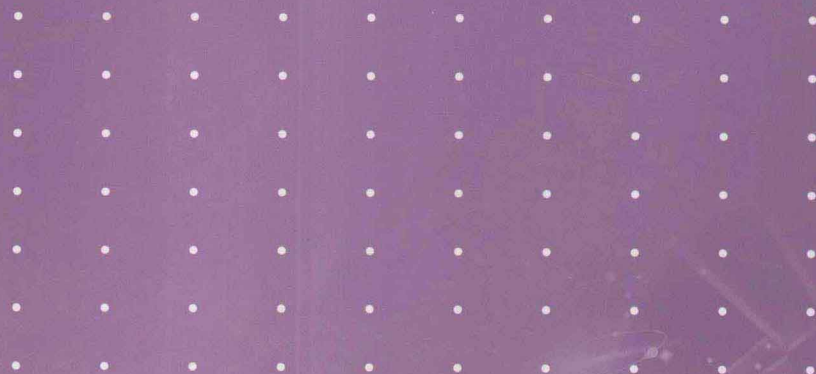


教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会推荐教材

模拟电子技术基础

(配光盘)

■ 刘波粒 刘彩霞 主编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS

教育部高等学校电子电气基础课程教学指

模拟电子技术基础

MONI DIANZI JISHU JICHU

(配光盘)

■ 刘波粒 刘彩霞 主编



高等教育出版社·北京
HIGHER EDUCATION PRESS BEIJING

内容简介

本教材根据教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会2011年制定的《模拟电子技术基础课程教学基本要求》，并结合编者多年的教学经验和教改成果编写而成。它以“精选内容、服务教学、力图创新”为原则，从“调整章节结构、突出设计思想、探求知识本源、分析典型题型、构建知识结构、浓缩教学经验、附带习题详解”七个方面体现了编者多年的教学思想，同时，作者制作了与课本同步的3个教学课件（包括 Authorware 版、中文 PPT 和英文 PPT），其中 Authorware 版以“板书演示”、“动画演示”和“仿真演示”三位一体的形式再现了课堂教学新体系，便于教师教学与学生自学。

教材由半导体二极管及其基本电路、双极型晶体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响应、放大电路中的反馈、功率放大电路、集成运算放大电路、集成运算放大电路的基本应用、信号发生电路、直流电源共10章组成。

为了便于教与学，随书光盘中包括上述3个课件、Flash 动画、EWB 仿真实验，以及各章自测题和习题详解。

本书可作为高等院校电气信息类、电子信息类、自动化类各专业模拟电子技术基础课程的教材，也可作为工程技术人员的参考书。

图书在版编目 (C I P) 数据

模拟电子技术基础 / 刘波粒, 刘彩霞主编. -- 北京 : 高等教育出版社, 2013. 6
ISBN 978 - 7 - 04 - 037409 - 4

I. ①模… II. ①刘…②刘… III. ①模拟电路 - 电子技术 - 高等学校 - 教材 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 096796 号

策划编辑 李 慧
版式设计 王艳红

责任编辑 李 慧
责任校对 刘丽娴

封面设计 赵 阳
责任印制 尤 静

插图绘制 尹 莉

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京市密东印刷有限公司
开 本 787mm × 960mm 1/16
印 张 22.25
字 数 410千字
购书热线 010 - 58581118

咨询电话 400 - 810 - 0598
网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landaco.com>
<http://www.landaco.com.cn>
版 次 2013年6月第1版
印 次 2013年6月第1次印刷
定 价 35.00元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换
版权所有 侵权必究
物 料 号 37409 - 00

序

自 1999 年以来,我国高等教育的规模发生了历史性变化,开始进入大众化的发展阶段。高等院校从生源基础知识水平、课程设置、教学目的到培养目标都趋于多元化,原有教材类型和种类较少的现状已经难以满足不同类型高等院校培养不同类型人才的需求。而在本科教育中,基础课程建设是保证和提高教学质量的关键。为此,“教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会”与高等教育出版社合作,以教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会最新制定的《电子电气基础课程教学基本要求》、电子信息科学类与电气信息类各教学指导分委员会最新制定的专业规范以及《全国工程教育专业认证标准(试行)》为依据,共同组织制订了“电子信息科学类与电气信息类专业平台课程教材规划”。

这套规划教材的制订和编写遵循了以下几点原则:

1. 尊重历史,将高等教育出版社经过半个多世纪的积淀所形成的名家名作、精品教材纳入规划。这些教材经过数十年的教学实践检验,具有很好的教学适用性。此次规划将依据新的《电子电气基础课程教学基本要求》以及电气信息学科领域的最新发展,对教材内容进行修订。

