

模拟电子技术(第4版)学习指导

胡宴如 主编

高等教育出版社

模拟电子技术(第4版)学习指导

Moni Dianzi Jishu(Disiban) Xuexi Zhidao

胡宴如 主 编

高等教育出版社·北京

内容提要

本书是《模拟电子技术》(第4版)(胡宴如主编,高等教育出版社出版)的配套学习指导书,在第3版学习指导书的基础上修改而成。全书与主教材内容相对应,由半导体二极管及其基本应用、半导体三极管及其基本应用、放大电路基础、负反馈放大电路、集成运算放大器的线性应用、信号产生电路、直流稳压电源七章组成。各章按教学目标及学习指导、内容提要及复习讨论题分析、典型例题、自测题分析四个方面进行讨论,书后附录提供适量的参考试卷及其答案。

本书对模拟电子技术主要内容、重点和难点进行全面、扼要的分析和总结,帮助读者把握主教材的教学目标及学习方法,通过复习讨论题、典型例题以及自测题的分析,使读者加深对基本概念的理解,巩固基本知识,提高应用能力。

本书可作为高职高专院校电类各专业学生和自学读者的学习辅导书,也可作为教师的教学参考书;可与《模拟电子技术》(第4版)一书配套使用,也可单独使用。

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术(第4版)学习指导/胡宴如主编. --
北京:高等教育出版社,2014.5
ISBN 978-7-04-034886-6

I. ①模… II. ①胡… III. ①模拟电路-电子技术-
高等职业教育-教学参考资料 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 058325 号

策划编辑 王莉莉
责任校对 刁丽丽

责任编辑 王莉莉
责任印制 田甜

封面设计 于文燕

版式设计 范晓红

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 8.5
字 数 200千字
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 2014年5月第1版
印 次 2014年5月第1次印刷
定 价 13.20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 34886-00

目录

第1章 半导体二极管及其基本应用	1	二、内容提要及复习讨论题分析	58
一、教学目标及学习指导	1	4.1 反馈的基本概念及类型	58
二、内容提要及复习讨论题分析	1	4.2 负反馈对放大电路性能的影响	60
1.1 二极管的特性和主要参数	1	4.3 深度负反馈放大电路的特点及增益估算	61
1.2 二极管的基本应用	3	4.4 负反馈放大电路应用知识及技能训练	61
1.3 特殊二极管及其基本应用	4	三、典型例题	63
1.4 二极管的使用知识及技能训练	5	四、自测题分析	66
三、典型例题	7	第5章 集成运算放大器的线性应用	70
四、自测题分析	10	一、教学目标及学习指导	70
第2章 半导体三极管及其基本应用	13	二、内容提要及复习讨论题分析	71
一、教学目标及学习指导	13	5.1 基本运算电路	71
二、内容提要及复习讨论题分析	14	5.2 有源滤波电路	73
2.1 晶体管的特性与参数	14	5.3 集成运算放大器的频率特性	76
2.2 晶体管的基本应用	15	5.4 集成功率放大器及其应用	78
2.3 场效应管及其基本应用	17	5.5 集成运放使用知识及技能训练	78
2.4 三极管的使用知识及技能训练	20	三、典型例题	80
三、典型例题	21	四、自测题分析	87
四、自测题分析	25	第6章 信号产生电路	91
第3章 放大电路基础	29	一、教学目标及学习指导	91
一、教学目标及学习指导	29	二、内容提要及复习讨论题分析	91
二、内容提要及复习讨论题分析	30	6.1 正弦波振荡电路	91
3.1 放大电路的基本知识	30	6.2 非正弦波信号产生电路	94
3.2 三种基本组态放大电路	31	6.3 锁相频率合成电路	96
3.3 差分放大电路	34	6.4 振荡电路的应用知识及技能训练	98
3.4 互补对称功率放大电路	37	三、典型例题	98
3.5 多级放大电路	39	四、自测题分析	103
3.6 放大电路的调试知识与技能训练	41	第7章 直流稳压电源	107
三、典型例题	43	一、教学目标及学习指导	107
四、自测题分析	53	二、内容提要及复习讨论题分析	107
第4章 负反馈放大电路	57		
一、教学目标及学习指导	57		

7.1 单相整流滤波电路	107	三、典型例题	113
7.2 线性集成稳压器	109	四、自测题分析	117
7.3 开关集成稳压电路	112	附录	119
7.4 直流稳压电源的使用知识及 技能训练	112	附录 A 参考试卷	119
		附录 B 参考试卷答案	127

第 1 章

半导体二极管及其基本应用

一、教学目标及学习指导

(一) 教学目标

1. 了解半导体的基本知识，掌握 PN 结的单向导电性。
2. 了解二极管的结构，掌握普通二极管的符号、伏安特性及主要参数，熟悉其基本应用。
3. 熟悉稳压二极管的符号、特性及其基本应用。
4. 了解发光二极管、光电二极管和变容二极管的符号、工作特点及其应用。
5. 学会二极管识别与检测的基本方法。

(二) 学习指导

1. 本章重点是二极管的伏安特性及其基本应用。通过本章学习，应该明确二极管伏安特性的变化规律及特点，掌握用二极管理想模型及恒压降模型分析二极管基本应用电路的特性。
2. 稳压二极管、发光二极管与光电二极管、变容二极管的结构与普通二极管类似，均由 PN 结构成，但稳压二极管工作在反向击穿区，主要用于稳压；发光二极管与光电二极管是用以实现光电信号转换的半导体器件；变容二极管在电路中作可变电容使用。所以这一部分内容学习主要理解它们的工作特点，熟悉其应用。
3. 通过自学和技能训练，了解二极管的使用知识，理解二极管的单向导电性，学会二极管的检测和二极管电路测试的基本方法及常用仪器的使用。

