

Dianzi Xianlu Xuexi Zhidao

电子线路 学习指导

杨晓慧 白雪梅 编著



国防工业出版社
National Defense Industry Press

电子线路学习指导

杨晓慧 白雪梅 编著

国防工业出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是根据电子线路课程的学习要求编写的,其目的是:帮助读者明确教学基本内容和教学重点;掌握电子线路的基本概念和基本分析方法;提高分析问题、解决问题的能力。

本书分为线性和非线性两篇,各章包括“本章重点”、“基本要点”和“习题解答”三部分内容。本书的知识点覆盖全面、习题类型丰富,习题难度具有多个层次,适合各类读者的需求;习题解答详尽,易读易懂,便于自学。

本书可作为高等学校电子信息工程、通信工程、自动控制等相近专业“电子线路”课程的教学参考书及考研辅导教材。

图书在版编目(CIP)数据

电子线路学习指导/杨晓慧,白雪梅编著. —北京:国防工业出版社,2009.10

ISBN 978-7-118-06520-6

I. 电... II. ①杨...②白... III. 电子电路—高等学校—解题 IV. TN7100-44

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 145087 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 16½ 字数 378 千字

2009 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 29.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

本书是为康华光主编的《电子技术基础 模拟部分》与谢嘉奎主编的《电子线路非线性部分》两本书编写的学习指导书。

由于电子线路课程内容多、概念强,对问题分析又常采用近似方法,因而给初学者带来很大困难。本书的编写是帮助读者明确教学基本要求和教学重点,掌握电子线路的基本概念和基本分析方法,提高分析问题、解决问题的能力。

为便于读者学习,本书在章节编排顺序上与教材完全相同,全书分为两大部分:第1篇——电子线路·线性部分;第2篇——电子线路·非线性部分。

本书各章节内容主要包含以下三个部分:

(1) 本章重点 指出本章中哪些内容需要重点掌握,哪些内容需要一般了解。帮助读者有的放矢地进行学习。

(2) 基本要点 根据编者多年教学实践中的经验和体会,本书对教材各章内容进行了总结、提炼和归纳,帮助读者理清思路、抓住重点。

(3) 习题解答 本书为每个章节提供了填空、选择、判断、问答与计算五种类型的习题与解答,习题知识覆盖全面,并适当扩展,而且解答详细,可以帮助读者更好地掌握电子线路的基本概念、基本原理和基本分析方法,加深对内容的理解与知识面的拓宽。

本书主要特点:习题类型丰富,知识点覆盖全面,习题难度具有多个层次,适合各类读者的需求;习题解答详尽,易读易懂,便于自学;可作为高等学校电子信息工程、通信工程、自动控制等相近专业“电子线路”课程的配套辅助教材和考研参考教材。

本书由杨晓慧、白雪梅编写。白雪梅编写第1篇;杨晓慧编写第2篇。

本书由陈殿仁教授和李洪祚教授主审。

由于作者水平有限,书中难免有错误与不足之处,恳请读者和同行批评指正。

编著者
2009年7月

目 录

第 1 篇 电子线路·线性部分

第 1 章 半导体二极管及其基本电路	2
1.1 本章重点	2
1.2 基本要点	2
1.2.1 半导体的基本知识	2
1.2.2 PN 结的形成与特性	3
1.2.3 半导体二极管	3
1.2.4 二极管基本电路及其分析方法	5
1.2.5 齐纳二极管(稳压管)	5
1.3 习题解答	6
第 2 章 半导体三极管及放大电路基础	15
2.1 本章重点	15
2.2 基本要点	15
2.2.1 半导体 BJT	15
2.2.2 共射极放大电路	17
2.2.3 放大电路的图解分析法	19
2.2.4 小信号模型分析法	20
2.2.5 放大电路的工作点稳定问题	21
2.2.6 共集电极电路和共基极电路	22
2.2.7 放大电路的频率响应	23
2.3 习题解答	27
第 3 章 场效应管放大电路	53
3.1 本章重点	53
3.2 基本要点	53
3.2.1 结型场效应管	53
3.2.2 MOS 场效应管	54
3.2.3 场效应管与三极管之间的异同点(表 1-3-1)	55

