

高等学校教学参考书

模拟电子技术基础 简明教程

(第三版)

教学指导书

- 清华大学电子学教研组 编
- 杨素行 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

模拟电子技术基础 简明教程

（第2版）

教学指导书

主 编 王 毅 王 毅 王 毅
副 编 王 毅 王 毅 王 毅



清华大学出版社
Tsinghua University Press

高等学校教学参考书

模拟电子技术基础 简明教程

(第三版)

教学指导书

- 清华大学电子学教研组 编
- 杨素行 主编



高等教育出版社
Higher Education Press

内容提要

本书与《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)(杨素行 主编)配套。本指导书为采用上述教材的教师备课、深入研究教材和批改作业提供方便,同时可帮助广大学生及自学上述教材的读者正确把握模拟电子技术基础课程的基本要求,牢固掌握课程的基本概念、基本原理和基本分析方法,学习解题方法。

本书章节顺序与主教材一致,主要内容为教材各章的学习要点,重点、难点分析,基本教学要求,部分习题分析及详解,习题参考答案,部分 Multisim 仿真题分析。书末附有两套测试性试题,并给出相应的参考答案。

本书可作为高等学校电气信息类专业教师的教学参考书和学生的学习指导书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础简明教程(第三版)教学指导书/
杨素行主编;清华大学电子学教研组编. —北京:高等
教育出版社,2006.7

ISBN 7-04-018920-8

I. 模... II. ①杨...②清... III. 模拟电路—电
子技术—高等学校—教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 054056 号

出版发行	高等教育出版社	购书热线	010-58581118
社 址	北京市西城区德外大街 4 号	免费咨询	800-810-0598
邮政编码	100011	网 址	http://www.hep.edu.cn
总 机	010-58581000		http://www.hep.com.cn
经 销	蓝色畅想图书发行有限公司	网上订购	http://www.landaco.com
印 刷	北京鑫海金澳胶印有限公司		http://www.landaco.com.cn
		畅想教育	http://www.widedu.com
开 本	787×960 1/16	版 次	2006 年 7 月第 1 版
印 张	23.25	印 次	2006 年 7 月第 1 次印刷
字 数	420 000	定 价	29.00 元

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 18920-00

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》，其行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给予严厉打击。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) 58581897/58581896/58581879

传 真：(010) 82086060

E - mail：dd@hep.com.cn

通信地址：北京市西城区德外大街4号

高等教育出版社打击盗版办公室

邮 编：100011

购书请拨打电话：(010)58581118

策划编辑	韩 颖
责任编辑	欧阳舟
封面设计	于 涛
责任绘图	尹 莉
版式设计	范晓红
责任校对	张 颖
责任印制	朱学忠

前 言

本书是与《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)(清华大学电子学教研组编,杨素行主编,高等教育出版社)一书配套的辅导教材,属于模拟电子技术基础简明教程立体化教材的一个组成部分。

编写本书的目的是为了便于采用上述教材的教师进行备课、深入研究教材和批改作业;同时,也为了帮助广大学生以及自学上述教材的读者牢固掌握课程的基本概念、基本原理和基本分析方法,正确把握模拟电子技术课程的教学基本要求,学习解题的方法。

本书的结构为,按照《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)一书的顺序列出十章,每章的内容包括:

1. 本章学习要点

主要提出两个问题,一个是本章内容提要,简要回顾本章的主要内容;另一个是学习本章应注意的问题。

2. 重点、难点分析

在本章范围内,提出若干重点和难点的内容,进行较深入的分析,以帮助学生掌握模拟电子技术的基本概念和基本电路的工作原理。

3. 本章基本教学要求

根据“教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会”制订的“电子技术基础(A)课程教学基本要求”,进一步明确各章的基本教学要求,并按照“掌握”、“理解”和“了解”三个层次分别列出。其中,要求“掌握”的内容属于本课程中最基本、最重要的基本概念、基本原理和基本分析方法,必须牢固掌握,显然,“掌握”是最高层次的要求。其次是要求“理解”的内容,这部分通常也是课程中比较重要的内容,只是与要求“掌握”的内容相比,要求略低而已。要求“了解”的内容是三者之中相对来说最低层次的要求,但是,要求“了解”的内容也属于本课程的教学要求。