二、内容提要及复习讨论题分析

1.1 二极管的特性和主要参数

(一) 内容提要

1. 半导体的基本知识

半导体有自由电子和空穴两种载流子参与导电。

纯净的单晶半导体称为本征半导体，常温下，其导电性能很差。

本征半导体中掺入杂质后即成为杂质半导体，若掺入微量的五价元素杂质，则形成 N 型半导体，若掺入微量的三价元素杂质，则形成 P 型半导体。杂质半导体中多数载流子

主要由掺杂产生,故多数载流子浓度决定于掺杂浓度,其值较大,且基本上不受温度影响,所以,杂质半导体导电性能得到显著改善,通过控制掺杂浓度可有效改变其导电性能,因而杂质半导体可以用来制造半导体器件。

在同一块半导体基片的两边分别形成P型和N型半导体,P型和N型半导体交界面处就会形成空间电荷区,把它称为PN结。PN结上外加电压称为偏置电压,若P区接电压的正端、N区接电压的负端,称为正向偏置,反之,为反向偏置。PN结正偏时,形成较大的正向电流,称导通;PN结反偏时,反向电流近似为零,称为截止。把这种允许一个方向电流,顺利通过的特性,称为单向导电性。

2. 二极管的伏安特性

二极管伏安特性具有非线性,即通过半导体的电流 i_D 与其两端电压 u_D 不成正比。伏安特性表达式为

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

式中, I_S 为二极管的反向饱和电流; U_T 为温度电压当量,在常温($T = 300\text{ K}$)下, $U_T \approx 26\text{ mV}$ 。

常用的二极管有硅管和锗管,硅二极管的导通电压 $U_{D(\text{on})} \approx 0.7\text{ V}$,锗二极管的 $U_{D(\text{on})} \approx 0.2\text{ V}$ 。

3. 二极管的主要参数

普通二极管的主要参数有最大整流电流 I_F 、最高反向工作电压 U_{RM} 。使用中还应注意二极管的最高工作频率 f_M 和反向电流 I_R ,要求反向电流 I_R 越小越好,硅管反向电流比锗管小得多,另外,要求二极管的正向压降越小越好。

(二) 复习讨论题分析

[1.1.1] 何谓本征半导体、P型半导体和N型半导体?它们在导电性能上各有何特点?

[解] 纯净的单晶半导体称为本征半导体,它有空穴和自由电子两种载流子并相等。在常温下,其载流子浓度很低,故导电能力很弱,且对温度、光照等非常敏感。

P型半导体又称空穴型半导体,以空穴导电为主,它是在本征半导体中掺入少量三价元素而形成的,多子空穴的数量决定于掺入三价元素的浓度。所以,它的导电性能比本征半导体显著改善,同时受外界因素影响较小。

N型半导体又称电子型半导体,以电子导电为主,它是在本征半导体中掺入少量五价元素而形成的,多子电子的数量决定于掺入五价元素的浓度,同样它的导电性能比本征半导体显著改善,受外界因素影响较小。

[1.1.2] 何谓PN结的正向偏置和反向偏置?何谓PN结的单向导电性?

[解] PN结上外加电压,若P区接电压正端,N区接电压负端,称PN结外接正向偏置电压,简称正偏。反之,称PN结反向偏置,简称反偏。

PN结正偏时,形成较大的正向电流,呈现很小的电阻,可近似为短路,称为导通;PN结反偏时,反向电流很小,呈现很大的电阻,可近似为开路而称为截止。即PN结正偏导通、反偏截止,称为PN结的单向导电性。

[1.1.3] 二极管正向特性有何特点?

[解] (1) 存在死区电压 U_{th} ,硅管 $U_{th} \approx 0.5\text{ V}$,锗管 $U_{th} \approx 0.1\text{ V}$ 。

(2) 正向电压大于 U_{th} 后, 正向电流与外加电压呈指数关系, 即正向电压很小变化将产生较大正向电流的变化, 所以, 可认为二极管正向导通压降为恒值, 硅管为 0.7 V、锗管为 0.2 V。

[1.1.4] 温度对二极管的特性有哪些影响?

[解] (1) 温度升高, 正向特性向左移, 即正向电流相同, 温度升高后其压降减小, 温度每升高 1 °C, 正向压降减小 2 ~ 2.5 mV。

(2) 温度升高, 反向电流显著增大, 温度每升高 10 °C, 反向电流增大一倍。

[1.1.5] 二极管有哪些主要参数? 使用中应特别注意哪些参数?

[解] 普通二极管的主要参数有: 最大整流电流 I_F 、最高反向工作电压 U_{RM} 、反向电流 I_R 和最高工作频率 f_M 。

使用中应特别注意: (1) 正向电流应加以限制, 以免正向电流过大而损坏二极管; (2) 反向电压应小于反向工作电压 U_{RM} , 以免产生击穿而损坏。另外, 还需注意, 当工作环境温度变化时, 因二极管参数会随温度变化而变化, 特别是二极管的反向电流将会显著增大。

1.2 二极管的基本应用

(一) 内容提要

1. 二极管大信号模型

二极管应用广泛, 应根据不同的应用情况, 采用不同的方法进行二极管电路的分析。在大信号状态, 通常二极管电路用理想开关模型和恒压降模型进行分析。应用理想模型和恒压降模型对二极管电路进行分析时, 首先应判断二极管的导通和截止情况, 当二极管处于导通状态时, 管压降近似为 0 或恒压 0.7 V (硅管); 当二极管处于截止状态时, 管子断开, 电流为 0。

2. 二极管应用电路举例

二极管应用很广泛, 如用于对信号进行控制的开关电路, 用于将交流电变为直流电的整流电路, 用于限制输出电压幅度的限幅电路等, 它们都是利用二极管的单向导电性来实现电路功能的。

(二) 复习讨论题分析

[1.2.1] 何谓二极管的开关作用? 二极管恒压降模型有何特点?

