



普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套参考书

模拟电子技术基础

(第2版)

学习指导与解题指南

西安交通大学电子学教研组 编
杨拴科 赵进全 主 编



高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



普通高等教育“十一

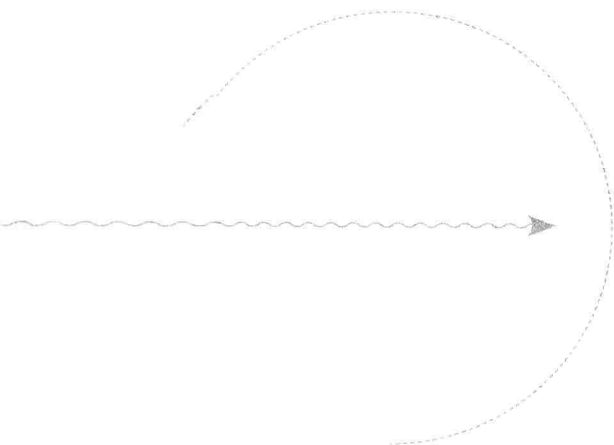
模拟电子技术基础 (第2版)

Moni Dianzi Jishu Jichu

学习指导与解题指南

Xuexi Zhidao Yu Jieti Zhinan

杨拴科 赵进全 主 编



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

内容简介

本书是作者按照“高等工业学校电子技术基础课程教学基本要求”,针对学生在学习中的问题和困难,结合多年的教学经验编写的。它是作者主编的《模拟电子技术基础(第2版)》教材的教学参考书,章次按主教材的章次安排,包括半导体二极管及其应用、晶体管及放大电路基础、场效应晶体管及其放大电路、集成运算放大器、反馈和负反馈放大电路、集成运放组成的运算电路、信号检测与处理电路、信号发生器、功率放大电路、直流稳压电源等。各章内容均包含教学要求、基本概念与分析计算的依据、基本概念自检题与典型题举例、课后习题及其解答。书中通过典型题分析扩充了主教材中的部分内容,附录为西安交通大学本科生的“模拟电子技术基础”期末考试题及研究生入学考试题。

本书可作为本、专科生学习“模拟电子技术基础”课程的辅导教材,也可作为有关专业硕士研究生报考人员的复习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础(第2版)学习指导与解题指南/
杨拴科, 赵进全主编; 西安交通大学电子教研组编.

--北京: 高等教育出版社, 2012. 9

ISBN 978-7-04-035836-0

I. ①模… II. ①杨… ②赵… ③西… III. ①模拟电
路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 155694 号

策划编辑 韩 颖
插图绘制 尹 莉

责任编辑 韩 颖
责任校对 金 辉

封面设计 于 涛
责任印制 尤 静

版式设计 马敬茹

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 三河市华润印刷有限公司
开 本 787 mm × 1092 mm 1/16
印 张 19.75
字 数 440 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.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2012 年 9 月第 1 版
印 次 2012 年 9 月第 1 次印刷
定 价 31.00 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 35836-00

前 言

模拟电子技术基础是一门介绍电子器件、电子电路和电子技术应用方面入门性质的技术基础课程。这门课程的特点是将电路理论扩展到包含有源器件(晶体管、场效应管、集成电路等)的电子电路中,概念性、工程性和实践性都很强,难点集中在前几章,初学者因不适应而感觉“入门难、解题更难”。为了改进这种情况,我们编写了与杨拴科主编的《模拟电子技术基础(第2版)》教材相配套的学习指导书,引导学生较好、较快地掌握常用的电子器件和电子电路的基本工作原理和基本分析方法。

本书的编写按《模拟电子技术基础(第2版)》教材的内容和次序,逐章编写。每章均分以下4个部分:

(1) 教学要求

这一部分按“熟练掌握”、“正确理解”和“一般了解”3个层次给出了教学内容中各个知识点的教学要求。

(2) 基本概念与分析计算的依据

这一部分提炼了教材各章节的基本概念、基本电路、基本分析方法以及分析计算的依据,目的是帮助学生梳理教学内容中的各种概念、电路和分析方法以及它们之间的联系,也是教材各章内容的总结,以期达到使此课程内容由多变少、由繁变简、由难变易的目的。

(3) 基本概念自检题与典型题举例

这一部分首先通过基本概念自检题,让学生检验自己对基本概念的掌握程度,然后通过典型例题的分析使学生加深对基本概念、基本分析方法的理解,掌握解题的基本方法和技巧,提高分析和解决一些最基本的工程实际问题的能力。