4. 部分习题分析及详解

挑选若干典型习题,通过分析以及较详细的解题过程,帮助学生掌握模拟电子电路的基本分析方法和解题方法。对每道习题均明确指出其出题的意图。

5. 习题参考答案

给出《模拟电子技术基础简明教程》(第三版)一书中各章习题的简要的参考

答案。

6. 部分 Multisim 仿真题分析

选择几个典型的仿真题进行分析,通过构建仿真电路,进行仿真和测试,了解 Multisim 仿真软件的主要特点和基本使用方法。

全书的最后有两个附录,在附录 A 中,给出了两套试题作为例子,供读者参考和自我测试。同时,在附录 B 中,给出了试题举例相应的参考答案。

本《教学指导书》是在作者过去编写的《模拟电子技术基础简明教程(第二版)教学指导书》的基础上修改、补充而成的。编写工作得到了清华大学自动化系电子学教研组以及清华大学电工电子学教学实验中心许多教师和研究生的大力支持和热诚帮助。谨对以上所有的同志致以深切的感谢。

由于作者的水平有限,书中一定存在许多错误或不妥之处,敬请广大读者批评指正。

编 者

2006年1月于清华大学

目 录

绪论	1
第 1 章 半导体器件	3
1.1 本章学习要点	3
1.1.1 本章内容提要	3
1.1.2 学习本章应注意的问题	4
1.2 重点、难点分析	5
1.2.1 半导体二极管的单向导电作用	5
1.2.2 稳压二极管的稳压作用	7
1.2.3 双极型三极管的电流放大作用	8
1.2.4 场效应三极管的特点	12
1.3 本章基本教学要求	15
1.3.1 要求掌握的内容	15
1.3.2 要求理解的内容	15
1.3.3 要求了解的内容	15
1.4 部分习题分析及详解	15
1.5 习题参考答案	19
1.6 部分 Multisim 仿真题分析	22
第 2 章 放大电路的基本原理	25
2.1 本章学习要点	25
2.1.1 本章的重要性	25
2.1.2 本章内容提要	25
2.1.3 学习本章应注意的问题	27
2.2 重点、难点分析	28
2.2.1 静态和动态、直流通路和交流通路	28
2.2.2 静态工作点的设置与估算	31
2.2.3 图解法	33
2.2.4 微变等效电路法	36
2.2.5 静态工作点稳定电路	38
2.2.6 放大电路的三种基本组态	42
2.2.7 多级放大电路	44
2.3 本章基本教学要求	46

2.3.1 要求掌握的内容	46
2.3.2 要求理解的内容	46
2.3.3 要求了解的内容	46
2.4 部分习题分析及详解	46
2.5 习题参考答案	52
2.6 部分 Multisim 仿真题分析	58
第3章 放大电路的频率响应	65
3.1 本章学习要点	65
3.1.1 本章内容提要	65
3.1.2 学习本章应注意的问题	66
3.2 重点、难点分析	66
3.2.1 频率响应的基本概念	66
3.2.2 三极管的频率参数	69
3.2.3 单管共射放大电路的频率响应	70
3.2.4 多级放大电路的频率响应	77
3.3 本章基本教学要求	79
3.3.1 要求掌握的内容	79
3.3.2 要求理解的内容	79
3.3.3 要求了解的内容	79
3.4 部分习题分析及详解	80
3.5 习题参考答案	83
3.6 部分 Multisim 仿真题分析	85
第4章 功率放大电路	89
4.1 本章学习要点	89
4.1.1 本章内容提要	89
4.1.2 学习本章应注意的问题	90
4.2 重点、难点分析	90
4.2.1 功率放大的基本概念	90
4.2.2 OTL 互补对称电路的分析方法	92
4.2.3 OCL 互补对称电路的分析方法	98
4.2.4 复合管组成的互补对称电路	101
4.3 本章基本教学要求	106
4.3.1 要求理解的内容	106
4.3.2 要求了解的内容	106
4.4 部分习题分析及详解	106
4.5 习题参考答案	109