2. 突出分类指导,突出不同类型院校工程教育的特点。大众化教育阶段,不同类型院校的人才培养目标定位不同,应当根据不同类型院校学生的特点组织编写与之相适应的教材。鼓励有编写基础的一般院校和应用型本科院校经过 2~3 年的试用,形成适用于本层次教学的教材。

3. 理论知识与实际应用相结合。提倡在教材编写中把理论知识与在实际生产和生活中的应用紧密结合,着重培养学生的工程实践能力和创新能力,以适应社会对工程教育人才的要求。

4. 数字化的多媒体资源与纸质教材内容相结合。在教育部“加快教育信息化进程”的倡导下,提倡利用多样化、立体化的信息技术手段(如动画、视频等),将课程教学内容展现给学习者,以加深他们对知识的理解,达到更好

II 序

的教学效果。

教材建设是一项长期、艰巨的工程。我们将本着成熟一批出版一批的指导思想，把这项工作扎实持续地推进下去，为电子信息科学类与电气信息类专业基础课程建设一批基础扎实、教学适用性强、体现时代气息的规划教材，为提高高等教育教学质量，深化高等教育教学改革做出应有的贡献。

教育部高等学校电子电气基础课程教学指导分委员会主任委员



2010年12月

前 言

模拟电子技术基础是电子、电气信息类专业和部分非电类专业学生在电子技术方面入门性质的必修课程，具有自身的体系和很强的实践性，是基础理论课程向专业工程类课程过渡的桥梁。然而，该课程却因其概念抽象、内容庞杂、难于理解、记忆困难、不会应用、学时有限等缘故表现出“教与学”的困难，2006年编者在国防工业出版社出版了《模拟电子技术》教材，尝试解决教与学的难点并初见成效。六年来，编者认真对待教材使用者的反馈信息，不断深入课程改革，在借鉴同类教材特别是经典教材的基础上，本着“精选内容、服务教学、力图创新”的原则，对原教材及课件进行了较大篇幅地改编，主要工作如下：

1. 对教材的教学思路和结构进行了部分调整

(1) 调整章节结构——便于教学

为了更好地服务教学，将“放大电路中的反馈”一章前移，可使初学者从反馈的角度理解功放电路、差放电路等课程内容。

(2) 突出设计思想——电路形成

在共射放大电路、功放电路、差放电路、有源滤波电路、整流电路等课程内容的编写上，以电路形成的设计思想为线索，把看似庞杂的电路和知识有机地串接起来，使初学者感受到“创新”就在自己身边。

(3) 探求知识本源——理论归真

在课程改革中，编者提出了一些自己的见解。例如：①在原有“瞬时极性法”的基础上又定性地考虑了信号的大小，使正、负反馈的判断更为直观。②依据理想集成运放工作在线性和非线性区的特点，探索出3个方程的求解思路，从而揭示了集成运放应用的规律。

(4) 分析典型题型——深化概念

所选的典型题型尽可能涵盖前面讲述的课程内容。

(5) 构建知识结构——梳理归纳

在“本章小结”的“本章知识结构”中，以框架的形式呈现课程脉络。

(6) 浓缩教学经验——记识技巧

在“本章小结”的“本章记识要点及技巧”中，为初学者指出了应掌握的知识要点以及如何记忆。其中，电量符号“倒读”方式表达其物理含义，

场效应管放大电路动态指标的巧记方法，深度负反馈放大倍数的估算和反馈深度对负反馈放大电路性能的影响，差放电路的组合方式，三角波周期计算公式等，都源于编者多年的教学经验。

(7) 附带习题详解——适于自学

为了便于自学，编者对教材中的自测题和习题提供了详细的参考答案。

2. 为教材制作了课件

(1) 板书演示——展现教学精华

为了展现本课程知识要点，编者以多媒体的形式将课程内容高度概括。在一定程度上缓解了目前课程内容多与学时少之间的矛盾。

(2) 动画演示——体现形象教学

依据课程特点，编者精心制作了配有解说词的40个动画。

(3) 仿真演示——模拟实践教学

EWB 仿真软件实现了理论与实践教学的同步，为初学者理解和掌握电路参数设定、动态波形观察、电路性能分析开辟了广阔的空间。

本教材由刘波粒、刘彩霞任主编，赵增荣、孙军英、玄金红、杨丽坤任副主编，具体分工如下：刘波粒编写1~7章，统稿，课件创意；刘彩霞编写8~10章，全书校对，制作 Authorware 版和中文版 PPT 课件；赵增荣编写1~7章习题及答案，动画解说词；孙军英编写8~10章习题及答案，制作英文版 PPT 课件；玄金红和杨丽坤分别编写1~7章和8~10章自测题及答案；郭际负责 EWB 仿真实验；郭要军和吴立勋负责 Flash 动画制作。