(4) 课后习题及其解答

这一部分列举了《模拟电子技术基础(第2版)》教材的课后习题,比较详细地给出了大部分习题的解题过程和答案。

参加本书编写的有杨拴科(1、4、5、8章前三部分)、赵进全(2章前三部分及3、7章全部)、邢毓华(6、9、10章前三部分)、徐正红(1、2、6、9章的第4部分)、陈文洁(4、5、8、10章的第4部分)等同志。本书由杨拴科、赵进全担任主编,负责制定编写大纲和全书的统稿工作。

在本书的编写中,编者除了总结多年教学经验外,还参考了若干现有教材和参考书,在许多方面得到启发和教益,在此不再一一指明,特致谢意。

限于时间和水平,书中错误和不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编者

2012年4月

目 录

1 半导体二极管及其应用	1
1.1 教学要求	1
1.2 基本概念与分析计算的依据	2
1.3 基本概念自检题与典型题举例	6
1.4 课后习题及其解答	10
2 晶体管及放大电路基础	20
2.1 教学要求	20
2.2 基本概念与分析计算的依据	21
2.3 基本概念自检题与典型题举例	31
2.4 课后习题及其解答	53
3 场效应管及其放大电路	70
3.1 教学要求	70
3.2 基本概念与分析计算的依据	70
3.3 基本概念自检题与典型题举例	74
3.4 课后习题及其解答	85
4 集成运算放大器	92
4.1 教学要求	92
4.2 基本概念与分析计算的依据	93
4.3 基本概念自检题与典型题举例	97
4.4 课后习题及其解答	111
5 反馈和负反馈放大电路	126
5.1 教学要求	126
5.2 基本概念与分析计算的依据	126
5.3 基本概念自检题与典型题举例	131
5.4 课后习题及其解答	146

6 集成运放组成的运算电路	156
6.1 教学要求	156
6.2 基本概念与分析计算的依据	156
6.3 基本概念自检题与典型题举例	160
6.4 课后习题及其解答	176
7 信号检测与处理电路	188
7.1 教学要求	188
7.2 基本概念与分析计算的依据	188
7.3 基本概念自检题与典型题举例	194
7.4 课后习题及其解答	208
8 信号发生器	218
8.1 教学要求	218
8.2 基本概念与分析计算的依据	218
8.3 基本概念自检题与典型题举例	224
8.4 课后习题及其解答	236
9 功率放大电路	247
9.1 教学要求	247
9.2 基本概念与分析计算的依据	247
9.3 基本概念自检题与典型题举例	251
9.4 课后习题及其解答	262
10 直流稳压电源	268
10.1 教学要求	268
10.2 基本概念与分析计算的依据	268
10.3 基本概念自检题与典型题举例	272
10.4 课后习题及其解答	279
附录 1 西安交通大学模拟电子技术基础考试题(2001 年 12 月)	287
附录 2 西安交通大学模拟电子技术基础考试题(2002 年 12 月)	291
附录 3 西安交通大学模拟电子技术基础考试题(2003 年 12 月)	296
附录 4 西安交通大学研究生入学考试题(2002 年)电子技术基础 (模拟部分)	301
附录 5 西安交通大学研究生入学考试题(2003 年)电子技术基础 (模拟部分)	303
附录 6 西安交通大学研究生入学考试题(2004 年)电子技术基础 (模拟部分)	306

1 半导体二极管及其应用

1.1 教学要求

本章介绍了半导体基础知识、半导体二极管及其基本应用,各知识点的教学要求如表 1.1.1 所示。

表 1.1.1 第 1 章教学要求

知识点		教学要求		
		熟练掌握	正确理解	一般了解
半导体基础知识	本征半导体,掺杂半导体			√
	PN 结的形成		√	
	PN 结的单向导电性	√		
	PN 结的电容效应			√
	PN 结的反向击穿			√
半导体二极管	二极管的结构及类型			√
	二极管的伏安特性及主要参数	√		
	二极管的应用(整流、检波和限幅)	√		
	硅稳压管的伏安特性、主要参数	√		
	硅稳压管稳压电路	√		
	变容二极管			√

1.2 基本概念与分析计算的依据

1.2.1 半导体基础知识

1. 本征半导体及其特点

纯净的半导体称为本征半导体。在热“激发”条件下,本征半导体中的电子和空穴是成对产生的;当电子和空穴相遇“复合”时,也成对消失;电子和空穴都是载流子;温度越高,“电子-空穴”对越多;在室温下,“电子-空穴”对少,故电阻率大。

2. 掺杂半导体及其特点

(1) N型半导体:在本征硅或锗中掺入适量五价元素,形成N型半导体,N型半导体中电子为多子,空穴为少子;电子的数目(掺杂+热激发)=空穴的数目(热激发)+正粒子数;对外呈电中性。