4.6 部分 Multisim 仿真题分析	111
第 5 章 集成运算放大电路	115
5.1 本章学习要点	115
5.1.1 本章内容提要	115
5.1.2 学习本章应注意的问题	116
5.2 重点、难点分析	117
5.2.1 集成运放的主要技术指标	117
5.2.2 集成运放的基本组成部分	118
5.2.3 集成运放的偏置电路	119
5.2.4 差分放大电路的三种电路形式	123
5.2.5 差分放大电路的分析方法	125
5.2.6 差分放大电路四种不同的输入、输出方式	129
5.3 本章基本教学要求	131
5.3.1 要求掌握的内容	131
5.3.2 要求理解的内容	131
5.3.3 要求了解的内容	131
5.4 部分习题分析及详解	131
5.5 习题参考答案	135
5.6 部分 Multisim 仿真题分析	137
第 6 章 放大电路中的反馈	143
6.1 本章学习要点	143
6.1.1 本章内容提要	143
6.1.2 学习本章应注意的问题	144
6.2 重点、难点分析	145
6.2.1 反馈概念的建立	145
6.2.2 反馈的分类和判断	145
6.2.3 负反馈的四种组态和反馈的一般表达式	151
6.2.4 利用负反馈改善放大电路的性能	154
6.2.5 负反馈放大电路的分析估算	159
6.2.6 负反馈放大电路的自激振荡	161
6.3 本章基本教学要求	166
6.3.1 要求掌握的内容	166
6.3.2 要求理解的内容	166
6.3.3 要求了解的内容	166
6.4 部分习题分析及详解	166
6.5 习题参考答案	173

6.6 部分 Multisim 仿真题分析	176
第7章 模拟信号运算电路	180
7.1 本章学习要点	180
7.1.1 本章内容提要	180
7.1.2 学习本章应注意的问题	181
7.2 重点、难点分析	182
7.2.1 理想运放和“虚短”、“虚断”的概念	182
7.2.2 比例运算电路	187
7.2.3 求和电路	192
7.2.4 积分和微分电路	197
7.2.5 对数和指数电路	202
7.2.6 乘法和除法电路	203
7.3 本章基本教学要求	205
7.3.1 要求掌握的内容	205
7.3.2 要求理解的内容	205
7.3.3 要求了解的内容	206
7.4 部分习题分析及详解	206
7.5 习题参考答案	212
7.6 部分 Multisim 仿真题分析	215
第8章 信号处理电路	219
8.1 本章学习要点	219
8.1.1 本章内容提要	219
8.1.2 学习本章应注意的问题	221
8.2 重点、难点分析	221
8.2.1 有源滤波器的作用和分类	221
8.2.2 低通和高通滤波器	223
8.2.3 带通和带阻滤波器	228
8.2.4 各种有源滤波电路的比较	232
8.2.5 过零比较器与单限比较器	234
8.2.6 滞回比较器	237
8.2.7 双限比较器	239
8.2.8 各种电压比较器的比较	240
8.3 本章基本教学要求	244
8.3.1 要求理解的内容	244
8.3.2 要求了解的内容	244
8.4 部分习题分析及详解	244

8.5 习题参考答案	249
8.6 部分 Multisim 仿真题分析	252
第9章 波形发生电路	257
9.1 本章学习要点	257
9.1.1 本章内容提要	257
9.1.2 学习本章应注意的问题	259
9.2 重点、难点分析	259
9.2.1 产生正弦波振荡的条件	259
9.2.2 文氏电桥式振荡电路	261
9.2.3 LC 振荡电路	267
9.2.4 石英晶体振荡器	274
9.2.5 非正弦波发生电路	276
9.3 本章基本教学要求	281
9.3.1 要求掌握的内容	281
9.3.2 要求理解的内容	282
9.3.3 要求了解的内容	282
9.4 部分习题分析及详解	282
9.5 习题参考答案	287
9.6 部分 Multisim 仿真题分析	291
第10章 直流电源	295
10.1 本章学习要点	295
10.1.1 本章内容提要	295
10.1.2 学习本章应注意的问题	297
10.2 重点、难点分析	297
10.2.1 直流电源的组成	297
10.2.2 单相整流电路	298
10.2.3 倍压整流电路	302
10.2.4 滤波电路	303
10.2.5 硅稳压管稳压电路	310
10.2.6 串联型直流稳压电路	316
10.2.7 三端集成稳压器的特点和使用方法	323
10.2.8 开关型稳压电路的特点	325
10.2.9 可控整流电路	326
10.3 本章基本教学要求	329
10.3.1 要求掌握的内容	329
10.3.2 要求理解的内容	329