[解] 二极管加正向电压时导通, 管压降近似为 0, 相当于开关闭合; 加反向电压时截止, 电流近似为 0, 相当于开关断开, 将这一特性称为二极管的开关作用。

二极管导通后, 二极管的正向电流随正向电压的增加而迅速增大, 即正向电压很小的变化就会产生很大的正向电流变化, 可近似认为二极管正向导通压降为恒值, 硅管的正向导通电压 $U_{D(on)} \approx 0.7$ V, 锗管的 $U_{D(on)} \approx 0.2$ V。所以二极管的恒压降模型的特点为: 当加于二极管两端电压 $U_D \geq U_{D(on)}$ 时, 二极管导通, 管压降 $U_D = U_{D(on)}$, 当 $U_D < U_{D(on)}$ 时, 二极管截止, $I_D = 0$ 。

[1.2.2] 何谓整流电路? 为什么整流电路可把交流电变成直流电?

[解] 将 50 Hz 的交流电变成直流电的电路称为整流电路。整流电路由二极管构成, 由于二极管具有单向导电性, 可以把交流电变成单向的直流电。

[1.2.3] 说明直流电路中求流过二极管电流的方法。

[解] 大信号状态下,通常二极管用理想开关模型或恒压降模型来等效。首先将二极管断开,判断二极管正极与负极之间所加电压是正向还是反向,若是反向,则二极管截止,令二极管断开进行求解;若是正向,则二极管导通,令二极管两端电压降为0(或 $U_{D(on)}$),然后求解。

[1.2.4] 说明二极管直流电阻 R_D 和交流电阻 r_d 的区别及其应用。

[解] 直流电阻 R_D 表示二极管在直流电路中所呈现的等效电阻,当二极管两端直流电压为 U_D ,流过的直流电流为 I_D ,如图1.1所示,则二极管的直流电阻等于

$$R_D = \frac{U_D}{I_D}$$

由于二极管伏安特性是非线性的,所以,其直流电阻随管压降(或流过的电流)的大小而变。 R_D 用来分析二极管直流电路。

交流电阻 r_d 表示二极管在直流工作点上对小信号所呈现的动态电阻,由图1.1可得

$$r_d = \left. \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D} \right|_Q \approx \frac{26 \text{ mV}}{I_D (\text{mA})}$$

r_d 用来分析在小信号工作状态下,交流、直流量共存的二极管电路中求交流电流和电压。

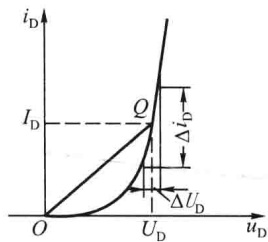


图 1.1 二极管的直流电阻和交流电阻

1.3 特殊二极管及其基本应用

(一) 内容提要

1. 稳压二极管

稳压二极管是一种特殊的硅二极管,正常情况下稳压管工作在反向击穿区,反向击穿电流在很大范围内变化时,其端电压变化很小,因而具有稳压作用。

稳压二极管的主要参数有稳定电压 U_Z 和稳定电流 I_Z ,当工作电流小于 I_Z 时,稳压效果变差,若低于最小稳定电流 I_{Zmin} 时,稳压二极管将失去稳压作用。

2. 发光和光电二极管

发光和光电二极管也是一种特殊二极管,用以实现光、电信号转换的半导体器件。发光二极管是通以正向电流就会发光的二极管,因采用的材料不同,可发出红、橙、黄、绿、蓝等光;光电二极管是将光信号转为电信号的半导体器件,它工作在反向偏置状态,在光的照射下,其反向电流随光照强度而变。

3. 变容二极管

利用PN结的电容效应制成的二极管,称为变容二极管,常用于高频电路中,作压控电容器使用。

(二) 复习讨论题分析

[1.3.1] 画出几种常用特殊二极管的图形符号,并说明它们正常工作时的偏置条件。

[解] 常用的几种特殊二极管图形符号如图1.2所示,图(a)为稳压二极管,图(b)为发光二极管,图(c)为光电二极管,图(d)为变容二极管。

稳压二极管主要用于稳压,正常工作时应加反向电压,使之工作在反向击穿区。发光二极管用来导通后发光显示,所以正常工作时应加正向偏压,使之产生足够大的正向电流

而发光。光电二极管用来将光信号转变为电信号，正常工作时应加反向偏压。变容二极管在电路中用作可变电容器，使用时应加反向偏压。

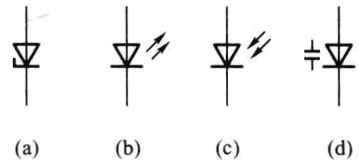


图 1.2 几种常用特殊二极管图形符号

[1.3.2] 简述硅稳压二极管的工作特性，使用硅稳压二极管和普通二极管有什么区别？

[解] 硅稳压二极管正常情况下应工作在反向击穿区。稳压二极管的反向击穿电压比较低，反向击穿特性陡直，即反向电流在很大范围内变化时端电压变化很小，而且有稳压功能。所以稳压二极管使用时两端应加反向电压；使之工作在反向击穿区，而普通二极管使用时是利用其单向导电性来实现电路功能的，只工作在正向导通区或反向截止区，而不允许工作到反向击穿区。