(2) P型半导体:在本征硅或锗中掺入适量三价元素,形成P型半导体,其空穴为多子,电子为少子;空穴的数目(掺杂+热激发)=电子的数目(热激发)+负粒子数;对外呈电中性。

在本征半导体中,掺入适量杂质元素,就可以形成大量的多子,所以掺杂半导体的电阻率小,导电能力强。

当N型半导体中再掺入更高密度的三价杂质元素,可转型为P型半导体;反之,P型半导体也可通过掺入足够的五价元素而转型为N型半导体。

3. 半导体中的两种电流

(1) 漂移电流:在电场作用下,载流子定向运动所形成的电流称为漂移电流。

(2) 扩散电流:同一种载流子从浓度高处向浓度低处扩散所形成的电流为扩散电流。

4. PN结的形成

通过一定的工艺,在同一块半导体基片的一边掺杂成P型,另一边掺杂成N型,P型和N型的交界面处会形成PN结。

P区和N区中的载流子存在一定的浓度差,浓度差使多子向另一边扩散,从而产生了空间电荷和内电场;内电场将阻止多子扩散而促进少子漂移;当扩散与漂移达到动态平衡时,交界面上就会形成稳定的空间电荷层(或势垒区、耗尽层),即PN结形成。

5. PN结的单向导电性

PN结正向偏置时,空间电荷层变窄,内电场变弱,扩散大于漂移,正向电流很大(多子扩散形成),PN结呈现为低电阻,称为正向导通。正向压降很小,且随温度上升而减小。

PN结反向偏置时,空间电荷层变宽,内电场增强,漂移大于扩散,反向电流很小(少子漂移形成),PN结呈现为高电阻,称为反向截止。反偏电压在一定范围内,反向电流基本不变(也称为反向饱和电流),且随温度上升而增大。

6. PN 结的电容特性

(1) 势垒电容 C_B : 当外加在 PN 结两端的电压发生变化时, 空间电荷层中的电荷量会发生变化, 这一现象是一种电容效应, 称为势垒电容。 C_B 是非线性电容。

(2) 扩散电容 C_D : 当 PN 结正向偏置时, 多子扩散到对方区域后, 在 PN 结边界附近有积累, 并会有一定的浓度梯度。积累的电荷量也会随外加电压变化, 引起电容效应, 称为扩散电容。 C_D 也是非线性电容。

7. PN 结的反向击穿机理

(1) 齐纳击穿: 对于掺杂密度高的 PN 结, 空间电荷层的宽度很薄, 所以在较低的反向电压下, 空间电荷区中就有较强的电场, 足以把空间电荷层里的半导体原子的价电子从共价键中激发出来, 使反向电流突然增大, 出现击穿, 称这种击穿为齐纳击穿。

(2) 雪崩击穿: 对于掺杂密度低的 PN 结, 空间电荷层的宽度很宽, 需要更高的电压才能的空间电荷层中有较强的电场, 使作漂移运动的少子加速, 能量加大, 当它们与共价键中的价电子发生“碰撞”时, 会产生新的载流子, 这一现象称为“碰撞电离”。碰撞电离产生的新的载流子又被加速, 又会与共价键中的价电子发生“碰撞”, 产生越来越多新的载流子, 出现雪崩似的连锁反应, 反向电流剧增, PN 结被击穿, 称这种击穿为雪崩击穿。

1.2.2 半导体二极管

1. 二极管的结构及类型

半导体二极管是由 PN 结构成的, 按半导体材料不同分为硅管和锗管; 按结构形式不同, 常用的有平面型和点接触型两种。通常, 前者结面积较大, 结电容也较大, 适用于低频、大电流的电路; 后者结面积小, 结电容也小, 适用于高频、小电流的电路。

2. 二极管的伏安特性及主要参数

(1) 伏安特性表达式

二极管是一个非线性器件, 其伏安特性的数学表达式为

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

当 $u_D > 0$, 且 $u_D \gg U_T$ 时, $i_D \approx I_S e^{u_D/U_T}$; 当 $u_D < 0$, 且 $|u_D| \gg U_T$ 时, $i_D \approx -I_S \approx 0$ 。在室温下, $U_T \approx 26 \text{ mV}$ 。由此可看出二极管具有单向导电的特性。

(2) 伏安特性曲线

二极管的伏安特性曲线如图 1.2.1 所示。

正向特性: u_D 小于死区电压 (硅管是 0.5 V , 锗管是 0.1 V) 时, $i_D \approx 0$ 。正向部分的开始阶段电流增加得比较慢。在电流 i_D 比较大时, 二极管两端的电压随电流 i_D 变化很小, 称为导通电压 (硅管: 0.7 V , 锗管: 0.3 V)。

