$	电压(下标含义与 $I、i$ 的下标含义相同)
$U_{(BR)CBO}$	发射极开路,集电极-基极反向击穿电压
$U_{(BR)CEO}$	基极开路,集电极-发射极反向击穿电压
$U_{(BR)EBO}$	集电极开路,发射极-基极反向击穿电压
$U_{(BR)DS}、U_{(BR)GD}、U_{(BR)GS}$	分别为漏-源极、栅-漏极和栅-源极击穿电压
U_D	二极管导通时压降
$U_{GS(off)}$	场效应管的夹断电压
$U_{GS(th)}$	场效应管的开启电压
U_H	回差电压
U_I	直流信号输入电压
U_{ic}	共模输入电压
U_{id}	差模输入电压
U_i	输入电压有效值
U_{id}	净输入电压
U_{on}	二极管、三极管的门限(起始导通)电压
U_P	单晶体管的峰点电压
U_{REF}	参考电压、基准电压
U_s	信号源电压有效值
U_T	温度的电压当量
U_{T+}	上限阈值电压
U_{T-}	下限阈值电压
U_v	单晶体管的谷点电压
U_x	模拟乘法器 X 端的输入电压
U_y	模拟乘法器 Y 端的输入电压
U_Z	稳压管的稳定电压、模拟乘法器的输出电压

$U_+、u_+$	运放同相端的输入电压
$U_-、u_-$	运放反相端的输入电压
u_F	反馈电压
V_{BB}	半导体三极管放大电路的基极电源
V_{CC}	半导体三极管放大电路的集电极电源
V_{DD}	场效应管放大电路的漏极电源
V_{EE}	半导体三极管放大电路的发射极电源
V_{GG}	场效应管放大电路的栅极电源
V_{SS}	场效应管放大电路的源极电源
X	电抗、反馈电路中的信号量
Y	导纳
Z	阻抗
α	半导体三极管共基极接法的电流放大系数、晶闸管的控制角
β	半导体三极管共发射极接法的电流放大系数
θ	整流器件的导电角(二极管、三极管、晶闸管等)
η	效率、单结晶体管的分压比
φ	相位角、相移
τ	时间常数
τ_c	充电时间常数
τ_d	放电时间常数
ω	角频率

目 录

第一章 半导体二极管及其基本应用	1
1.1 PN 结.....	1
1.1.1 N型半导体和P型半导体	1
1.1.2 PN 结的形成过程	3
1.1.3 PN 结的单向导电性	5
1.1.4 PN 结的结电容	7
1.2 半导体二极管	8
1.2.1 半导体二极管的结构和类型	8
1.2.2 半导体二极管的伏安特性	9
1.2.3 半导体二极管的使用常识	14
1.3 半导体二极管的基本应用	17
1.3.1 单相桥式整流滤波电路	18
1.3.2 倍压整流电路	30
1.3.3 二极管其它应用电路举例	32
1.4 特殊二极管	35
1.4.1 稳压管	35
1.4.2 其它特殊二极管	39
思考题与习题.....	46
第二章 半导体三极管及其基本放大电路	51
2.1 双极型三极管	51
2.1.1 三极管的结构	52
2.1.2 三极管的放大原理	53
2.1.3 三极管的特性曲线	59
2.1.4 三极管的使用常识	65
2.2 共发射极基本放大电路	70

2.2.1	共发射极基本放大电路的组成	70
2.2.2	共发射极放大电路的静态分析	72
2.2.3	用图解法分析动态工作情况	77
2.2.4	用微变等效电路法分析动态工作情况	89
2.2.5	放大电路分析方法的比较和使用原则	104
2.3	稳定静态工作点的放大电路——射极偏置电路	104
2.3.1	温度对静态工作点的影响	105
2.3.2	发射极偏置电路	106
2.4	共集电极放大电路——射极输出器	115
2.5	共基极放大电路	119
2.6	三极管放大和开关电路的应用举例	125
2.7	特殊三极管	127
2.7.1	光电三极管	127
2.7.2	光电耦合器	130
	思考题与习题	134
第三章	场效应管及其基本放大电路	145
3.1	结型场效应管	145
3.1.1	结型场效应管的结构和工作原理	145
3.1.2	结型场效应管的特性曲线	150
3.1.3	结型场效应管的主要参数	153
3.2	绝缘栅场效应管	155
3.2.1	N沟道增强型绝缘栅场效应管	155
3.2.2	N沟道耗尽型绝缘栅场效应管	159
3.2.3	P沟道 MOS 场效应管简介	161
3.2.4	MOS 场效应管的符号、特性曲线和主要参数	161
3.2.5	场效应管的特点及使用注意事项	164
3.3	场效应管基本放大电路	166
3.3.1	场效应管的偏置电路及静态分析	166
3.3.2	场效应管放大电路的微变等效电路分析法	170
3.4	场效应管的应用举例	177

