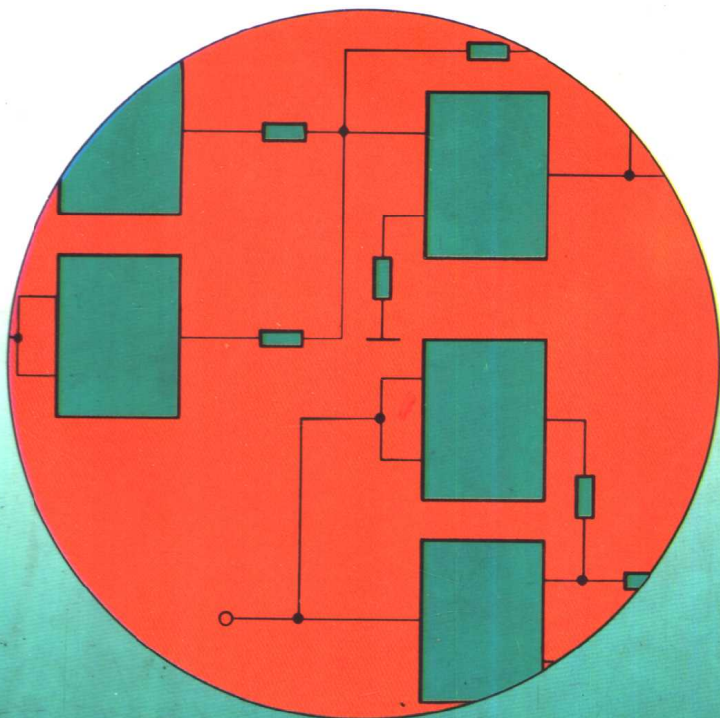


模拟电子技术基础 学习指导书

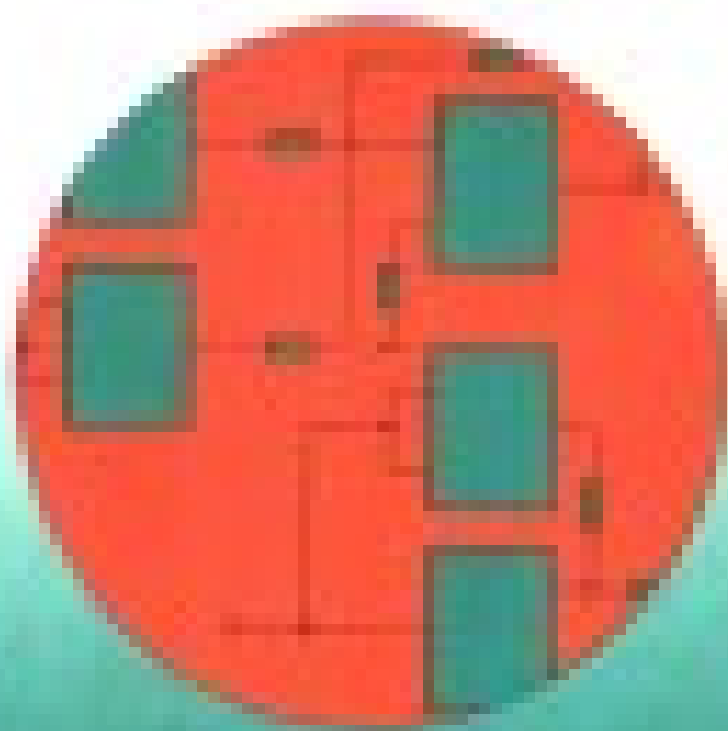
王远 编



高等教育出版社

模拟电子技术基础 学习指导书

王 明 编



清华大学出版社

模拟电子技术基础 学习指导书

王 远 编

高等教育出版社

(京)112 号

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础学习指导书/王元编. 北京:高等教育出版社,1997

ISBN 7-04-006129-5

I. 模… II. 王… III. 模拟-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 25397 号

*

高等教育出版社出版

北京沙滩后街 55 号

邮政编码:100009 传真:64014048 电话:64054588

新华书店总店北京发行所发行

国防工业出版社印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 字数 360 000

1997 年 8 月第 1 版 1997 年 8 月第 1 次印刷

印数 0 001—5 124

定价 13.40 元

凡购买高等教育出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题者,请与当地图书销售部门联系调换

版权所有,不得翻印

本书根据修订后的《高等学校工科电子技术基础课程教学基本要求》规定的内容,分为几个部分,每部分包含教学基本要求、内容提要、学习方法指导、解题方法指导、疑难问题辅导五个方面。在学习方法指导中,有该部分学习方法综论、学习重点、难点和问题讨论。本书中的例题绝大部分选自《高等学校电子技术基础试题汇编》。本书与张建华编写的《数字电子技术基础学习指导书》配套使用,可供电子技术基础课初学及自学者作入门辅导书,对于从事本课程教学工作的教师,本书也是一本较实用的参考书。