反向特性: 当反向电压 $|u_D| \gg U_T$, 且小于 $U_{(BR)}$ 时, $i_D \approx -I_S$, 反向饱和电流很小。当反向电压的绝对值达到

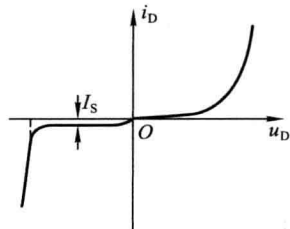


图 1.2.1 二极管的伏安特性曲线

$|U_{(BR)}|$ 后,反向电流会突然增大,二极管反向击穿。击穿后,当反向电流在很大范围内变化时,二极管两端的电压几乎不变,击穿后的反向特性有稳压性。

击穿电压低于4 V的击穿是齐纳击穿;击穿电压大于6 V的击穿为雪崩击穿;击穿电压介于4 V与6 V之间时,两种击穿都可能发生,也可能同时发生。

二极管发生反向击穿时,如果回路中的限流电阻能将反向电流限制在允许的范围内,二极管不会损坏。当反向电压降低后,管子仍可以恢复到原来的状态,这就是电击穿。如果限流电阻太小,使反向电流超过其允许值,则二极管会发生热击穿,造成永久性损坏。

(3) 温度对二极管特性的影响

温度升高时,二极管的正向伏安特性曲线左移,正向压降减小。温度每升高1℃,正向电压降将降低2~2.5 mV。

二极管的反向饱和电流也随温度的改变而改变,当温度每升高10℃左右时,反向饱和电流将翻一番。

击穿电压也受温度的影响,击穿电压小于4 V时,有负的温度系数;击穿电压大于6 V时,有正的温度系数;击穿电压介于4 V与6 V之间时,温度系数较小。

(4) 主要参数

二极管的主要参数有:额定整流电流 I_F ,反向击穿电压 $U_{(BR)}$,最高允许反向工作电压 U_R ,反向电流 I_R ,正向电压降 U_F ,最高工作频率 f_M 。用这些参数来定量描述二极管的特性,它也是合理选用二极管的依据。

3. 二极管的应用(整流、检波和限幅)

(1) 二极管电路的模型分析法

二极管是一个非线性器件,分析二极管电路时应采用非线性电路的分析方法。图解分析法和模型分析法是分析二极管电路的两种基本方法,模型分析法比较简便。

模型分析法是根据二极管在电路中的实际工作状态,以及分析精度的要求,用一个线性电路模型代替实际的二极管。

① 理想模型:正向导通时,二极管正向压降为零;反向截止时,二极管电流为零。

② 恒压源模型:正向导通时,二极管正向压降为常数(硅管:0.7 V,锗管:0.3 V);反向截止时,二极管电流为零。

③ 微变等效模型:如果电路中除了直流电源外,还有微变信号(交流小信号)时,则对后者,二极管可用交流等效电阻 r_d 表示,其值与静态工作点有关,即 $r_d \approx 26(\text{mV})/I_{DQ}$ 。

(2) 整流与检波电路

整流与检波电路的工作原理相同,它们都是利用二极管的单向导电特性,将交变的双向信号,转变成单向脉动信号。

(3) 限幅电路

在电子电路中,为了降低信号的幅度以满足电路工作的需要;为了保护某些器件不受大的信号电压作用而损坏,往往利用二极管的导通和截止限制信号的幅度,这就是所谓的限幅。

4. 硅稳压管的伏安特性及主要参数

稳压管是一种特殊的二极管,伏安特性与二极管类似。它利用 PN 结反向电击穿后所具有的稳压性能,在电路中起稳压作用。稳压管工作在反向击穿状态。由于硅半导体的温度特性好,通常稳压管是用硅材料制成的,称为硅稳压管。

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_{Zmin} (或稳定电流 I_Z)。
- ③ 最大允许工作电流 I_{ZM} 和最大允许功率耗散 P_{ZM} ,二者的关系为 $P_{ZM} = U_Z I_{ZM}$ 。
- ④ 动态电阻 r_z : 在稳压范围内, $r_z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$ 。 r_z 越小稳压管的稳压特性越好。
- ⑤ 温度系数 α_U : $U_Z > 6\text{ V}$ 时, α_U 为正值; $U_Z < 4\text{ V}$ 时, α_U 为负值; U_Z 介于 4 V 到 6 V 之间时, α_U 可能为正,也可能为负。