思考题与习题	180
第四章 多级放大电路与频率特性	186
4.1 多级放大电路的组成及分析方法	186
4.1.1 概述	186
4.1.2 多级放大电路的分析和动态参数的计算	188
4.1.3 放大倍数的分贝表示法——增益	192
4.2 放大电路的频率特性(频率响应)	193
4.2.1 单级阻容耦合放大电路的频率特性及其指标	194
*4.2.2 单级阻容耦合放大电路的低频特性和下限频率的计算	197
*4.2.3 单级阻容耦合放大电路的高频特性和上限频率的计算	201
4.2.4 对数频率特性——波特图	204
4.2.5 三极管的频率参数	206
4.2.6 多级放大电路的频率特性	207
4.3 多级放大电路的应用	209
思考题与习题	213
第五章 集成运算放大器电路基础	217
5.1 概述	217
5.2 差动放大电路	217
5.2.1 直接耦合放大电路的零点漂移现象	217
5.2.2 差动放大电路	218
5.2.3 差模信号和共模信号的分离方法	227
5.2.4 单端输入的差动放大电路	228
5.2.5 具有恒流源的差动放大电路	230
5.2.6 差动放大电路的应用举例	231
5.3 集成运算放大器	233
5.3.1 集成运算放大器的特点	233
5.3.2 集成运算放大器的组成	234
5.3.3 集成运放的主要技术指标	240
5.4 集成运放电路的分析方法及基本运放电路	247
5.4.1 运放传输特性及理想运放电路的分析方法	247

5.4.2 基本运算电路	249
思考题与习题	260
第六章 负反馈放大电路	269
6.1 反馈的基本概念	269
6.1.1 什么是反馈	269
6.1.2 反馈的基本形式	270
6.2 放大电路中交流反馈的基本类型	275
6.2.1 交流反馈的四种类型和判断方法	275
6.2.2 四种类型的负反馈放大电路	275
6.3 反馈的一般表达式	282
6.3.1 负反馈放大电路的方块图	282
6.3.2 负反馈放大电路的一般表达式	283
6.4 负反馈对放大电路性能的影响	284
6.4.1 提高放大倍数的稳定性	284
6.4.2 扩展频带	285
6.4.3 减小非线性失真及抑制干扰和噪声	287
6.4.4 负反馈对输入电阻和输出电阻的影响	288
6.5 深度负反馈放大电路的计算	294
6.5.1 深度负反馈的特点	294
6.5.2 深度负反馈电路计算举例	295
6.6 负反馈放大电路的自激振荡及消除方法	301
6.6.1 产生自激振荡的条件和原因	301
6.6.2 自激振荡的判断	303
6.6.3 消除自激振荡的方法——相位补偿网络	306
思考题与习题	309
第七章 集成运算放大器的应用	316
7.1 高精度整流电路	316
7.2 模拟乘法器	318
7.2.1 模拟乘法器的基本电路及其工作原理	318
7.2.2 集成模拟乘法器的应用	321

7.3 有源滤波器	324
7.3.1 基本概念	324
7.3.2 一阶低通滤波器 (LPF)	326
7.3.3 一阶高通滤波器 (HPF)	328
7.3.4 高通滤波器与低通滤波器的对偶性	330
7.3.5 二阶压控电压源低通滤波器	330
7.3.6 二阶压控电压源高通滤波器	333
7.3.7 带通滤波器和带阻滤波器	334
7.3.8 有源滤波器中阻容元件参数的计算	338
7.4 集成运放工作在非线性区方面的应用	339
7.4.1 电压比较器	339
7.4.2 非正弦信号发生器	347
7.4.3 压控振荡器	353
7.5 集成运放线性放大电路应用实例	355
7.6 集成运放在使用中的一些问题	358
思考题与习题	366
第八章 正弦波振荡电路	373
8.1 正弦波振荡电路的产生与电路分析	373
8.1.1 振荡条件	373
8.1.2 起振与稳幅	374
8.1.3 振荡电路的组成、分析和分类	376
8.2 RC 正弦波振荡电路	377
8.2.1 RC 串并联网络的频率特性	377
8.2.2 RC 串并联正弦波振荡电路	381
8.3 LC 正弦波振荡电路	384
8.3.1 LC 并联回路的特性	384
8.3.2 LC 振荡电路的基本形式	387
8.3.3 石英晶体振荡电路	393
8.4 LC 正弦波振荡电路应用举例	397
思考题与习题	402