3.2.4 场效应管放大电路	56
3.2.5 各种放大器件电路性能比较	58
3.3 习题解答	58
第4章 集成电路运算放大器	66
4.1 本章重点	66
4.2 基本要点	66
4.2.1 模拟集成电路的特点	66
4.2.2 集成电路运算放大器中的电流源	66
4.2.3 差分式放大电路	68
4.2.4 集成电路运算放大器	70
4.2.5 集成电路运算放大器的主要参数	71
4.3 习题解答	72
第5章 反馈放大电路	83
5.1 本章重点	83
5.2 基本要点	83
5.2.1 反馈的基本概念与分类	83
5.2.2 反馈的方框图及增益的一般表达式	84
5.2.3 负反馈对放大电路性能的改善	85
5.2.4 基本放大器引入负反馈的原则	85
5.2.5 负反馈电路的分析方法	86
5.2.6 负反馈电路的稳定问题	86
5.3 习题解答	87
第6章 信号的运算与处理电路	100
6.1 本章重点	100
6.2 基本要点	100
6.2.1 理想集成运放条件及特性	100
6.2.2 运算电路	100
6.2.3 实际集成运算放大器运算电路的误差分析	103
6.2.4 有源滤波器	103
6.2.5 集成运算放大电路的非线性应用——电压比较器	107
6.3 习题解答	109

第2篇 电子线路·非线性部分

第1章 功率电子线路	128
-------------------------	------------

1.1	本章重点	128
1.2	基本要点	128
1.2.1	功率放大器的电路组成和工作特性	128
1.2.2	甲类、乙类功率放大器的电路组成及功率性能	130
1.2.3	乙类推挽功率放大实用电路	134
1.2.4	稳压电路	138
1.3	习题解答	140
第 2 章	谐振功率放大器	163
2.1	本章重点	163
2.2	基本要点	163
2.2.1	谐振功率放大器的工作原理	163
2.2.2	谐振功率放大器的性能特点	164
2.2.3	谐振功率放大器电路	169
2.3	习题解答	171
第 3 章	正弦波振荡器	179
3.1	本章重点	179
3.2	基本要点	179
3.2.1	正弦波振荡器的工作原理	179
3.2.2	反馈振荡器的组成及判断法则	181
3.2.3	振荡器的频率稳定度及频率稳定的 LC 振荡器	184
3.3	习题解答	184
第 4 章	振幅调制、解调与混频电路	200
4.1	本章重点	200
4.2	基本要点	200
4.2.1	振幅调制、解调与混频电路的实现模型	200
4.2.2	线性时变状态	204
4.2.3	半导体器件的线性时变模型	204
4.2.4	典型调制器、解调器与混频器的电路组成和性能特点	206
4.2.5	混频失真与干扰	210
4.3	习题解答	211
第 5 章	角度调制与解调电路	235
5.1	本章重点	235
5.2	基本要点	235

5.2.1 调频信号和调相信号	235
5.2.2 调频电路	237
5.2.3 调频波的解调(鉴频)	241
5.3 习题解答	244

第 1 篇

电子线路·线性部分

- 第 1 章 半导体二极管及其基本电路
- 第 2 章 半导体三极管及放大电路基础
- 第 3 章 场效应管放大电路
- 第 4 章 集成电路运算放大器
- 第 5 章 反馈放大电路
- 第 6 章 信号的运算与处理电路

第 1 章 半导体二极管及其基本电路

1.1 本章重点

- (1) 掌握 PN 结的单向导电性、二极管的伏安特性和主要参数。
- (2) 掌握二极管的理想模型、电压源模型、二极管折线模型和小信号模型并分析电路。
- (3) 掌握稳压二极管工作原理、特性及电路计算。
- (4) 了解半导体原子结构、杂质半导体、PN 结形成。

1.2 基本要点

1.2.1 半导体的基本知识

1. 半导体材料

根据物体导电能力(电阻率)的不同,分为导体、绝缘体和半导体。

半导体材料有元素半导体和化合物半导体。硅是最常用的一种半导体材料。

2. 半导体的共价键结构

硅和锗是四价元素,外层原子轨道上有四个电子(价电子)。

半导体材料都制成晶体,构成共价键结构。

3. 本征半导体、空穴及其导电作用

本征半导体是一种完全纯净、结构完整的半导体。

在室温下,由于光和热的激发,部分价电子挣脱共价键的束缚离开原位成为自由电子,此现象称为本征激发,同时在原来的位置上留下一个空位,称为空穴。

束缚电子能迁入空位形成新的空穴,相当于空穴移动。空穴可看成一个带正电的粒子,其所带电量与电子相等,符号相反。

自由电子和空穴总称为载流子(载运电流的粒子)。

本征半导体内自由电子和空穴是成对出现的,即载流子的产生;它也是成对消失的,即载流子的复合。

温度增加,本征激发产生的载流子增加,导电能力增强。

4. 杂质半导体

杂质半导体分为两类:电子型半导体(N 型半导体)和空穴型半导体(P 型半导体)。在四价半导体内掺入少量三价元素,构成 P 型半导体,一个杂质原子提供一个自由电子。N 型半导体中自由电子为多数载流子(多子),空穴为少数载流子(少子),但半导体呈电中性。

