

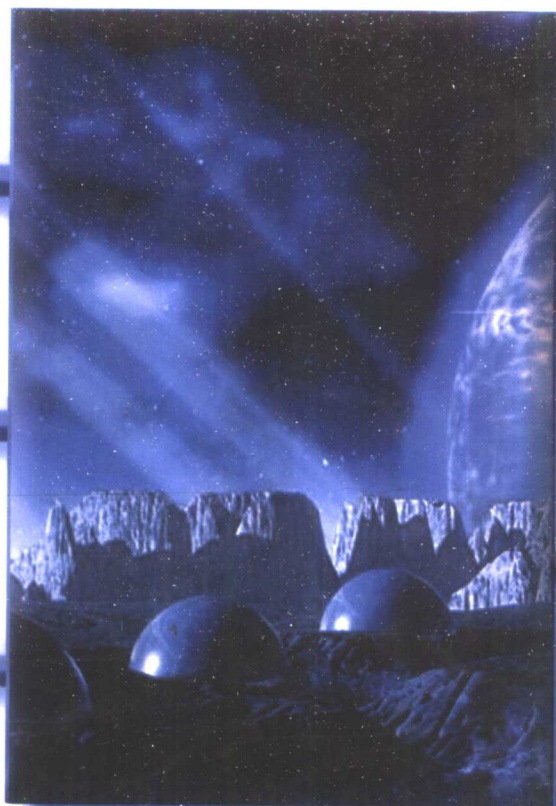
经典教材辅导用书



模拟电子技术基础

学习与解题指南

陈大钦 彭容修



华中科技大学出版社

经典教材辅导用书

模拟电子技术基础

学习与解题指南

陈大钦 彭容修

华中科技大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习与解题指南/陈大钦 彭容修
武汉:华中科技大学出版社, 2001年9月
ISBN 7-5609-2380-1

I. 模…

II. ①陈… ②彭…

III. 模拟电路-高等学校-教学参考资料

IV. TN710

模拟电子技术基础学习与解题指南

陈大钦 彭容修

责任编辑:黄以铭
责任校对:封春荣

封面设计:潘群
责任监印:熊庆玉

出版发行:华中科技大学出版社

武昌喻家山 邮编:430074 电话:(027)87545012

经 销:新华书店湖北发行所

录 排:华中科技大学惠友科技文印中心

印 刷:湖北省通山县印刷厂

开本:850×1168 1/32 印张:15.125

字数:350 000

版次:2001年9月第1版 印次:2001年9月第1次印刷

印数:1—5 000

ISBN 7-5609-2380-1/TN·62

定价:19.50元

(本书若有印装质量问题,请向出版社发行部调换)

内 容 提 要

本书是为配合高等学校(本、专科)“模拟电子技术基础”课程有关教材而编写的教学和自学参考书。编者根据多年教学实践的经验,对教学内容进行归纳、总结,通过本书每章中的“知识要点”对读者的学习进行指导。为便于读者掌握课程的基本要求、重点和难点,书中精选了大量的例题与自我检测题。书末附有典型的模拟电子技术基础试卷及自测题和试卷解答。

该书内容丰富,思路清晰,适用于普通高等学校本、专科学学生复习和备考,也适用于高等职业技术教育和成人高等院校的学生自学、复习和备考,并可供从事电子技术的教学人员参考。

前 言

“模拟电子技术基础”是高等院校电气信息类（包括原自动化类、电气类、电子类）专业重要的专业基础课。本书是为配合该课程有关教材的学习，并参照国家教委颁布的《高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求》而编写的教学参考书。

编者根据多年积累的教学经验，结合课程内容的重点和学生学习中感到困难的问题综合编写，旨在帮助学习《模拟电子技术基础》课程的学生掌握课程的基本概念、基本电路和基本分析方法；领会解题的思路，提高分析问题和解决问题的能力。

全书内容与教学要求紧密配合，每章内容均包含知识要点、例题精选和学习自评三部分。知识要点部分在简明突出每章的主要内容和教学基本要求的基础上，对教学中的重点和难点内容进行了综述与总结，使读者对核心内容有更为清晰的认识与理解，并进一步搞清楚各教学知识点的关联。精心编排的例题可供读者在巩固基本概念、基本分析方法的同时，学会解决问题的本领。为帮助读者检查每章的学习效果，在学习自评中安排了自测题并附有解答。书中还附有本科、专科《模拟电子技术基础》考试试卷及解答，可供读者复习备考。