[1.3.3] 发光二极管和光电二极管有何用处？使用中应注意哪些问题？

[解] 发光二极管的作用是将电信号变为光信号，通常作为显示器件。光电二极管的作用则是将光信号变为电信号，通常用于光检测。将发光和光电二极管配合使用可实现光电耦合或光电传输。

使用发光二极管时应根据其参数选择合适的工作电流，电流太小则亮度不够，电流太大则功耗大且影响寿命，甚至损坏。工作电压在 5 V 以下。

使用光电二极管时，应使其工作在反向偏置状态，同时注意避免光干扰，以保证反向电流随光照强度的变化而变化。

1.4 二极管的使用知识及技能训练

(一) 内容提要

1. 二极管的识别与检测

二极管种类很多，它们的分类、型号、特性和参数等都可以从半导体手册中查到。由于半导体器件特性的分散性，具体某一只管子的特性可通过电子仪器测量得到。实用中常用万用表判别普通二极管的极性和质量好坏。将万用表置于 $R \times 1\text{ k}$ 挡，调零后，将表笔分别正、反接于二极管的两引脚，可测得大小两个阻值，两个阻值相差越大，则二极管的质量就越好，否则质量就越差。如果两次测得的电阻值都是无穷大或为零，则二极管内部已断路或短路。测得电阻值较小时，黑表笔（即“-”测试端）所接为二极管的正极。由于不同型号的万用表所提供的测试电流不同，故同一个二极管用不同万用表在相同的测量挡，所测电阻值是不相同的。

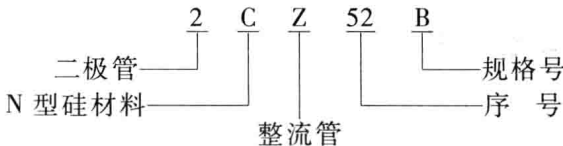
2. 二极管基本应用电路的测试

通过简单二极管电路的测试，以加深二极管特性的理解，学习电子电路实训基本技能。

(二) 复习讨论题分析

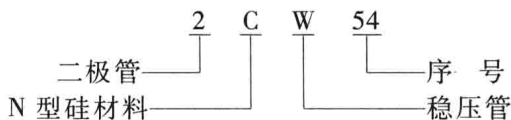
[1.4.1] 说明 2CZ52B、2CW54 符号的含义并列其主要参数值。

[解] 2CZ52B 为硅整流二极管，其含义为



主要参数值为：最大整流电流 $I_F = 0.1 \text{ A}$ ；最高反向工作电压 $U_{RM} = 50 \text{ V}$ 。

2CW54 为硅稳压二极管，其含义为



主要参数值为：稳定电压 $U_Z = 5.5 \sim 6.5 \text{ V}$ ；稳定电流 $I_Z = 10 \text{ mA}$ ；最大稳定电流 $I_{ZM} = 38 \text{ mA}$ 。

[1.4.2] 说明用模拟指针式万用表的电阻挡测量二极管正向电阻时，不同量程挡位下所测得正向电阻不同的原因。万用表所指电阻是二极管的何种电阻？

[解] 模拟指针式万用表电阻挡的电路为直流电路，故用万用表测出的是二极管直流电阻。由于不同量程时加在管子两端的电压基本不变，但通过二极管的电流不同，量程小时，流过二极管的正向电流大，测得的二极管直流电阻就小；量程大时，流过二极管的正向电流小，测得的二极管电阻就大。

[1.4.3] 二极管电路如图 1.3(a) 所示，已知 $U_{REF} = 5 \text{ V}$ ， u_i 为振幅等于 8 V 的正弦信号，如图 1.3(b) 所示，试画出输出电压 u_o 波形。

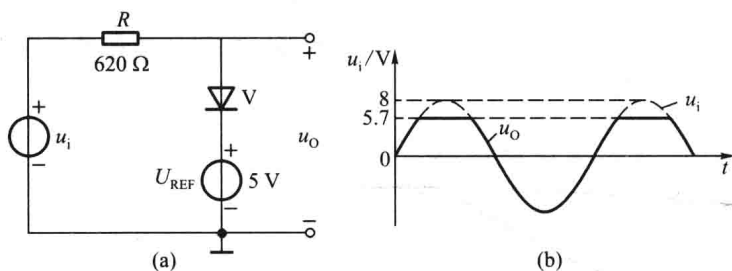


图 1.3 教材图 1.4.5(c) 电路及输出波形

[解] 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$ ，则 $u_i < U_{REF} + U_{D(on)} = 5.7 \text{ V}$ 时，二极管 V 截止，此时输出电压 $u_o = u_i$ ；当 $u_i \geq 5.7 \text{ V}$ 后，二极管导通，因二极管的钳位作用，此时输出电压 u_o 始终等于 5.7 V 。由此可以作出输出电压的波形如图 1.3(b) 所示。

[1.4.4] 在图 1.4 所示稳压二极管稳压电路中，如果限流电阻 $R_2 = 0$ ，是否还有稳压作用？ R_2 在电路中起什么作用？稳压二极管使用中应注意哪些问题？

[解] 稳压二极管稳压电路中限流电阻 R_2 是不可缺少的，它除了有限流作用外，还起到重要的电压调节作用。稳压电路输出电压 U_o 微小的变化将会引起稳压二极管电流 I_{DZ} 较大的变化，使流过 R_2 中的电流发生变化， R_2 上的压降发生变化，从而实现自动维持输出电压的稳定。若 $R_2 = 0$ ，不但稳压电路失去了调压元件，而且此时流过稳压二极管的电流 I_{DZ} 将会很大，致使管子损坏而失去稳压作用。所以稳压二极管稳压电路中限流电阻 R_2 是不允许短路的。稳压二极管使用时应注意以下几点：