本征半导体中掺入少量杂质,载流子浓度将大大增加,导电能力大大提高。

5. 扩散运动和漂移运动

浓度差作用下载流子的定向运动,称为扩散运动,所形成的电流称为扩散电流。

在电场作用下载流子的定向运动,称为漂移运动,所形成的电流称为漂移电流。

1.2.2 PN 结的形成与特性

1. PN 结的形成

一块基片,一部分掺入五价元素成为 N 型半导体,另一部分掺入三价半导体成为 P 型半导体;分界线两侧载流子浓度不等,产生扩散并复合,留下正负离子不能移动,形成空间电荷区,构成内电场;内电场阻止多子扩散,促进少子漂移;当扩散与漂移平衡,空间电荷区宽度稳定。

空间电荷区又称 PN 结、耗尽层、阻挡层、势垒区。

2. PN 结的单向导电性

(1) PN 结正偏(P 接正,N 接负),内电场削弱,耗尽层变窄,扩散运动加强,电流(多子运动形成)大,PN 结导通;PN 结反偏,内电场增强,耗尽层变宽,扩散运动减弱,漂移运动加强,电流(少子运动形成)很小,PN 结截止。注意反向电流是少子电流,故随温度的增加而增加。

(2) PN 结的伏安特性 如图 1-1-1 所示,PN 结加正向电压时,呈现低电阻,具有较大的正向扩散电流;PN 结加反向电压时,呈现高电阻,具有很小的反向漂移电流。由此可以得出结论:PN 结具有单向导电性。

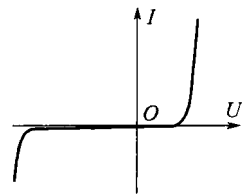


图 1-1-1

(3) PN 结方程 根据理论分析,PN 结两端的电压 U 与流过 PN 结的电流 I 之间的关系为

$$I = I_S(e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

式中: I_S 为 PN 结的反向饱和电流; U_T 为温度电压当量,在温度为 300K(27℃)时, $U_T \approx 26\text{mV}$ 。

PN 结正偏时,上式近似改写为 $I \approx I_S e^{\frac{U}{26\text{mV}}}$,即 I 随 U 按指数规律变化。

PN 结反偏时,上式近似改写为 $I \approx -I_S$,其中负号表示为反向。

3. PN 结的反向击穿

反向电压增大到某值时,反向电流会大大增加,此现象称为反向击穿。这时的电压称为反向击穿电压 U_{BR} 。

击穿可分为雪崩击穿和齐纳击穿,它们都属于电击穿。电击穿可逆,热击穿不可逆,一定要避免。

1.2.3 半导体二极管

1. 结构和型号

1) 结构

二极管由 PN 结加上引线和管壳组成,有点接触型、面接触型、和平面型。

- (1) 点接触型二极管 PN 结面积小,结电容小,用于检波和变频等高频电路。
- (2) 面接触型二极管 PN 结面积大,用于工频、大电流整流电路。
- (3) 平面型二极管 往往用于集成电路制造工艺中。PN 结面积可大可小,用于高频整流和开关电路中。

2) 型号

国家标准对半导体器件型号的命名如图 1-1-2 所示。

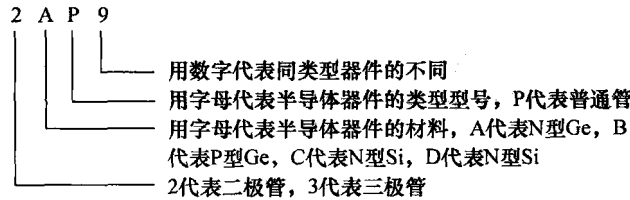


图 1-1-2

3) 符号

二极管符号如图 1-1-3 所示。



图 1-1-3

2. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性可表示

$$I = I_S(e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$$

式中: I_S 为反向饱和电流; U 为二极管两端的电压降; $U_T = KT/q$ 称为温度电压当量; 当温度等于室温时(相当于 $T \approx 300K$), 有 $U_T = 26mV$ 。