5. 硅稳压管的等效电路

硅稳压管正向偏置时,可用普通二极管的模型来等效;反向偏置的情况由理想二极管、动态电阻 r_z 及电压源 U_{Z0} 串联支路等效。等效电路中的电压源 U_{Z0} 可由下式求得:

$$U_{Z0} = U_Z - I_Z r_z$$

6. 硅稳压管稳压电路

(1) 稳压原理

硅稳压管组成的稳压电路如图 1.2.2 所示。当稳压管工作在反向击穿状态时,如果输入直流电压有波动或负载发生变化,将会使 U_O 有变化的趋势,这时 I_Z 会发生剧烈变化,通过限流电阻 R 两端电压的变化来补偿输入电压或负载的变化,从而达到了稳定 U_O 的目的。

(2) 稳压条件

图 1.2.2 电路中稳压管 D_Z 能工作在反向电击穿状态的条件是:

$$U_1 \frac{R_L}{R + R_L} \geq U_Z$$

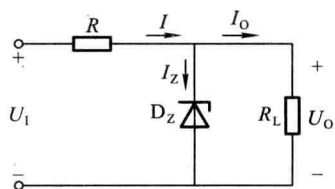


图 1.2.2 硅稳压管稳压电路

(3) 限流电阻计算

在图 1.2.2 所示电路中,选择合适的限流电阻 R ,使流过稳压管的电流满足 $I_{Zmin} \leq I_Z \leq I_{ZM}$ 的条件时,稳压电路才能正常工作。限流电阻的计算公式如下:

$$\frac{U_{Imax} - U_Z}{I_{Omin} + I_{ZM}} \leq R \leq \frac{U_{Imin} - U_Z}{I_{Omax} + I_{Zmin}}$$

式中: U_{Imax} 、 U_{Imin} 分别为输入直流电压的最大值和最小值; I_{ZM} 是稳压管最大允许工作电流, I_{Zmin} 是最小稳定电流 (大约为 1 mA); I_{Omax} 、 I_{Omin} 分别为输出电流的最大值和最小值。

1.3 基本概念自检题与典型题举例

1.3.1 基本概念自检题

1. 选择填空题(以下每小题后均列出了几个可供选择的答案,请选择其中一个最合适的答案填入空格之中)

(1) 本征半导体中的自由电子浓度____空穴浓度;P型半导体中的自由电子浓度____空穴浓度;N型半导体中的自由电子浓度____空穴浓度。

(a) 大于 (b) 小于 (c) 等于

(2) 在掺杂半导体中,多子的浓度主要取决于____,而少子的浓度则受____的影响很大。

(a) 温度 (b) 晶体缺陷 (c) 掺杂工艺 (d) 掺杂浓度

(3) N型半导体____,P型半导体____。

(a) 带正电 (b) 带负电 (c) 呈中性

(4) 当PN结正向偏置时,扩散电流____漂移电流,耗尽层____。当PN结反向偏置时,扩散电流____漂移电流,耗尽层____。

(a) 大于 (b) 小于 (c) 等于 (d) 不变 (e) 变宽 (f) 变窄

(5) 当环境温度升高时,二极管的正向电压将____,反向饱和电流将____。

(a) 增大 (b) 减小 (c) 不变

[答案] (1) (c), (b), (a)。 (2) (d), (a)。 (3) (c), (c)。 (4) (a), (f), (b), (e)。

(5) (b), (a)。

2. 填空题(请在空格中填上合适的词语,将题中的论述补充完整)

(1) 在半导体中,漂移电流是在____作用下形成的,扩散电流是在____作用下形成的。

(2) 二极管最主要的特点是____;确保二极管安全工作的两个主要参数分别是____和____。

(3) 在室温(27℃)时,锗二极管的死区电压约____V,导通后在较大电流下的正向压降约____V,硅二极管的死区电压约____V;导通后在较大电流下的正向压降约____V。

(4) 二极管的交流等效电阻 r_d 随静态工作点的增大而____。

(5) 硅稳压管稳压电路正常工作时,稳压管工作在____状态。

[答案] (1) 电场,浓度差。(2) 单向导电性, I_F , U_R 。(3) 0.1 V, 0.3 V, 0.5 V, 0.7 V。

(4) 减小。(5) 反向电击穿。

1.3.2 典型题举例

[例 1.1] 某二极管的反向饱和电流 $I_S = 10 \times 10^{-12}$ A, 如果将一只 1.5 V 的干电池接在二

极管两端,试计算流过二极管的电流有多大?