10.3.3 要求了解的内容	329
10.4 部分习题分析及详解	329
10.5 习题参考答案	335
10.6 部分 Multisim 仿真题分析	340
附录 A 试题举例	345
A.1 试题举例 1	345
A.2 试题举例 2	349
附录 B 试题举例参考答案	354
B.1 试题举例 1 参考答案	354
B.2 试题举例 2 参考答案	356

绪 论

模拟电子技术课程在高等院校理工科电类专业学生的培养过程中起着重要的作用。它不仅要为今后学习有关的后续课程打下基础,而且,模拟电子技术课程本身涉及的一些基本概念、基本原理和基本分析方法,对于培养学生分析问题和解决问题的能力也十分重要。因此,本课程通常被列为有关专业的重要技术基础课。

模拟电子技术作为一门技术基础课程,具有自己突出的特点。

首先,模拟电子技术课程既不同于一般的专业课——本课程强调基本概念、基本原理和基本分析方法,为将来在工作中应用电子技术解决实际问题打下牢固的基础;又不同于某些理论基础课——本课程的内容更为接近工程实际。因此,在学习方法上要适应这种特点。一方面,分析各种电子电路的工作原理时要紧紧抓住基本概念和基本分析方法;另一方面,在分析和计算时又常常需要从实际情况出发,抓住主要矛盾,忽略次要因素。这就使开始学习时可能不习惯,甚至认为“不严格”。实际上,由于工艺制造中的分散性,各种电子器件的实际特性曲线与手册上给出的参考特性曲线之间一般都存在差别,而电阻、电容等元件的误差通常约为 $\pm 5\% \sim \pm 20\%$ 。所以,在分析和计算电子电路时,过分追求“精确”是没有必要的。

其次,电子技术是一门发展十分迅速的学科。课程内容现在已经非常丰富,而且还在不断更新。新的器件、新的应用电路层出不穷,日新月异。因此,在教学计划规定的短短几十学时内,要求面面俱到、包罗万象是不可能的。实际上,今天的学习是为今后的工作和进一步的学习打下基础。所以,在本课程的学习中,一方面要抓住基本,另一方面要注意能力的培养,包括学习新知识、新技术的能力。

最后,电子技术是一门实践性很强的课程。由这一特点决定,实践环节和动手能力的培养在课程中占有重要的地位。为了加强实践环节,本课程除了讲课以外,通常还应有一定学时数的实验课。通过实验,不仅巩固和深化书本上学到的知识,而且倡导理论联系实际的精神,提高电子技术方面的动手能力,培养严谨踏实的科学作风。

模拟电子技术课程的主要先修课有“物理·电学”和“电路分析”,特别是后者。在分析模拟电子电路时,经常需要运用“电路分析”中有关的基础知识,例

如,电压源、电流源和受控源的概念,基尔霍夫定律,叠加定理,戴维宁定理和诺顿定理,RC 电路时间常数的概念等。

根据以上特点,学习模拟电子技术时应该注意几个问题。

第一,注意正确理解和掌握模拟电路的基本概念和重要术语,例如,PN 结,单向导电性,稳压作用,放大作用,截止、放大和饱和,直流通路和交流通路,静态和动态,正向偏置和反向偏置,工作点,负载线,非线性失真,放大倍数,输入电阻和输出电阻,零点漂移,频率响应,波特图,理想运放,虚短和虚断,虚地,差模和共模,共模抑制比,反馈,开环和闭环,自激振荡,互补对称,交越失真等。

第二,注意掌握模拟电路常用的分析方法,例如,分析放大电路静态工作情况和分析波形失真时常用的图解法,分析放大电路各项动态性能(如放大倍数、输入输出电阻等)时常用的微变等效电路法,判断正负反馈的瞬时极性法,估算深负反馈条件下放大电路闭环放大倍数的近似估算法,分析运放应用电路的“虚短”和“虚断”法,利用相位平衡条件和幅度平衡条件判断电路能否产生正弦波振荡的方法等。

第三,注意通过模拟电子技术课程的学习,培养分析问题和解决问题的能力,例如,初步的电子电路读图能力(能阅读较简单的典型电子设备的原理图,了解各主要组成部分的作用和原理),根据要求选择基本单元电路和选用元器件的初步能力,估算基本电路主要性能指标的初步能力等。