随书光盘将提供3个课件以及教材中自测题和习题的详解。EWB 仿真获得北京掌宇金仪科教仪器设备有限公司的正式授权。

在此特别感谢高教社高等教育理工出版事业部李慧老师对本教材出版的关注和支持。特别感谢北京联合大学王传新教授、长安大学林涛教授、哈尔滨工业大学王淑娟教授分别对本教材的推荐、初审和复审，以及他们提出的宝贵意见。

由于编者的能力和水平有限，本教材难免有错误和不妥之处，恳请读者批评指正，以便今后不断改进。编者联系方式：liuboli@126.com。

主 编

2012年12月

本书常用符号说明

一、符号规定

1. 电流和电压(以双极型晶体管为例,其他电流、电压可类比)

I_B 、 I_C 、 I_E 、 U_{BE} 、 U_{CE}	大写字母、大写下标,表示直流量
i_b 、 i_c 、 i_e 、 u_{be} 、 u_{ce}	小写字母、小写下标,表示交流瞬时值
i_B 、 i_C 、 i_E 、 u_{BE} 、 u_{CE}	小写字母、大写下标,表示总瞬时值
I_b 、 I_c 、 I_e 、 U_{be} 、 U_{ce}	大写字母、小写下标,表示交流有效值
\dot{I}_b 、 \dot{I}_c 、 \dot{I}_e 、 \dot{U}_{be} 、 \dot{U}_{ce}	大写字母上面加点、小写下标,表示正弦相量

2. 电阻

R	大写字母表示电路中的电阻或等效电阻
r	小写字母表示器件的等效电阻

二、基本符号

符号	含义
A	集成运放
A_f	反馈放大器的闭环放大倍数
A_i	放大器的电流放大倍数
A_u	放大器的电压放大倍数
A_{uc}	放大器的共模电压放大倍数
A_{ud}	放大器的差模电压放大倍数
A_{uf}	反馈放大器的电压放大倍数
A_{um}	放大器的中频电压放大倍数
A_{uo}	放大器的开环电压放大倍数
A_{us}	放大器的源电压放大倍数
BJT	双极型晶体管
BW	频带宽度、通频带
b	BJT 的基极
C	电容
C_B	势垒电容
C_D	扩散电容

续表

符号	含义
C_j	PN 结结电容
C_π	BJT 发射结等效电容
C_μ	BJT 集电结等效电容
c	BJT 的集电极
D	二极管
d	FET 的漏极
e	BJT 的发射极
F	反馈系数
f	频率
FET	场效应管
f_H	上限频率
f_L	下限频率
f_o	谐振频率, 中心或转折频率
f_T	特征频率
G	增益, 电导
g	FET 的栅极
g_m	跨导
I, i	电流
I_{CBO}	e 开路, c - b 间的反向饱和电流
I_{CEO}	b 开路, c - e 间的穿透电流
I_{CM}	BJT 最大集电极电流
I_{DSS}	FET 的饱和漏极电流
I_F	正向电流
I_i	输入电流
I_R	反向电流
I_S	反向饱和电流, 信号源电流
I_o	输出电流
i_+, i_-	运放同相、反相输入电流
J_e, J_c	BJT 的发射结和集电结
K_{CMR}	差放电路的共模抑制比
k	玻尔兹曼常数
L	电感、电感系数

续表

符号	含义
M	互感、互感系数
N	绕组匝数
n 、 n_i	电子浓度、本征半导体电子浓度
P	功率
P_T	管耗
P_{CM}	集电极最大允许功耗
P_o	输出功率
P_{VCC}	电源功率
p 、 p_i	空穴浓度、本征半导体空穴浓度
Q	静态工作点, 品质因数
q	电子的电荷量
R	电阻
$r_{bb'}$	BJT 基区体电阻
r_{be}	BJT 的输入电阻
r_{ce}	BJT 的输出电阻
r_{ds}	FET 的输出电阻
R_i	放大电路交流输入电阻
R_o	放大电路交流输出电阻
R_p	滑动变阻器
R_+ 、 R_-	运放同相、反相输入电阻
S	输出电压的脉动系数
s	FET 的源极
T	BJT 或 FET
T	周期, 热力学温度
T_r	变压器
U_D	二极管导通压降
U_i 、 u_i	输入电压
U_R	参考电压, 基准电压
U_p	FET 的夹断电压
U_T	FET 的开启电压
U_{th} 、 U_{TH}	死区电压、阈值电压
U 、 u	电压