[解] 如果将干电池的正、负极分别与二极管的阴极、阳极相接,二极管反向偏置,此时流过二极管的电流等于 $I_s = 10 \times 10^{-12} \text{ A}$ 。反之,流过二极管的电流等于:

$$I_D = 10 \times 10^{-12} (e^{1500/26} - 1) \text{ A} \approx 1.14 \times 10^{-14} \text{ A}$$

此时二极管的等效直流电阻为:

$$R_D = U_D / I_D = \frac{1.5}{1.14 \times 10^{-14}} \Omega \approx 1.32 \times 10^{-14} \Omega$$

实际上电池的内阻、接线电阻和二极管的体电阻之和远远大于 R_D ,流过二极管的电流远远小于计算值。电路中的电流值不仅仅由二极管的伏安特性所决定,还与电路中的接线电阻、电池的内阻和二极管的体电阻有关。通常这些电阻都非常小,足以使二极管和干电池损坏。因此,实际应用时电路中必须串接适当的限流电阻,以防损坏电路元器件。

[例 1.2] 在图 1.3.1 电路中,设二极管正向导通时的压降为 0.7 V ,试估算 a 点的电位。

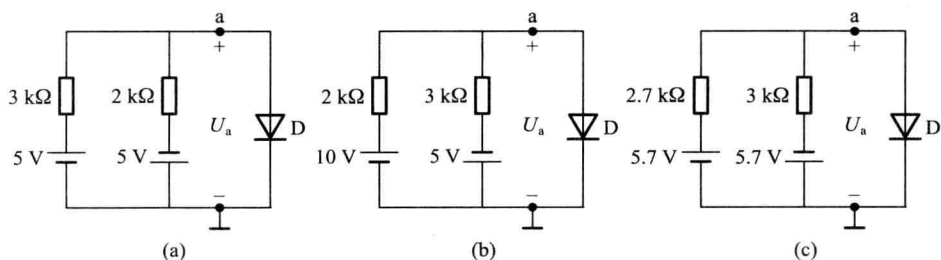


图 1.3.1 例 1.2 题图

[解] 本题的目的是为了巩固二极管单向导电的基本概念。含有二极管的电路是非线性电路,不能直接使用线性电路的计算方法,而是要先判定二极管的工作状态(导通、截止),再选用合适的线性等效模型代替二极管,然后利用线性电路的方法分析计算。

本题电路中二极管工作状态的判定方法:首先分析二极管开路时,管子两端的电位差,从而判断二极管两端加的是正向电压还是反向电压。若是反向电压,则说明二极管处于截止状态;若是正向电压,但正向电压小于二极管的死区电压,则说明二极管仍然处于截止状态;只有当正向电压大于死区电压时,二极管才能导通。

在用上述方法判断的过程中,若出现两个以上二极管承受大小不等的正向电压,则应判定承受正向电压较大者优先导通,其两端电压为正向导通电压,然后再用上述方法判断其他二极管的工作状态。

在图 1.3.1(a) 电路中,当二极管开路时,二极管端电压 $U_{ak} = -1 \text{ V}$,二极管反向偏置, $U_a = -1 \text{ V}$ 。

在图 1.3.1(b) 电路中,当二极管开路时,二极管端电压 $U_{ak} = 4 \text{ V}$,二极管正向导通, $U_a = 0.7 \text{ V}$ 。

在图 1.3.1(c) 电路中, 当二极管开路时, 二极管端电压 $U_{ak} = 0.3 \text{ V}$, 虽然二极管正向偏置, 但正向电压小于死区电压, 二极管仍处于截止状态, $U_a = 0.3 \text{ V}$ 。

[例 1.3] 电路如图 1.3.2(a)、(b) 所示。设输入信号 $u_i = 10\sin \omega t \text{ V}$, $V_C = 5 \text{ V}$, 二极管导通压降可以忽略不计, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