二极管的伏安特性曲线如图 1-1-4 所示。

1) 正向特性

当 $U > 0$ 时, 处于正向特性区域。正向区又分为两段:

- (1) 当 $0 < U < U_{th}$ 时, 正向电流为零, U_{th} 称为死区电压或开启电压。
- (2) 当 $U > U_{th}$ 时, 开始出现正向电流, 并按指数规律增长。

硅二极管的死区电压 $U_{th} \approx 0.5V$; 锗二极管的死区电压 $U_{th} \approx 0.1V$ 。

2) 反向特性

当 $U < 0$ 时, 即处于反向特性区域。反向区也分两个区域:

- (1) 当 $U_{BR} < U < 0$ 时, 反向电流很小, 且基本不随反向电压的变化而变化, 此时的反向电流也称反向饱和电流 I_S 。

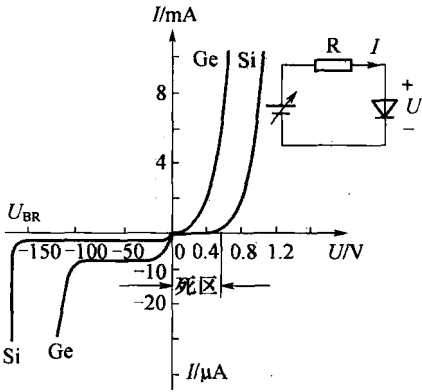


图 1-1-4

(2) 当 $U \geq U_{BR}$ 时, 反向电流急剧增加, U_{BR} 称为反向击穿电压。

3. 二极管的参数

1) 主要参数

最大整流电流 I_F , 反向击穿电压 U_{BR} , 反向电流 I_R 。

2) 极间电容 PN 结的电容效应包括扩散电容 C_D 和势垒电容 C_B 。

(1) 扩散电容 C_D PN 结正向导通时, 多子扩散到对方区域后, 在 PN 结边界上积累, 形成一定的浓度分布。积累的电荷量随外界电压变化而变化, 由此引起电容效应。

(2) 势垒电容 C_B PN 结中存储在空间电荷区中的电荷量随外加电压而变化所等效的电容效应。

(3) 势垒电容和扩散电容均是非线性电容。PN 结在反偏时主要考虑势垒电容; PN 结在正偏时主要考虑扩散电容。

(4) 高频运用时, 必须考虑结电容的影响。结电容包括势垒电容和扩散电容, 与本身结构和工艺有关, 还与外加电压有关。

1.2.4 二极管基本电路及其分析方法

1. 二极管的电路模型

二极管本身是非线性元件, 在分析含二极管的电路时, 常用某种模型代替:

(1) 理想模型 相当于开关, 正向导通时, 没有压降; 反向截止时, 没有电流。

(2) 恒压源模型 理想二极管加电压源; 考虑二极管的正向压降。

(3) 折线模型 理想二极管加电压源和电阻; 考虑二极管的正向压降和导通电阻。

(4) 小信号模型 考虑二极管两端的压降在某一固定值上做微小变化时引起的电流变化, 用于动态分析。

2. 应用电路

(1) 限幅电路。

(2) 开关电路。

(3) 低电压稳压电路。

1.2.5 齐纳二极管(稳压管)

稳压管是利用反向击穿特性而使稳压管两端电压稳定的特殊二极管, 工作中采取反向接法, 使之处于反向击穿状态。

1. 稳压管的主要参数

(1) 稳定电压 U_Z 在规定的稳压管反向工作电流 I_Z 下, 所对应的反向工作电压。

(2) 动态电阻 r_Z 其概念与一般二极管的动态电阻相同, 只不过稳压二极管的动态电阻是从它的反向特性上求取的。 r_Z 越小, 反映稳压管的击穿特性越陡。 $r_Z = \Delta U_Z / \Delta I_Z$

(3) 最大耗散功率 P_{ZM} 稳压管的最大功率损耗取决于 PN 结的面积和散热等条件。反向工作时 PN 结的功率损耗为 $P_Z = U_Z \cdot I_Z$, 由 P_{ZM} 和 U_Z 可以决定 I_{Zmax} 。

(4) 最大稳定工作电流 I_{Zmax} 和最小稳定工作电流 I_{Zmin} 稳压管的最大稳定工作电流取决于最大耗散功率, 即 $P_{Zmax} = U_Z I_{Zmax}$ 。若 $I_Z < I_{Zmin}$ 则不能稳压。