本书第1、2、3、9章由彭容修执笔，第4、5、6、7、8章由陈大钦编写。

由于水平有限、时间仓促，书中错误与疏漏之处恳请读者批评指正。

编者

2001年8月于华中科技大学

目 录

1 半导体二极管及其基本电路	(1)
1.1 重点与难点	(1)
1.1.1 半导体基础知识	(1)
1.1.2 PN 结的形成及其单向导电性	(3)
1.1.3 半导体二极管	(3)
1.1.4 二极管电路的分析方法	(5)
1.1.5 稳压管	(7)
1.2 例题精选	(8)
1.3 学习自评	(16)
1.3.1 自测练习	(16)
1.3.2 自测练习解答	(21)
2 半导体三极管及放大电路基础	(24)
2.1 重点与难点	(24)
2.1.1 半导体三极管的电流分配与放大作用	(24)
2.1.2 共射极基本放大电路的组成及特点	(26)
2.1.3 放大电路静态工作点及其分析方法	(27)
2.1.4 放大电路的主要性能指标	(28)
2.1.5 小信号模型分析法	(31)
2.1.6 放大电路的三种组态及特点	(33)
2.2 例题精选	(35)
2.3 学习自评	(76)
2.3.1 自测练习	(76)
2.3.2 自测练习解答	(88)

3	场效应管放大电路	(90)
3.1	重点与难点	(90)
3.1.1	JFET 的工作原理	(91)
3.1.2	MOSFET 的工作原理	(92)
3.1.3	FET 的外特性及各极间所加电压极性	(94)
3.1.4	FET 的主要参数	(96)
3.1.5	FET 放大电路	(96)
3.2	例题精选	(97)
3.3	学习自评	(111)
3.3.1	自测练习	(111)
3.3.2	自测练习解答	(116)
4	多级放大及放大器的频率响应	(118)
4.1	重点与难点	(118)
4.1.1	多级放大电路的耦合方式	(118)
4.1.2	多级放大电路静态工作点分析	(120)
4.1.3	多级放大电路的电压增益	(120)
4.1.4	放大电路频率响应的基本概念	(122)
4.1.5	单级放大电路的频率响应	(125)
4.1.6	多级放大电路的频率响应	(128)
4.2	例题精选	(129)
4.3	学习自评	(166)
4.3.1	自测练习	(166)
4.3.2	自测练习解答	(174)
5	功率放大电路	(177)
5.1	重点与难点	(177)
5.1.1	功率放大电路的特点及主要研究对象	(177)
5.1.2	提高功率放大电路效率的主要途径	(178)

5.1.3	乙类双电源 (OCL) 互补对称功率放大电路	(178)
5.1.4	甲乙类双电源(OCL)互补对称功率放大电路.....	(182)
5.1.5	单电源 (OTL) 互补对称功率放大电路	(183)
5.1.6	变压器耦合推挽功率放大电路	(184)
5.2	例题精选.....	(186)
5.3	学习自评.....	(199)
5.3.1	自测练习.....	(199)
5.3.2	自测练习解答	(206)
6	集成运算放大器.....	(209)
6.1	重点与难点.....	(209)
6.1.1	模拟集成电路特点	(209)
6.1.2	电流源电路	(210)
6.1.3	差分放大电路	(212)
6.1.4	通用型集成运算放大器	(215)
6.1.5	集成运算放大器的主要参数	(218)
6.2	例题精选.....	(219)
6.3	学习自评.....	(235)
6.3.1	自测练习.....	(235)
6.3.2	自测练习解答	(242)
7	负反馈放大器	(246)
7.1	重点与难点.....	(246)
7.1.1	反馈的基本概念和反馈组态的判别方法	(246)
7.1.2	负反馈对放大电路性能的影响	(254)
7.1.3	深度负反馈条件下的近似计算	(256)
*7.1.4	负反馈放大电路的方框图分析法.....	(256)
7.1.5	负反馈放大电路的自激问题	(259)
7.2	例题精选.....	(261)