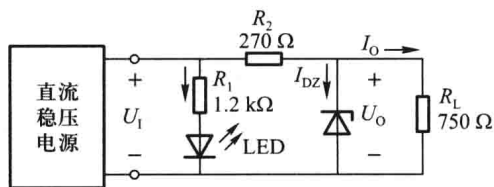


图 1.4 教材图 1.4.6 电路

(1) 稳压二极管必须工作在反向击穿区。

(2) 稳压二极管工作时的电流应在稳定电流 I_Z 和最大稳定电流 I_{ZM} 之间，电流小于

I_{Zmin} 将失去稳压作用, 大于 I_{ZM} 有可能使器件损坏, 所以稳压二极管使用时必须与之串联合适的限流电阻。

(3) 稳压二极管不能并联使用, 但可串联使用。

三、典型例题

例 1.1 (教材习题 1.1) 电路如图 1.5 所示, 设二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 试写出各电路的输出电压 U_o 值。

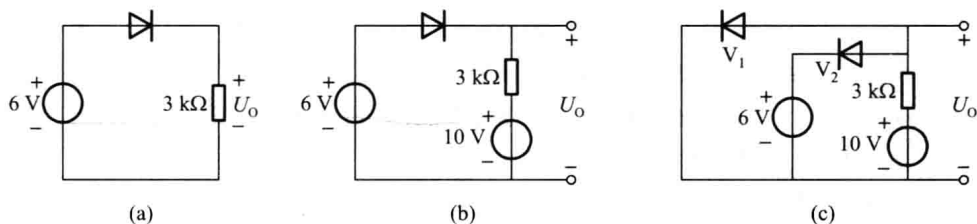


图 1.5 教材图 P1.1

[解] (a) 二极管正向导通, 所以输出电压 $U_o = (6 - 0.7) \text{ V} = 5.3 \text{ V}$ 。

(b) 令二极管断开, 可得 $U_P = 6 \text{ V}$ 、 $U_N = 10 \text{ V}$, $U_P < U_N$, 所以二极管反向偏压而截止, $U_o = 10 \text{ V}$ 。

(c) 令 V_1 、 V_2 均断开, $U_{N1} = 0 \text{ V}$ 、 $U_{N2} = 6 \text{ V}$ 、 $U_P = 10 \text{ V}$, $U_P - U_{N1} > U_P - U_{N2}$, 故 V_1 抢先导通后, V_2 截止, 所以输出电压 $U_o = 0.7 \text{ V}$ 。

例 1.2 二极管电路如图 1.6 所示, 二极管的导通电压 $U_{D(on)} = 0.7 \text{ V}$, 试分别求出 R 为 $1 \text{ k}\Omega$ 、 $4 \text{ k}\Omega$ 时, 电路中电流 I_1 、 I_2 、 I_o 和输出电压 U_o 。

[解] (1) $R = 1 \text{ k}\Omega$

将二极管断开, 可求得输出电压

$$U'_o = \frac{-9 \text{ V} \times 1 \text{ k}\Omega}{(1 + 1) \text{ k}\Omega} = -4.5 \text{ V}$$

可见, 电路中二极管的阳极电位高于阴极电位, 所以, 二极管处于导通状态, 则

$$U_o = -3 \text{ V} - 0.7 \text{ V} = -3.7 \text{ V}$$

$$I_o = U_o / R_L = -3.7 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -3.7 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{-3.7 \text{ V} - (-9 \text{ V})}{1 \text{ k}\Omega} = 5.3 \text{ mA}$$

$$I_1 = I_o + I_2 = -3.7 \text{ mA} + 5.3 \text{ mA} = 1.6 \text{ mA}$$

(2) $R = 4 \text{ k}\Omega$

将二极管断开, 可求得输出电压

$$U'_o = \frac{-9 \text{ V} \times 1 \text{ k}\Omega}{4 \text{ k}\Omega + 1 \text{ k}\Omega} = -1.8 \text{ V}$$

可见, 电路中二极管阳极电位低于阴极电位, 二极管处于截止状态, 所以

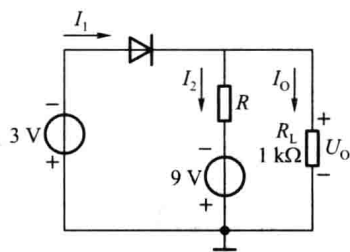


图 1.6 例 1.2 图

$$U_0 = U'_0 = -1.8 \text{ V}, I_1 = 0$$

$$I_0 = U_0 / R_L = -1.8 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = -1.8 \text{ mA}$$

$$I_2 = \frac{-1.8 \text{ V} - (-9 \text{ V})}{4 \text{ k}\Omega} = 1.8 \text{ mA}$$

例 1.3(教材习题 1.4) 二极管电路如图 1.7 所示, 二极管的导通电压 $U_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$, 试求电路中电流 I_1 、 I_2 、 I_0 和输出电压 U_0 。

[解] 由图可见, 图中 3 个二极管均加正向电压而导通, 所以

$$U_0 = 3U_{D(\text{on})} = 3 \times 0.7 \text{ V} = 2.1 \text{ V}$$

故

$$I_0 = U_0 / R_L = 2.1 \text{ V} / 1 \text{ k}\Omega = 2.1 \text{ mA}$$

$$I_1 = (6 - 2.1) \text{ V} / 560 \Omega = 0.007 \text{ A} = 7 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_1 - I_0 = 7 \text{ mA} - 2.1 \text{ mA} = 4.9 \text{ mA}$$