符号	含义
$U_{(BR)CEO}$	b 开路时 c - e 间的反向击穿电压
u_{ic} 、 u_{id}	共模、差模输入电压
u_x 、 u_y	模拟乘法器 x、y 端输入电压
u_+ 、 u_-	运放同相、反相端输入电压
V_{BB}	BJT 放大器的基极电源
V_{CC}	BJT 放大器的集电极电源
V_{EE}	BJT 放大器的发射极电源
V_{DD}	FET 放大器的漏极电源
V_{GG}	FET 放大器的栅极电源
V_{SS}	FET 放大器的源极电源
X	电抗, 反馈框图中的信号量
Z	阻抗
α	共基极电流放大倍数
β	共发射极电流放大倍数
η	效率
φ	相位差
ω	角频率

郑重声明

高等教育出版社依法对本书享有专有出版权。任何未经许可的复制、销售行为均违反《中华人民共和国著作权法》，其为人将承担相应的民事责任和行政责任；构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。为了维护市场秩序，保护读者的合法权益，避免读者误用盗版书造成不良后果，我社将配合行政执法部门和司法机关对违法犯罪的单位和个人进行严厉打击。社会各界人士如发现上述侵权行为，希望及时举报，本社将奖励举报有功人员。

反盗版举报电话 (010)58581897 58582371 58581879

反盗版举报传真 (010)82086060

反盗版举报邮箱 dd@hep.com.cn

通信地址 北京市西城区德外大街4号 高等教育出版社法务部

邮政编码 100120

目 录

第 1 章 半导体二极管及其基本电路	1
1.1 半导体的基础知识	1
1.1.1 半导体的概念、类型及特性	1
1.1.2 PN 结	6
1.2 半导体二极管	7
1.2.1 二极管的结构	7
1.2.2 PN 结的特性	8
1.2.3 二极管的特性	10
1.2.4 二极管的主要参数	12
1.3 非线性电路的分析方法	13
1.4 半导体二极管电路的分析方法及其应用	14
1.4.1 二极管电路的分析方法	14
1.4.2 二极管的基本应用电路	16
1.5 特殊二极管	18
1.5.1 稳压二极管及其稳压电路	19
1.5.2 其他类型二极管	20
本章小结	22
自测题	24
习题	25
第 2 章 双极型晶体管及其基本放大电路	27
2.1 双极型晶体管	27
2.1.1 晶体管的结构和类型	27
2.1.2 晶体管中载流子的运动和电流分配关系	29
2.1.3 晶体管的共射特性曲线	31
2.1.4 晶体管的主要参数	33
2.1.5 温度对晶体管特性曲线的影响	34
2.2 放大电路的基本组成和主要性能指标	35

II 目录

2.2.1 基本放大电路的组成原则	35
2.2.2 衡量放大电路的主要性能指标	37
2.3 放大电路的分析方法	40
2.3.1 放大电路的特点	40
2.3.2 放大电路的图解分析法	41
2.3.3 放大电路的等效电路法	48
2.4 晶体管基本放大电路的三种组态	53
2.4.1 共射基本放大电路	53
2.4.2 共集基本放大电路	59
2.4.3 共基基本放大电路	61
本章小结	64
自测题	66
习题	68

第 3 章 场效应管及其基本放大电路 72

3.1 场效应管	72
3.1.1 结型场效应管	73
3.1.2 绝缘栅型场效应管	78
3.1.3 各种类型场效应管特性的比较	81
3.1.4 场效应管的主要参数	83
3.1.5 场效应管的小信号等效模型	84
3.2 场效应管放大电路	85
3.2.1 共源基本放大电路	85
3.2.2 共漏基本放大电路	89
本章小结	91
自测题	93
习题	95

第 4 章 多级放大电路与频率响应 97

4.1 多级放大电路	97
4.1.1 多级放大电路的级间耦合方式及其组成	97
4.1.2 多级放大电路的分析方法	100
4.1.3 多级放大电路的分析举例	101
4.1.4 集成运算放大电路的组成框图及其电路符号	105