2. 稳压二极管应用

(1) 稳压二极管在工作时应反接,并串入一只电阻。电阻的作用主要是起限流作用,以保护稳压管;其次是当输入电压或负载电流变化时,通过该电阻上电压降的变化,取出误差信号以调节稳压管的工作电流,从而起到稳压作用。

(2) 稳压管正常工作的两个条件:必须工作在反向击穿状态(利用其正向特性时除外);流过管子的电流必须介于稳定电流和最大电流之间。

1.3 习题解答

一、填空题

1. PN 结的最重要特性是_____。
2. 稳压管正常击穿属于_____击穿。
3. 载流子的运动主要有_____和_____两种,前者是由_____作用引起,后者是由_____作用引起。
4. P 型半导体的多数载流子为_____,整个半导体呈_____(填极性)。
5. PN 结正偏时,P 区接电源的_____极,耗尽层变_____,_____运动加强。
6. PN 结击穿分为_____击穿和_____击穿。

解答:1. 单向导电性; 2. 电; 3. 漂移运动,扩散运动,电场,浓度差; 4. 空穴,电中性; 5. 正,窄,扩散; 6. 雪崩,齐纳。

二、选择题

1. PN 结加正向电压时,空间电荷区将_____。
A. 变窄 B. 基本不变 C. 变宽
2. 设二极管的端电压为 U ,则二极管的电流方程是_____。
A. $I_S e^U$ B. $I_S e^{U/U_T}$ C. $I_S (e^{U/U_T} - 1)$
3. 稳压管的稳压区是其工作在_____。
A. 正向导通 B. 反向截止 C. 反向击穿
4. 在本征半导体中加入_____元素可形成 N 型半导体,加入_____元素可形成 P 型半导体。
A. 五价 B. 四价 C. 三价
5. 当温度升高时,二极管的反向饱和电流将_____。
A. 增大 B. 不变 C. 减小
6. 当温度降低时,二极管的伏安特性曲线_____。
A. 左移 B. 右移 C. 不变

解答:1. A; 2. C; 3. C; 4. A, C; 5. A; 6. B。

三、判断题(正确者在括号内画√,错误者在括号内画×)

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. 因为 N 型半导体的多子是自由电子,所以它带负电。()
3. PN 结在无光照,无外加电压时,结电流为零。()

解答:1. √; 2. ×; 3. √。

四、问答题

1. 能否将 1.5V 的干电池以正向接法接到二极管两端？为什么？

解答：不能。因为二极管的正向电流与其端电压成指数关系，当端电压为 1.5V 时，管子会因电流过大而烧坏。

2. 电路如图 T1-1-1 所示，已知 $u_i = 10\sin\omega t$ (V)，试画出 u_i 与 u_o 的波形。设二极管正向导通电压可忽略不计。

解答：当 $u_i > 0$ 时，VD 导通， $u_o = u_i$ ；当 $u_i < 0$ 时，VD 截止， $u_o = 0$ ；

u_i 和 u_o 的波形如解图 T1-1-1 所示。

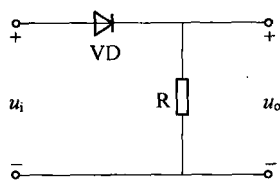
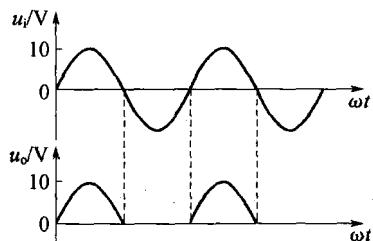


图 T1-1-1



解图 T1-1-1

3. 电路如图 T1-1-2 所示，已知 $u_i = 5\sin\omega t$ (V)，二极管导通电压 $U_D = 0.7V$ 。试画出 u_i 与 u_o 的波形，并标出幅值。

解答：二极管导通时端电压恒为 0.7V，截止时断开。

$u_i \geq (3 + 0.7)V$ ，VD₁ 导通，VD₂ 截止， $u_o = 3.7V$ ；

$u_i \leq -(3 + 0.7)V$ ，VD₁ 截止，VD₂ 导通， $u_o = -3.7V$ ；

$-3.7V < u_i < 3.7V$ ，VD₁、VD₂ 均截止， $u_o = u_i$ 。

由此，可得出波形如解图 T1-1-2 所示。

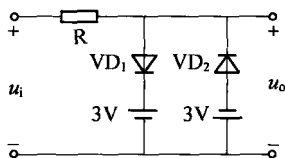
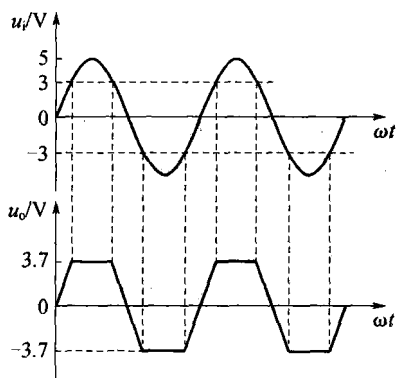