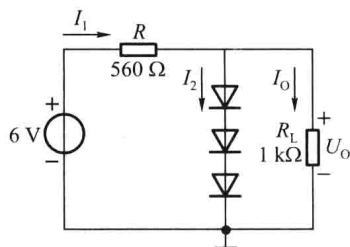


图 1.7 教材图 P1.4

例 1.4(教材习题 1.5) 图 1.8(a)所示电路中, 设 $u_i = 1.5\sin\omega t \text{ V}$, 二极管具有理想特性, 试分别画出开关 S 处于 A、B、C 时输出电压 u_0 的波形。

[解] 当 S 处于 A 时, 二极管正偏导通, $u_0 = 3 \text{ V} + u_i = (3 + 1.5\sin\omega t) \text{ V}$, 其波形如图 1.8(b)所示。

当 S 处于 B 时, 因 $U_{im} < 3 \text{ V}$, 故二极管反向偏置而截止, 所以 $u_0 = 0$, 输出电压波形为与横轴重叠的直线, 如图 1.8(b)所示。

当 S 处于 C 时, u_i 正半周时, 二极管导通, u_i 为负半周时, 二极管截止, 故输出电压波形为半波整流波形, 如图 1.8(b)所示。

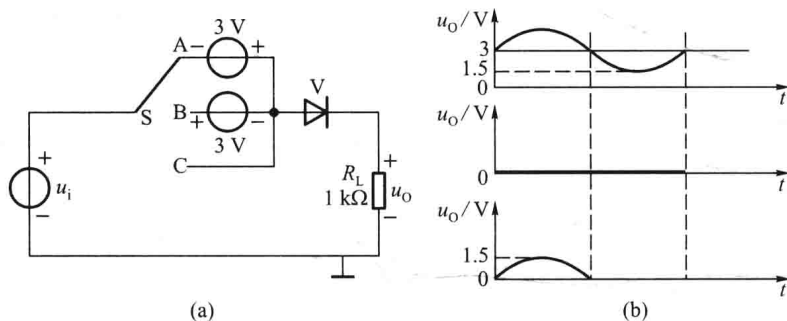


图 1.8 教材图 P1.5 及输出电压波形

例 1.5 二极管双向限幅电路如图 1.9 所示, 图中二极管采用硅管, 导通电压 $U_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$, 已知输入电压 $u_i = 10\sin\omega t \text{ V}$, 试对应画出 u_i 、 u_0 波形。

[解] 画出输入电压 u_i 的波形如图 1.9(b)虚线所示。当 u_i 为正半周时, V_2 管因反偏而截止; 在 u_i 小于 5.7 V 时, V_1 管也因反偏而截止, 输出电压 $u_0 = u_i$; $u_i \geq 5.7 \text{ V}$ 后, V_1 管因正偏导通, 使输出电压 u_0 恒等于 5.7 V , u_0 波形如图 1.9(b)实线所示。当 u_i 为负半周时, V_1 管因反偏而截止; 在 u_i 大于 -5.7 V 时, V_2 管也因反偏截止, $u_0 = u_i$; $u_i \leq -5.7 \text{ V}$ 后, V_2 管因正偏导通, 使 u_0 恒等于 -5.7 V , 所以 u_0 波形如图 1.9(b)实线所示。由此可见, 输出电压 u_0 的幅度被限制在 $\pm 5.7 \text{ V}$ 之间, 实现了双向限幅功能。

例 1.6 二极管电路如图 1.10 所示, 二极管的导通电压 $U_{D(\text{on})} = 0.7 \text{ V}$, 试求 R 分别

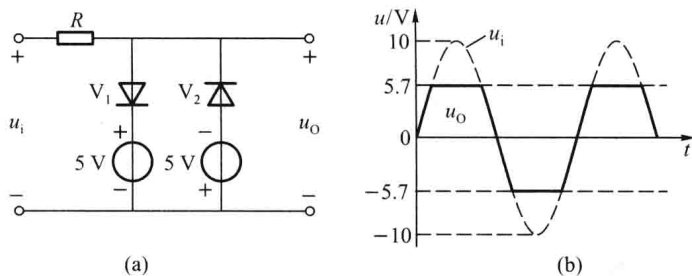


图 1.9 二极管限幅电路

(a) 电路 (b) 工作波形

为 $200\ \Omega$ 、 $100\ \Omega$ 时二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_d ，并分析其大小的变化。

[解] 当 $R = 200\ \Omega$ 时，可求得

$$I_D = \frac{(2 - 0.7)\text{V}}{200\ \Omega} = 6.5\text{ mA}$$

由此可求得二极管的直流电阻 R_D 和交流电阻 r_d 分别为

$$R_D = \frac{U_D}{I_D} = \frac{0.7\text{ V}}{6.5\text{ mA}} = 0.108\text{ k}\Omega = 108\ \Omega$$

$$r_d = \frac{U_T}{I_D} = \frac{26\text{ mV}}{6.5\text{ mA}} = 4\ \Omega$$

当 $R = 100\ \Omega$ 时，可求得

$$I_D = \frac{(2 - 0.7)\text{V}}{100\ \Omega} = 13\text{ mA}$$

则二极管的直流电阻、交流电阻分别为

$$R_D = \frac{0.7\text{ V}}{13\text{ mA}} = 0.054\text{ k}\Omega = 54\ \Omega$$

$$r_d = \frac{26\text{ mV}}{13\text{ mA}} = 2\ \Omega$$

由计算结果可见，当 R 减小，使流过二极管的电流增大，二极管的直流电阻和交流电阻随之减小。

例 1.7(教材习题 1.8) 稳压二极管稳压电路如图 1.11 所示，稳压二极管的参数为 $U_Z = 8.5\text{ V}$ ， $I_Z = 5\text{ mA}$ ， $P_{ZM} = 250\text{ mW}$ ，输入电压 $U_1 = 20\text{ V}$ 。(1) 求 U_O 、 I_{DZ} ；(2) 若 U_1 增加 10%， R_L 开路，分析稳压二极管是否安全；(3) 若 U_1 减小 10%， $R_L = 1\text{ k}\Omega$ ，分析稳压二极管是否工作在稳压状态。