4.2 放大电路的频率响应	106
4.2.1 频率响应的基本概念	106
4.2.2 一阶 RC 电路的频率响应	108
4.2.3 双极型晶体管的高频小信号模型	111
4.2.4 单级共射放大电路的频率响应	116
4.2.5 多级放大电路的频率响应	123
本章小结	125
自测题	126
习题	128
第 5 章 放大电路中的反馈	132
5.1 反馈的基本概念	132
5.1.1 反馈概念的建立	132
5.1.2 反馈的极性	133
5.1.3 反馈的形式	136
5.2 交流负反馈放大电路的四种类型	138
5.2.1 反馈取样及其判断	139
5.2.2 反馈方式及其判断	140
5.2.3 反馈电路中 \dot{A} 、 \dot{F} 、 \dot{A}_f 的量纲	141
5.3 负反馈对放大电路性能的影响	142
5.3.1 提高放大倍数的稳定性	142
5.3.2 扩展频带	143
5.3.3 减小非线性失真及抑制干扰和噪声	144
5.3.4 改变放大电路的输入、输出电阻	145
5.3.5 正确引入负反馈的一般原则	146
5.4 深度负反馈放大电路的分析方法	146
5.4.1 深度负反馈的特点与估算方法	146
5.4.2 深度负反馈闭环电压放大倍数估算的实例分析	148
5.5 负反馈放大电路的稳定问题	151
5.5.1 负反馈放大电路自激振荡产生的原因和条件	151
5.5.2 负反馈放大电路的稳定性和自激振荡的消除	152
本章小结	155
自测题	157
习题	159

第 6 章 功率放大电路	163
6.1 功率放大电路的一般问题	163
6.1.1 功率放大电路的研究对象	163
6.1.2 功率放大电路的分类	164
6.2 OCL 互补对称功率放大电路	166
6.2.1 OCL 乙类互补对称功率放大电路	166
6.2.2 OCL 甲乙类互补对称功率放大电路	167
6.2.3 OCL 互补对称功率放大电路主要参数的估算	169
6.3 OTL 互补对称功率放大电路	173
6.3.1 OTL 互补对称功率放大电路	173
6.3.2 OTL 互补对称功率放大电路存在的问题及其改进方案	175
6.3.3 OTL 互补对称功率放大电路主要参数的估算	175
6.4 复合管及其准互补对称功率放大电路	176
6.4.1 复合管的组成原则及其参数	176
6.4.2 复合管组成的准互补对称功率放大电路	178
6.5 集成功率放大电路	179
6.6 变压器耦合推挽功率放大电路	181
本章小结	182
自测题	183
习题	185
第 7 章 集成运算放大电路	188
7.1 集成运放的电路特点	188
7.2 集成电路中的电流源电路	189
7.2.1 镜像电流源电路	189
7.2.2 微电流源电路	190
7.2.3 多路电流源电路	190
7.2.4 电流源电路的应用——有源负载	191
7.3 差动放大电路	192
7.3.1 差动放大电路的基本形式与特点	192
7.3.2 长尾式差动放大电路的演进及其分析计算	194
7.3.3 恒流源式差动放大电路的演进及其分析计算	201
7.3.4 其他类型的差动放大电路	203
7.4 集成运算放大电路简介	205

7.4.1	F007 通用型集成运放的电路分析	205
7.4.2	集成运放的主要技术指标	207
7.4.3	集成运放的理想化条件	209
7.4.4	集成运放的低频等效电路	209
7.4.5	集成运放的选择和使用	210
本章小结		213
自测题		215
习题		216
第 8 章 集成运算放大电路的基本应用 221		
8.1	理想集成运放的分析方法	221
8.1.1	集成运放的电压传输特性	221
8.1.2	理想集成运放的应用及其特点	222
8.1.3	集成运放线性和非线性应用的规律	224
8.2	信号运算电路	224
8.2.1	比例运算电路	224
8.2.2	加减运算电路	228
8.2.3	积分和微分运算电路	233
8.2.4	对数和反对数(指数)运算电路	237
8.2.5	乘法运算及其应用	238
8.3	有源滤波电路	241
8.3.1	滤波电路的概念、分类及分析方法	241
8.3.2	低通有源滤波电路	242
8.3.3	高通有源滤波电路	247
8.3.4	带通滤波电路和带阻滤波电路	248
8.4	电压比较器	250
8.4.1	单限比较器	250
8.4.2	滞回比较器	252
8.4.3	窗口比较器	255
8.4.4	集成电压比较器	256
本章小结		258
自测题		259
习题		261