7.3	学习自评.....	(291)
7.3.1	自测练习.....	(291)
7.3.2	自测练习解答.....	(302)
8	信号的运算与处理电路.....	(306)
8.1	重点与难点.....	(306)
8.1.1	理想运算放大器及“虚短”、“虚断”概念.....	(306)
8.1.2	基本运算电路.....	(307)
8.1.3	对数、指数和乘除运算电路.....	(309)
8.1.4	有源滤波器电路.....	(313)
8.1.5	开关电容滤波器.....	(315)
8.1.6	电压比较器电路.....	(316)
8.2	例题精选.....	(317)
8.3	学习自评.....	(356)
8.3.1	自测练习.....	(356)
8.3.2	自测练习解答.....	(370)
9	信号产生电路.....	(374)
9.1	重点与难点.....	(374)
9.1.1	正弦波振荡电路.....	(374)
9.1.2	非正弦波产生电路.....	(378)
9.2	例题精选.....	(379)
9.3	学习自评.....	(406)
9.3.1	自测练习.....	(406)
9.3.2	自测练习解答.....	(412)
10	直流稳压电源.....	(414)
10.1	重点与难点.....	(414)
10.1.1	小功率整流滤波电路.....	(414)

10.1.2	稳压管稳压电路.....	(418)
10.1.3	串联及锁式稳压电路.....	(418)
10.1.4	三端集成稳压器.....	(421)
10.1.5	串联开关式稳压电路.....	(423)
10.2	例题精选.....	(424)
10.3	学习自评.....	(442)
10.3.1	自测练习.....	(442)
10.3.2	自测练习解答.....	(449)
附录 A	模拟电子技术基础试卷（示例）.....	(451)
附录 B	附录 A 试卷解答.....	(465)
参考文献		(470)

半导体二极管及其基本电路

知识要点

- 杂质半导体的导电机理
- PN 结的形成及其单向导电性
- 半导体二极管的伏安特性

1.1 重点与难点

半导体物理知识是理解半导体器件的核心环节 PN 结的基础。各种半导体器件均以 PN 结为基本结构单元构成。半导体二极管是 PN 结外加引线和封装管壳后形成的，故具 PN 结的伏安特性。二极管可组成整流、限幅、检波及低压稳压电路，在实际电路中应用很广。

1.1.1 半导体基础知识

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。它的导电能力随温度、光照或掺杂不同而发生显著变化。

1. 本征半导体的导电机理

- 在绝对零度（0K）时，本征半导体中没有载流子，它是良好的绝缘体。

- 在热激发条件下，少数价电子获得足够激发能，进入导带，产生电子空穴对。

- 导带中的自由电子，其电荷极性为负；价带中的价电子离开价带后留下空穴，空穴的电荷极性为正。半导体中有电子、空穴两种载流子。

2. 杂质半导体的导电机理

(1) 两种杂质半导体

- N 型半导体：本征硅或锗掺入五价杂质元素形成 N 型半导体，N 型半导体中的多子是电子，少子为空穴。自由电子数（取决于掺杂和热激发）=空穴数（取决于热激发和正离子数），故对外呈电中性。

- P 型半导体：本征硅或锗掺入三价杂质元素形成 P 型半导体，其多子是空穴，少子是电子。空穴数（取决于掺杂和热激发）=自由电子数（取决于热激发和负离子数）。对外呈电中性。

(2) 两种浓度不等的载流子

- 多子：由掺杂形成。
- 少子：由热激发形成。

微量掺杂就可以形成大量的多子，所以，杂质半导体的导电率高。

3. 半导体中的两种电流

- 漂移电流：在电场作用下，自由电子（空穴）逆（顺）电场方向的定向运动而形成的电流。

- 扩散电流：由于同一种载流子的浓度差而产生的载流子从浓度高处向浓度低处扩散运动形成的电流。

4. 半导体导电性能与温度的关系

当温度升高时本征激发所产生的载流子浓度基本上按指数规律增大，温度是影响半导体性能的一个重要因素。

1.1.2 PN 结的形成及其单向导电性

1. PN 结的形成过程

在同一块半导体中，一边掺杂成 N 型，另一边掺杂成 P 型，在 N 型、P 型半导体的交界面上形成 PN 结。

PN 结的形成过程是：P 区和 N 区载流子浓度差 → 引起多子向对方扩散 → 产生空间电荷区和内电场 → 阻止扩散，促进少子漂移 → 当扩散与漂移达到动态平衡时，交界面上形成稳定的空间电荷区（或耗尽层、势垒区），即 PN 结。