[解] (1) 求 U_O 、 I_{DZ}

由图 1.11 可得

$$I_{DZ} = \frac{U_1 - U_Z}{R} - \frac{U_Z}{R_L} = \frac{(20 - 8.5)\text{ V}}{680\ \Omega} - \frac{8.5\text{ V}}{1000\ \Omega} = 8.4\text{ mA} > 5\text{ mA}$$

所以

$$U_O = U_Z = 8.5\text{ V}, I_{DZ} = 8.4\text{ mA}$$

(2) U_1 增加 10%， R_L 开路

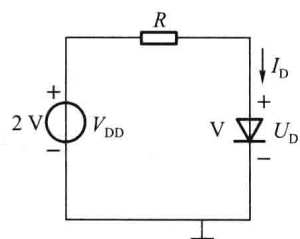


图 1.10 例 1.6 图

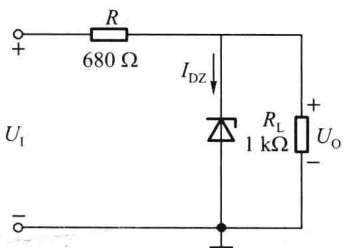


图 1.11 教材图 P1.8

$$I_{DZ} = \frac{20(1+0.1) - 8.5}{680} \text{ mA} = 19.9 \text{ mA}$$

稳压二极管承受的功耗

$$P_Z = U_Z I_{DZ} = 8.5 \text{ V} \times 19.9 \text{ mA} = 169 \text{ mW}$$

由于 $P_Z < P_{ZM} = 250 \text{ mW}$ ，故稳压二极管能安全工作。

(3) U_I 减小 10%， $R_L = 1 \text{ k}\Omega$

设稳压二极管工作在反向击穿区，则可得

$$I_{DZ} = \left(\frac{20(1-0.1) - 8.5}{680} - \frac{8.5}{1000} \right) \text{ mA} \approx 5.5 \text{ mA}$$

由于 $I_{DZ} > 5 \text{ mA}$ ，故假设成立，稳压二极管工作在稳压状态。

例 1.8(教材习题 1.10) 电路如图 1.12 所示，已知发光二极管的导通电压为 1.6 V，正向电流 $\geq 5 \text{ mA}$ 即可发光，最大正向电流为 20 mA。为使发光二极管发光，试求电路中 R 的取值范围。

[解] 因为 $I_{D\min} = 5 \text{ mA}$ ， $I_{D\max} = 20 \text{ mA}$ ，所以

$$R_{\max} = \frac{V_{DD} - U_D}{I_{D\min}} = \frac{(5 - 1.6) \text{ V}}{5 \text{ mA}} = 0.68 \text{ k}\Omega$$

$$R_{\min} = \frac{V_{DD} - U_D}{I_{D\max}} = \frac{(5 - 1.6) \text{ V}}{20 \text{ mA}} = 0.17 \text{ k}\Omega$$

即 R 的取值范围为 $170 \sim 680 \Omega$ 。

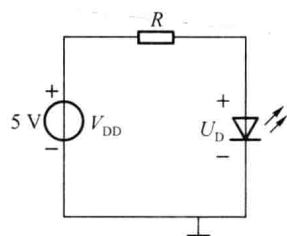


图 1.12 教材图 P1.10

四、自测题分析

1.1 填空题

1. 半导体中有_____和_____两种载流子参与导电。
2. 本征半导体中，若掺入微量的五价元素，则形成_____型半导体，其多数载流子是_____；若掺入微量的三价元素，则形成_____型半导体，其多数载流子是_____。
3. PN 结在_____时导通，_____时截止，这种特性称为_____性。
4. 当温度升高时，二极管的反向饱和电流将_____，正向压降将_____。
5. 整流电路是利用二极管的_____性，将交流电变为单向脉动的直流电。稳压二极管是利用二极管的_____特性实现稳压的。
6. 发光二极管是一种通以_____电流就会_____的二极管。
7. 光电二极管能将_____信号转变为_____信号，它工作时需加_____偏置电压。
8. 测得某二极管的正向电流为 1 mA，正向压降为 0.65 V，该二极管的直流电阻等于_____ Ω ，交流电阻等于_____ Ω 。

答案：1. 空穴，自由电子。2. N，自由电子；P，空穴。3. 正偏，反偏，单向导电。4. 增大，减小。5. 单向导电，反向击穿。6. 正向，发光。7. 光，电，反向。8. 650，26。

提示：4. 在室温附近，温度每升高 10°C ，反向电流约增加一倍；温度每升高 1°C ，

正向压降减小 $2 \sim 2.5 \text{ mV}$ 。

9. 二极管的直流电阻等于二极管两端直流电压与流过的直流电流之比, 所以, $R_D = 0.65 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 0.65 \text{ k}\Omega$; 交流电阻是指在直流工作点上二极管所呈现的动态电阻, $r_d \approx 26 \text{ mV} / 1 \text{ mA} = 26 \Omega$ 。