前 言

一、编写目的

电子技术基础是电气类、电子类、自动化类专业大学本科生在电子技术方面的入门性技术基础课。这门课程,特别是其中的模拟部分,内容庞杂,新观点、新概念、新方法多,难点集中在前。加上课堂讲授学时较少,教与学都有困难,学生感到“入门难”。另外,有关专业的学生从学习偏重理论的课程转向学习理论实际并重的课程时,本课程又首当其冲,需要学生建立一些新观点(如工程观点)和掌握一些处理实际问题的新方法(如合理的近似分析计算)。因此,为本课程编写适用的学习指导书是很有必要的,目的在于:(1) 对学习有困难者解决“入门难”问题;(2) 排除课程内容中的难点;(3) 解决学习中提出的有疑惑的问题;(4) 指导分析问题和解决问题的正确思路和方法。

二、编写根据

本书根据 1995 年国家教委批准颁布的修订后的《高等学校工科电子技术基础课程教学基本要求》,总结编者本人和本校教师的教学实践,并学习其它院校的教学经验和教学资料(特别是童诗白、胡东成教授在中央电大授课时编写的资料)编写而成。

三、编写内容

为了扩大使用面,本书的编写并不针对某一种或几种已出版的教材,而是把教学基本要求所规定的内容划分为九个部分,每一部分又包含了:(1) 本部分的教学基本要求;(2) 内容提要;(3) 学习方法指导;(4) 解题方法指导;(5) 疑难问题辅导。在学习方法指导中,有本部分学习方法综论、学习重点、难点和问题讨论。解题方法指导中的例题绝大部分选自本课程教学指导小组童诗白、

何金茂主编的《高等学校电子技术基础试题汇编模拟部分》，经编者加工，突出了选题目的、解题思路、解题关键和下手方法。编者认为，在学习本课程时，完成习题是一种重要的教学环节。许多初学者反映本门课程入门难，解题更难。因此，有必要在这方面加以指导。在疑难问题辅导中，针对课程中的重要概念，本书收集了多年来在教学实践中学生提出的问题和理解上容易似是而非的地方，加以整理、归纳，给予引导和解答。这里，也包括了一些深入而难解的问题，以扩大学习者的知识范围。

四、读者对象

(1) 学习电子技术基础或相近课程的高等院校本科生(包括大专生);(2) 讲授或辅导上述课程的年轻教师;(3) 从事电子技术的科技和工程人员以及对电子技术感兴趣的自学者。

五、关于文字和图形符号

本书的文字和图形符号基本上采用新制订的国家标准，同时参考了有关出版社的一些规定和国内已出版的、使用面较广的一些教材。在某些方面则作了进一步的明确和统一，如电压和电流的文字符号一般都用小写英文字母和大写下标(如 i_B)，在静态分析和直流通路中则用大写英文字母和大写下标(如 I_{BQ})，而在微变等效电路中则用小写英文字母和小写下标(如 i_b)。

本书初稿的一部分曾经清华大学童诗白教授初审，使本书在体例和内容上得以进一步充实和完善。本书全稿则经清华大学童诗白和北京科技大学杨世成两位教授审阅，他们逐字逐句认真地审阅了全部书稿，提出了意见，指出了本书在内容和文字上的缺点和不足。杨世成教授还把书稿交给刚学完本门课程和准备报考研究生的学生阅读，使本书在出版前就得到了读者的初步鉴定，也增强了编者写好本书的决心和信心。对两位教授的指导和辛勤劳动，编者谨致衷心的感谢和崇高的敬意。本书作最后的补充修改时，曾借阅了北京理工大学自动控制系肖力老师积累的教学资料(答疑条)，在此一并致谢。