第 1 章 半导体器件

1.1 本章学习要点

各种半导体器件,包括半导体二极管、稳压二极管、双极型三极管和场效应三极管等是构成各种模拟电子电路(包括分立元件电路和集成电路)的基本元件。因此,本章属于模拟电子电路的基础性内容。

1.1.1 本章内容提要

1. 半导体的基本知识

半导体器件由各种半导体材料制成,例如硅、锗等。

纯净的半导体称为本征半导体。半导体中有两种载流子:带负电的自由电子和带正电的空穴。总的来说,常温下本征半导体中载流子的浓度很低,导电能力很差。本征半导体没有什么实用价值。

在本征半导体中掺入某种特定的杂质,就成为杂质半导体,其导电情况将发生根本变化。根据掺入杂质的不同,杂质半导体分为两种:N型半导体(多数载流子是电子)和P型半导体(多数载流子是空穴)。

P型半导体和N型半导体结合在一起,就形成一个PN结,PN结在正向接法和反向接法时电路中的导电状况不同,说明PN结具有单向导电性。PN结是构成各种半导体器件的基础。

2. 半导体二极管

半导体二极管由一个PN结,加上外壳和电极引线而构成。它的主要特点就是具有单向导电性,利用这一特点,可以组成整流电路,将交流电转换为直流电。

3. 稳压二极管(简称稳压管)

稳压管实质上也是一种二极管,但是一种特殊的二极管。与一般的二极管不同,稳压管通常工作在反向击穿区。在二极管特性曲线的反向击穿部分,当流过二极管的电流在一个相当大的范围内变化时,管子两端的电压变化很小。利用这一特性,可以实现稳压作用。

稳压管虽然工作在反向击穿区,但只要注意稳压管中的电流,使其不超过规

定值,则不会对管子造成损坏。

4. 双极型三极管

双极型三极管(BJT)和场效应三极管(FET)是模拟电子电路中主要的放大器件。

从双极型三极管的结构来看,有NPN和PNP两种类型。这两种类型的三极管内部都包含两个PN结:发射结和集电结,而且引出三个电极:发射极、基极和集电极。

双极型三极管的特点是具有**电流放大作用**。当三极管工作在放大区时,如果基极电流有一个微小的变化量 Δi_B ,集电极电流将随之产生一个较大的变化量 Δi_C ,通常 Δi_C 比 Δi_B 大得多。表征双极型三极管电流放大作用的主要参数有:**共射电流放大系数 β** 和**共基电流放大系数 α** 等。

双极型三极管的输入、输出特性曲线能够较全面地描述三极管各极电流与电压之间的关系。在三极管的共射输出特性上,可以划分为三个区:截止区、放大区和饱和区。在截止区和饱和区,三极管不能实现放大作用。在各种放大电路中,必须使三极管工作在放大区,才能对信号进行线性放大,避免产生明显的非线性失真。

5. 场效应三极管(简称场效应管)

与双极型三极管不同,场效应管只有一种极性的载流子参与导电,所以又称为单极型三极管。场效应管总的可分为两大类:结型和绝缘栅型,后一种又可简称为MOS场效应管。

场效应管利用栅极与源极之间电压的电场效应来控制漏极电流的变化,所以认为是一种**电压控制元件**。描述场效应管放大作用的主要参数有**跨导 g_m** 。

描述场效应管各极电流和电压之间关系的特性曲线有,输出特性曲线——当栅-源之间电压不变时,漏极电流与漏-源之间电压的关系曲线,以及转移特性曲线——当漏-源之间电压不变时,漏极电流与栅-源之间电压的关系曲线。

与双极型三极管相比,场效应管的另一个重要特点是输入电阻高,另外,在制造工艺方面,比较容易实现大规模集成,因此发展十分迅速。

1.1.2 学习本章应注意的问题

(1) 学习半导体器件的目的在于应用,因此,本章学习的重点是各种器件的**外特性**。至于器件的内部,只需了解其最基本的原理,以便理解有关器件的工作原理和特点,从而更好地掌握这些器件的外特性。对于半导体内部的深入的工作机理,不宜花费过多的精力。

(2) 从应用的角度出发,要求很好地理解和掌握有关器件的**伏安特性和主**