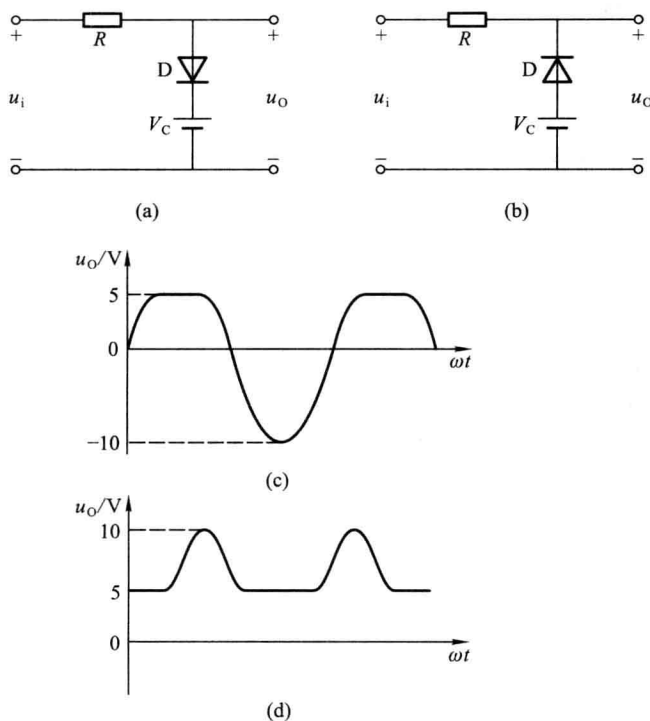


图 1.3.2 例 1.3 题图

[解] 本题图所示电路是二极管限幅电路, 分析该题的关键是判定二极管的工作状态。

在图(a)所示电路中, 当二极管断开时, 二极管两端的电压等于 $u_i - V_C$ 。当 $u_i \geq V_C$ 时, 二极管导通, $u_o = V_C = 5 \text{ V}$; 当 $u_i < V_C$ 时, 二极管截止, $u_o = u_i$, 输出电压 u_o 的波形如图(c)所示。

在图(b)所示电路中, 当二极管断开时, 二极管两端的电压等于 $u_i - V_C$ 。当 $u_i \geq V_C$ 时, 二极管截止, $u_o = u_i$; 当 $u_i < V_C$ 时, 二极管导通, $u_o = V_C = 5 \text{ V}$, 输出电压 u_o 的波形如图(d)所示。

[例 1.4] 电路如图 1.3.3(a) 所示。设电路中的二极管为硅管, 输入信号 $u_i = 10\sin \omega t \text{ mV}$, $V_C = 10 \text{ V}$, 电容器 C 对交流信号的容抗可以忽略不计, 试计算输出电压 u_o 的交流分量。

[解] 本题的目的是为了进一步熟悉二极管电路的分析方法。当二极管电路中同时存在较大的直流电源和微变的交流信号时, 应该先假设交流信号为零 ($u_i = 0$) 时, 采用二极管的恒压模型计算出流过二极管的直流电流 I_D , 然后利用二极管的微变等效模型分析计算其交流分量, 即先作直流分析再作交流分析。

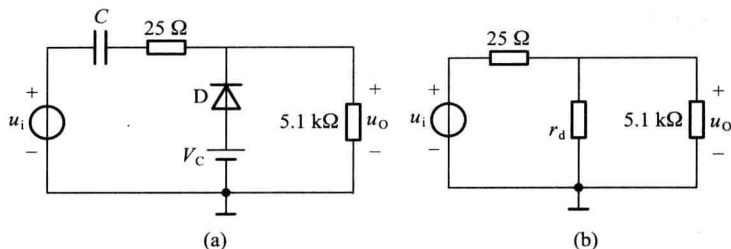


图 1.3.3 例 1.4 题图

在图 1.3.3(a) 电路中, 当令 $u_i = 0$ 、电容器 C 开路时, 流过二极管的直流电流 $I_D = \frac{10 - 0.7}{5.1 \times 10^3} \text{ A} \approx$

1.82 mA。由此可估算出二极管的动态电阻 $r_d \approx 26 (\text{mV}) / I_D (\text{mA}) = \frac{26}{1.82} \Omega \approx 14.3 \Omega$ 。

在进行交流分析时, 令直流电源 V_C 和电容器 C 短路, 二极管 D 用交流等效电阻 r_d 代替。此时, 图 1.3.3(a) 电路的交流等效电路如图 1.3.3(b) 所示。由图(b) 可得输出电压交流分量为: $u_o \approx [14.3 / (14.3 + 25)] u_i \approx 3.6 \sin \omega t \text{ mV}$ 。

【例 1.5】 电路如图 1.2.2 所示, 若稳压管的稳定电压 $U_Z = 12 \text{ V}$, 最大稳定电流 $I_{ZM} = 20 \text{ mA}$ 。 $U_1 = 30 \text{ V}$, $R = 1.5 \text{ k}\Omega$, $R_L = 2 \text{ k}\Omega$ 。试求:

- (1) 电流 I_0 、 I 和 I_Z 。
- (2) 当负载 $R_L = \infty$ 时, 流过稳压管的电流 I_Z 。
- (3) 当输入电压 U_1 由原来的 30 V 升高到 33 V 时 ($R_L = 2 \text{ k}\Omega$), 电流 I_0 、 I 和 I_Z 。