编者学术水平和教学经验有限,本书的错误和缺点在所难免,
敬请有关专家和读者指正。

编 者

1996.12

责任编辑	章浩平
封面设计	刘晓翔
责任绘图	黄建英
版式设计	杨凤玲
责任校对	汪惠琴
责任印制	王彦鸿

目 录

1. 半导体器件

教学基本要求	1
1.1 普通二极管和稳压管	1
1.2 双极型三极管	11
1.3 单极型三极管	21
1.4 疑难问题辅导	35

2. 基本放大电路

教学基本要求	44
2.1 双极型三极管基本放大电路	44 ✓
2.2 单极型三极管基本放大电路	78
2.3 疑难问题辅导	89

3. 多级放大电路和集成电路运算放大器

教学基本要求	101
3.1 多级放大电路	101
3.2 差动放大电路	115
3.3 集成电路运算放大器	129
3.4 疑难问题辅导	142

4. 功率放大电路

教学基本要求	151
4.1 功率放大电路的特殊问题	151
4.2 互补对称功率放大电路	163
4.3 集成功率放大电路	182

4.4 疑难问题辅导	189
------------------	-----

5. 放大电路的频率响应

教学基本要求	194
5.1 频率响应的基本概念和波特图的画法	194
5.2 单级放大电路的频率响应	204
5.3 多级放大电路的频率响应	219
5.4 疑难问题辅导	224

6. 放大电路中的反馈

教学基本要求	231
6.1 反馈类型和极性的判断	231
6.2 反馈放大电路的方框图表示法和分析法	242
6.3 反馈对放大电路的影响	250
6.4 负反馈放大电路的分析计算	259
6.5 负反馈的正确引入	268
6.6 反馈放大电路的自激	272
6.7 疑难问题辅导	282

7. 集成运放的线性应用

教学基本要求	289
7.1 集成运放组成的基本运算电路	289
7.2 有源滤波电路	313
7.3 疑难问题辅导	329

8. 波形发生电路和集成运放的非线性应用

教学基本要求	339
8.1 正弦波发生电路的自激条件和一般问题	339
8.2 RC 正弦波发生电路	345
8.3 LC 正弦波发生电路	356
8.4 比较电路和非正弦波发生电路	369
8.5 疑难问题辅导	385

9. 直流电源

教学基本要求	393
9.1 单相整流和滤波电路	393
9.2 稳压电路	406
9.3 疑难问题辅导	423
附录一 参考文献	429
附录二 电子技术基础课程教学基本要求	430

10.4
10.7

1 半导体器件

教学基本要求

熟练掌握:(1) 普通二极管、稳压管的外特性、主要参数。(2) 双极型、单极型三极管的外特性、主要参数。

正确理解:(1) 普通二极管、稳压管的 PN 结。(2) 双极型、单极型三极管的工作原理。

1.1 普通二极管和稳压管

1.1.1 内容提要

一、关于半导体的基础知识

1. 半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物质。半导体具有光敏性、热敏性、掺杂后导电能力明显改善的特性。

2. 本征半导体的导电机理

- (1) 在 0K 时,本征半导体中没有载流子,它是良好的绝缘体。
- (2) 热激发→共价键中价电子进入导带→自由电子+空穴。
- (3) 两种载流子:导带中的自由电子,电荷极性为负;价带中价电子离开后留下的空穴,电荷极性为正。

(4) 热激发条件下,只有少数价电子获得足够的激发能,进入导带,形成电子空穴对。所以,本征半导体的导电率低,而且 $n_i = p_i$ 。

3. 杂质半导体的导电机理

(1) 两种杂质半导体:N 型——半征硅或锗掺微量五价杂质元素;P 型——本征硅或锗掺微量三价杂质元素。

(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。N 型半导体中,多子为自由电子,少子为空穴;P

多子自由电子

型半导体中,多子为空穴,少子为自由电子。

(3) 微量掺杂就可形成大量的多子。所以,杂质半导体的导电率高。

(4) 杂质半导体呈电中性。在N型半导体中,自由电子数(掺杂+热激发)=空穴数(热激发)+正离子数;在P型半导体中,空穴数(掺杂+热激发)=自由电子数(热激发)+负离子数。

4. 半导体中的两种电流

(1) 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。

(2) 扩散电流——由于同一种载流子有浓度差而产生,载流子由浓度高处向浓度低处扩散。

5. PN 结

(1) 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,在两边的交界面上会形成PN结。

P区和N区载流子浓度差→多子向另一边扩散→产生空间电荷和内电场→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) 单向导电性