2. PN 结的单向导电性

外加正向电压（P 区接正极、N 区接负极）→ 空间电荷区变窄，内电场减弱 → 扩散大于漂移 → 扩散电流形成大的正向电流（多子扩散）。外加正向电压对正向电流有很大影响。

外加反向电压（P 区接负、N 区接正）→ 空间电荷区变宽，内电场增强 → 漂移大于扩散 → 少子漂移形成很小的反向电流，且电流大小受温度影响。

1.1.3 半导体二极管

1. 半导体二极管的伏安特性

半导体二极管的伏安特性（外特性）如图 1.1.1 所示，它直观形象地表示了二极管的单向导电性。

(1) 伏安特性的表达式

$$i_D = I_S (e^{u_D/V_T} - 1)$$

当 $u_D > 0$ ，且 $u_D > V_T$ 时，

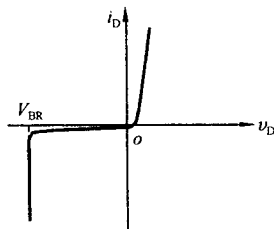


图 1.1.1

$i_D \approx I_S e^{v_D/V_T}$; 当 $v_D < 0$, 且 $|v_D| \gg V_T$ 时, $i_D \approx -I_S \approx 0$ 。在常温下, $V_T \approx 26\text{mV}$, 由此可看出二极管的单向导电性。

(2) 正向伏安特性

在 $v_D < V_{th}$ (V_{th} 为阈值电压, 硅管是 0.5V , 锗管是 0.2V) 时, $i_D \approx 0$ 。正向部分的开始段电流增加得比较慢。在 i_D 电流较大时, 二极管两端的电压 $v_D \approx \text{常数}$, 所以, 导通二极管具有稳压特性。

(3) 反向伏安特性

在 $|v_D|$ 小于击穿电压 (V_{BR}) 时, $i_D \approx -I_S$, I_S 很小且随温度变化很大。当反向电压的绝对值达到 $|V_{BR}|$ 后, 反向电流会突然增大, 二极管“反向击穿”。击穿后, 在反向电流很大的变化范围内, 二极管两端电压几乎不变。

(4) 伏安特性的非线性

二极管的伏安特性是非线性的, 它不仅正、反向的导电性能有很大差别, 而且在不同的电压下, 管子的静态和动态电阻也是不同的。二极管是非线性元件。

2. 二极管的电容效应

(1) 势垒电容 C_B

势垒电容 C_B 是用来描述二极管势垒区的空间电荷随电压变化而产生的电容效应的。PN 结的空间电荷随外加电压的变化而变化, 当外加正向电压升高时, N 区的电子和 P 区空穴进入耗尽区, 相当于电子和空穴分别向 C_B “充电”。当外加电压降低时, 又有电子和空穴离开耗尽区, 好像电子和空穴从 C_B 放电。 C_B 是非线性电容, 电路上 C_B 与结电阻并联, 在 PN 结反偏时其作用不能忽视, 特别是在高频时, 对电路的影响更大。

(2) 扩散电容 C_D

二极管正向导电时, 多子扩散到对方区域后, 在 PN 结边

界上积累,并有一定的浓度分布。积累的电荷量随外加电压的变化而变化,引起电容效应而形成扩散电容。 C_D 也是非线性电容。PN结正偏时, C_D 较大,反偏时 C_D 较小,可以忽略。

3. 二极管的主要参数

二极管的主要参数是对二极管特性和极限运用条件的定量描述,也是设计电路时选择器件的依据。二极管参数分为极限参数、直流参数、交流参数等,主要有:

- 最大整流电流 I_F ——长期运行时允许流过的最大正向平均电流。

- 最大反向工作电压 U_R ——允许承受的最大反向电压,通常为击穿电压 U_{BR} 的一半。

- 反向电流 I_R ——在室温和最大反向电压(或其他测试条件)下的反向电流。它的值愈小,二极管的单向导电性愈好。环境温度对此参数的影响很大。

- 最高工作频率 f_M ——主要取决于结电容的大小。使用时,如果信号频率超过 f_M ,二极管的单向导电性变坏,甚至不复存在。

4. 二极管的选择

一般原则是:如果要求管子正向导通后的压降 U_{on} 小(硅管:0.6~0.8V;锗管:0.3V),工作时平均电流小,而信号频率较高,则应选用点接触型锗管。如果要求工作时的平均电流大,反向电流小(硅管是纳安级,锗管是微安级),反向电压高,并且热稳定性较好时,以选有面接触型硅管为宜。最后,根据技术要求,估算二极管应有的参数,并考虑留有适当的裕量,查阅器件手册确定二极管的型号。

1.1.4 二极管电路的分析方法

因为二极管是一种非线性器件,所以,二极管电路一般要

采用非线性电路的分析方法。

(1) 图解分析法

其步骤为：

① 把电路分为两部分，一部分是二极管的非线性部分，另一部分是包含电源、电阻等线性元件的线性部分。

② 分别画出非线性部分（二极管）的伏安特性和线性部分的特性（直线）。

③ 由两条特性的交点求得电路的电压和电流。

(2) 模型分析法

根据二极管在电路中的实际工作状态，在分析精度允许的条件下，用一个线性电路模型代替实际的二极管。

① 理想模型：理想二极管的 $V-I$ 特性如图 1.1.2 所示。在正向偏置时，二极管导通，其管压降 $V_D=0V$ ，而当二极管反偏时，认为它的电阻无穷大， $I_D=0$ 。

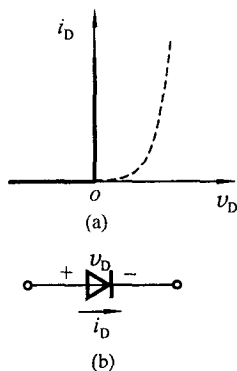
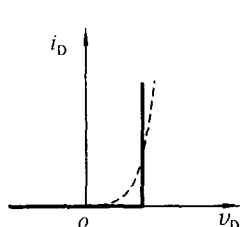


图 1.1.2

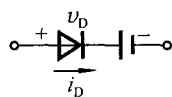
② 恒压源模型：此模型如图 1.1.3 所示。在二极管工作电流较大时，认为 V_D 为常数，不随 I_D 变化，典型值为 $0.7V$ 。

③ 小信号模型：如果在电路中除直流电源外，还有微变信号（小信号），则对后者，在静态工作点附近工作，则可将 $V-I$ 特性看成一条直线，如图 1.1.4 所示。二极管可用动态电阻 r_d 表示， $r_d \approx 26mV/I_{DQ}$ 。

以上简单的模型，便于近似估算，较复杂的模型可借助计算机用 PSPICE 程序分析。

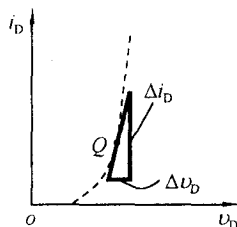


(a)

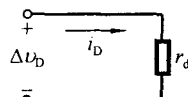


(b)

图 1.1.3



(a)



(b)

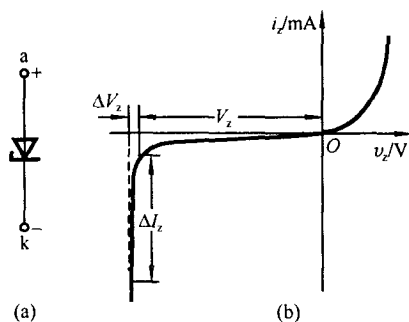
图 1.1.4

1.1.5 稳压管

1. 工作原理和外特性

稳压管是一种特殊的二极管。它利用 PN 结反向击穿后所具有的稳压特性，在电路中起稳压作用。稳压管工作时处于反向击穿状态。

稳压管的伏安特性如图 1.1.5 所示。由图可见，在 $I_z = I_{z\min} \sim$



(a)

(b)

图 1.1.5