【解】 (1) 由于 $\frac{R_L}{R_L + R} U_1 = \frac{2}{1.5 + 2} \times 30 \text{ V} \approx 17 \text{ V} > 12 \text{ V}$, 稳压管处于稳压状态。故电路的输出电压

$$U_o = U_Z = 12 \text{ V}$$

$$I_0 = \frac{U_o}{R_L} = 6 \text{ mA}$$

$$I = \frac{U_1 - U_o}{R} = 12 \text{ mA}$$

$$I_Z = I - I_0 = 6 \text{ mA}$$

(2) 当负载 $R_L = \infty$ 断开时, 流过稳压管的电流 $I_Z = I = 12 \text{ mA}$ 。

(3) 当输入电压 U_1 由原来的 30 V 升高到 33 V 时, 输出电流 I_0 不变, 仍为 6 mA 。而

$$I = \frac{U_1 - U_o}{R} = 14 \text{ mA}$$

$$I_Z = I - I_0 = 8 \text{ mA}$$

【例 1.6】 有一硅稳压管稳压电路, 要求输出电压为 10 V , 负载电阻 R_L 可由 ∞ 变到 $2 \text{ k}\Omega$, 输入直流电压有 32 V 、 24 V 和 15 V 可供选择。试选择拟采用的输入电压值以及电路的元器件参数。

[解] (1) 选择稳压管

根据题意,应选择 U_Z 为 10 V 的稳压管。本题中 $I_{Omin} = 0, I_{Omax} = \frac{U_Z}{R_{Lmin}} = \frac{10}{2} \text{ mA} = 5 \text{ mA}$ 。

要求稳压管的电流变化范围应大于负载电流的变化范围。为了稳压性能好些,一般取 $I_{Zmin} \geq 5 \text{ mA}, I_{Zmax} \geq (2 \sim 3) I_{Omax}$, 现可取 $I_{Zmax} = 15 \text{ mA}$ 。查半导体器件手册,可选 2CW74 型硅稳压管,其 U_Z 在 10 V 左右,最大稳定电流为 23 mA,最小稳定电流可按 5 mA 计,动态电阻 $r_z \leq 25 \Omega$,稳定电压温度系数 $\leq 0.8\% / ^\circ\text{C}$ 。为了改进性能,还可选用 r_z 和 U_Z 的温度系数更小的管子。

(2) 确定输入电压

为了提高稳定性,可取高一些的 U_1 值,一般取 $U_1 \approx (2 \sim 3) U_0 \approx (2 \sim 3) U_Z$ 。今选用题中给出的 32 V 输入电压。

(3) 确定限流电阻 R

设 U_1 允许偏离规定值 $\pm 10\%$, 则 $U_{1max} = 35.2 \text{ V}, U_{1min} = 28.8 \text{ V}$, 则由公式

$$\frac{U_{1max} - U_Z}{I_{Omin} + I_{ZM}} \leq R \leq \frac{U_{1min} - U_Z}{I_{Omax} + I_{Zmin}}$$

可得

$$R_{min} \geq \frac{U_{1max} - U_Z}{I_{Omin} + I_{ZM}} = \frac{35.2 - 10}{23 + 0} \text{ k}\Omega \approx 1.09 \text{ k}\Omega$$
$$R_{max} \leq \frac{U_{1min} - U_Z}{I_{Omax} + I_{Zmin}} = \frac{28.8 - 10}{5 + 5} \text{ k}\Omega \approx 1.88 \text{ k}\Omega$$

可选 1.5 k Ω 的限流电阻。这时在规定的 32 V 输入电压下流经它的电流为 $\frac{32 - 10}{1.5} \text{ mA} \approx 14.7 \text{ mA}$, 功耗约 323 mW; 当 U_1 达 U_{1max} 时, 功耗将达 423 mW; 因此为安全计, 可选用功耗为 1 W、阻值为 1.5 k Ω 的电阻。

1.4 课后习题及其解答

1.4.1 课后习题

1.1 一个硅二极管的反向饱和电流为 10 pA, 设 $U_T = 26 \text{ mV}$ 。设求 U_D 等于 -2 V、0 V、+0.6 V 时的电流 I_D 及 $I_D = 2 \text{ A}$ 时的正向压降 U_D 值。

1.2 在题 1.2 图所示的电路中, 交流电源的电压 U 为 220 V, 现有三只半导体二极管 D_1 、 D_2 、 D_3 和三只 220 V、40 W 灯泡 L_1 、 L_2 、 L_3 , 接在该电源上。试问哪只(或哪些)灯泡发光最亮? 哪只(或哪些)二极管承受的反向电压最大?

1.3 在题 1.3 图所示电路中, 正弦波电源电压 u 的幅值为 2 V, 二极管可采用恒压降模型,