1.2 单选题

1. 杂质半导体中, 多数载流子的浓度主要取决于()。
A. 温度 B. 掺杂工艺 C. 掺杂浓度 D. 晶格缺陷
2. 硅二极管的反向电流很小, 其大小随反向电压的增大而()。
A. 减小 B. 基本不变 C. 增大
3. 流过二极管的正向电流增大, 其直流电阻将()。
A. 增大 B. 基本不变 C. 减小
4. 变容二极管在电路中主要用作()。
A. 整流 B. 稳压 C. 发光 D. 可变电容器

答案: 1. C。2. B。3. C。4. D。

1.3 是非题(对打√, 错打×)

1. 在 N 型半导体中如果掺入足够量的三价元素, 可将其改型为 P 型半导体。()
2. 二极管只要加正向电压便能导通。()
3. 二极管在工作电流大于最大整流电流 I_F 时会损坏。()
4. 只要稳压二极管两端加反向电压就能起稳压作用。()

答案: 1. √。2. ×。3. ×。4. ×。

提示: 1. 在 N 型半导体中掺入足够量的三价元素时, 可使杂质半导体中的多子变为空穴, 少子变为自由电子, 即改型为 P 型半导体。

2. 由于二极管存在死区电压 U_{th} , 因此只有正向电压大于 U_{th} 时, 二极管方才算导通。

3. 最大整流电流是指二极管长期运行允许通过的最大正向平均电流, 若使用时平均电流超过此值, 就有可能烧坏管子。但若只是瞬时电流超过 I_F 值, 而平均电流小于 I_F , 则二极管不会因此而损坏。

4. 稳压二极管在电路中要起稳压作用, 必须工作在反向击穿区内, 所以, 稳压二极管两端虽加反向电压, 但不能使之工作在反向击穿区内, 稳压二极管是不会起稳压作用的。

1.4 分析计算题

1. 电路如图 1.13(a) 所示, 二极管具有理想特性, 已知 $u_i = 10 \sin \omega t \text{ V}$, 试对应画出

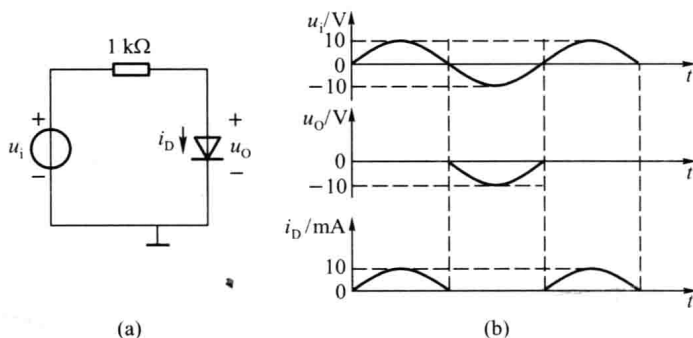


图 1.13 教材图 T1.1 及其工作波形

u_i 、 u_o 、 i_D 的波形。

[解] 输入电压 u_i 为正半周时, 二极管正偏导通, 所以二极管两端压降为零, 即 $u_o = 0$, 而流过二极管的电流 $i_D = u_i/R$, 为半波正弦波, 其最大值 $I_{Dm} = 10 \text{ V}/1 \text{ k}\Omega = 10 \text{ mA}$; 当 u_i 为负半周时, 二极管反偏截止, $i_D = 0$, $u_o = u_i$ 为半波正弦波。因此可画出电压 u_o 、电流 i_D 的波形如图 1.13(b) 所示。

2. 稳压二极管电路如图 1.14 所示, 已知 $U_Z = 5 \text{ V}$, $I_Z = 5 \text{ mA}$, 电压表中流过的电流忽略不计。试求当开关 S 断开和闭合时, 电压表(V)和电流表(A₁)、(A₂)的读数分别为多大?

[解] 当开关 S 断开, R_2 支路不通, $I_{A2} = 0$, 此时 R_1 与稳压二极管 V 相串联, 因此由图

$$I_{A1} = \frac{U_1 - U_Z}{R_1} = \frac{(18 - 5) \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega} = 6.5 \text{ mA} > I_Z$$

可见稳压二极管处于稳压状态, 所以电压表的读数为 5 V。

当开关 S 闭合, 令稳压二极管开路, 可求得 R_2 两端压降为

$$U_{R2} = \frac{U_1 R_2}{R_1 + R_2} = \frac{18 \times 0.5}{2 + 0.5} \text{ V} = 3.6 \text{ V} < U_Z$$

故稳压二极管不能被反向击穿而处于反向截止状态, 因此, R_1 、 R_2 构成串联电路, 电流表 A₁、A₂ 的读数相同, 即

$$I_{A1} = I_{A2} = \frac{U_1}{R_1 + R_2} = \frac{18 \text{ V}}{2 \text{ k}\Omega + 0.5 \text{ k}\Omega} = 7.2 \text{ mA}$$

而电压表的读数, 即 R_2 两端压降为 3.6 V。

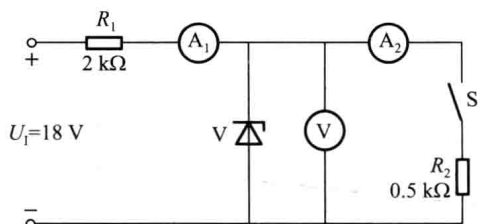


图 1.14 教材图 T1.2