这是PN结最重要的特性。

外加正压(P区接正极,N区接负极)→空间电荷区变窄,内电场变弱→扩散大于漂移→正向电流大(因为是由多子扩散形成),外加正压对正向电流有很大的影响。

外加负压(N区接正极,P区接负极)→空间电荷区变宽,内电场增强→漂移大于扩散→反向电流小(因为是由少子漂移形成)。

反向电流的特点:①数值小。②在一定温度下,因热激发产生的少子数量一定。所以,反向电压达到一定数值后,反向电流不变(反向饱和电流)。③反向电流随温度的变化大。

二、二极管

1. 由 PN 结加上引线和管壳组成,有点接触型和面接触型两种。

2. 特点——单向导电性
(就是 PN 结的特点)。

3. 二极管的外特性(伏安特性)如图 1-1,它直观形象地表示了二极管的单向导电性。

(1) 伏安特性也可用二极管方程式来表示

$$I = I_s(e^{U/U_T} - 1)$$

当 $U > 0$, 且 $U \gg U_T$ 时, $I \approx I_s e^{U/U_T}$; 当 $U < 0$, 且 $|U| \gg$

U_T 时, $I \approx -I_s \approx 0$ 。在常温下, $U_T \approx 26\text{mV}$ 。由此也看出了二极管的单向导电性。

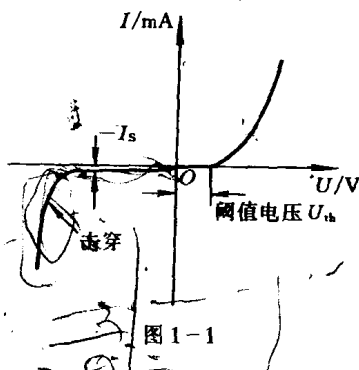
(2) 二极管的伏安特性是非线性的,正反向的导电性能有很大差别。而且在不同的工作情况下(U 和 I 不同),二极管的静态和动态电阻是不同的。二极管是非线性元件。

(3) 特性的正向部分:在 $U < U_{th}$ (阈值电压,对硅管是 0.5V ,对锗管是 0.2V) 时, $I \approx 0$ 。正向部分的开始段电流增加得比较慢。在电流 I 比较大时,二极管两端的电压 $U \approx$ 常数 (U_m),所以也有稳压性。

(4) 特性的反向部分: $|U|$ 不大时, I 的绝对值随 $|U|$ 的增大而逐渐增大。当 $|U| \gg U_T$ 时, $I \approx -I_s$, 但也很小。 I_s 随温度变化很大。当反向电压的绝对值大到一定值 $|U_{BR}|$ 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,即击穿后的反向特性有稳压性。

4. 二极管的电容效应

(1) 势垒电容 C_b ——PN 结中储存的空间电荷随外加电压而



电子学

变化的现象。 C_b 是非线性电容。

(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。积累的电荷量也随外加电压变化,引起电容效应。 C_d 也是非线性电容。

5. 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。可以分为极限参数、直流参数、交流参数等,主要的有:

(1) 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。

(2) 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。

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

(4) 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。

6. 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_m 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,以选用面接触型硅管为宜。然后,根据技术要求,估算二极管应有的参数,并考虑适当的裕量,查阅器件手册确定二极管的型号。

7. 二极管电路的分析方法

(1) 图解分析法

其步骤为:①把电路分为两部分,一部分是包含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电路的 U 和 I 。

(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理想二极管模型——正向导通时, $U_D = 0$; 反向截止时, $I_D = 0$ 。②恒压源模型——在二极管工作电流较大时,认为 $U_D = \text{常数} = U_m$ 。③微变(交流小信号)等效模型——如果在电路中除直流电源外,还有微变信号(交流小信号),则对后者,二极管可用动态(交流)电阻表示: $r_d \approx 26\text{mV}/I_{DQ}$ 。

三、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性能,在电路中起稳压作用。稳压管在工作时处于反向击穿状态。

稳压管的特性如图 1-2。

在 $I_Z = I_{Z\min} \sim I_{Z\max}$ 的区间,即使通过稳压管的电流在较大范围内变化(如图上的 ΔI_Z)时,

稳压管两端的电压 U_Z 的变化量 ΔU_Z 也很小。

由于硅材料的温度稳定性好,稳压管一般用硅材料制成,叫做硅稳压管。

2. 主要参数

(1) 稳定电压 U_Z : 电流为规定值 I_Z 时,稳压管两端的电压。

(2) 最小稳定电流 $I_{Z\min}$ (或稳定电流 I_Z)。

(3) 最大耗散功率 P_{ZM} 和最大工作电流 $I_{Z\max}$, 两者的关系为

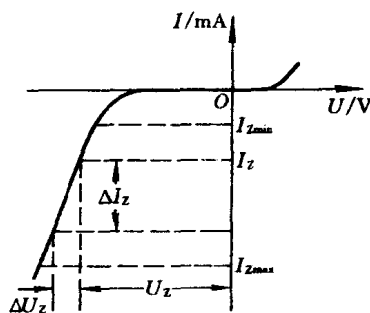


图 1-2