图 T1-1-2



解图 T1-1-2

总结：二极管在电路中的工作状态，可用以下方法判断：首先将二极管断开，然后确定二极管两端的电位差，如果正负极间的电位差为正且大于阈值电压（阈值电压一般取 0.7V；对理想二极管取 0V），则二极管导通，两端电压即为二极管的导通压降；如果电位差不大于 0，则二极管处于截止状态。

4. 电路如图 T1-1-3(a) 所示，其输入电压 u_{i1} 和 u_{i2} 的波形如图 T1-1-3(b) 所示，二极管导通电压 $U_{VD} = 0.7V$ 。试画出输出电压 u_o 的波形，并标出幅值。

解答： $u_{i1} = 0.3V$ ， $u_{i2} = 0.3V$ 时，VD₁、VD₂ 同时导通， $u_o = 0.3 + 0.7 = 1(V)$ ；

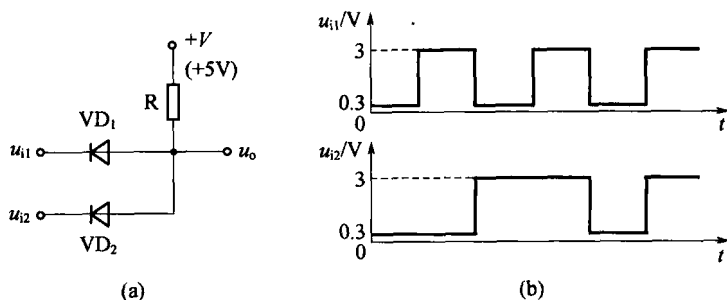


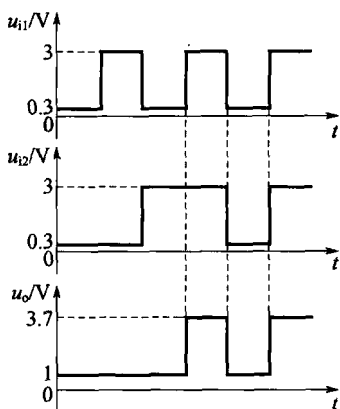
图 T1-1-3

$u_{i1} = 3V, u_{i2} = 0.3V$ 时, VD_1 截止, VD_2 导通, $u_o = 0.3 + 0.7 = 1(V)$;

$u_{i1} = 0.3V, u_{i2} = 3V$ 时, VD_1 导通, VD_2 截止, $u_o = 0.3 + 0.7 = 1(V)$;

$u_{i1} = 3V, u_{i2} = 3V$ 时, VD_1 导通, VD_2 导通, $u_o = 3 + 0.7 = 3.7(V)$ 。

由此可得出波形如解图 T1-1-3 所示。



解图 T1-1-3

总结: 电路中有多个二极管时, 则应假定所有二极管断开, 确定原来二极管所在位置两端的电位差, 再令正向电位差最大且大于阈值电压者优先导通, 并令两端电压为二极管导通压降, 然后重复以上过程, 判断其余二极管的工作状态。

5. 理想二极管电路如图 T1-1-4(a) 所示。

(1) 若输入电压为峰值等于 1V 的矩形波, 如图 T1-1-4(b) 所示, 试画出输出电压的波形。

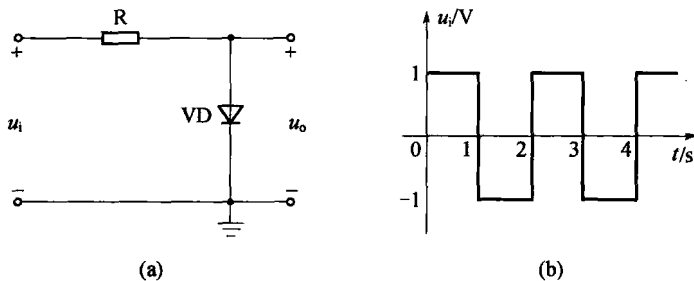


图 T1-1-4

(2) 如果输入电压是三角波,其峰值仍然是 1V,试问该电路的输出波形又将如何?

(3) 该电路所起的作用是嵌位、限幅还是削波?

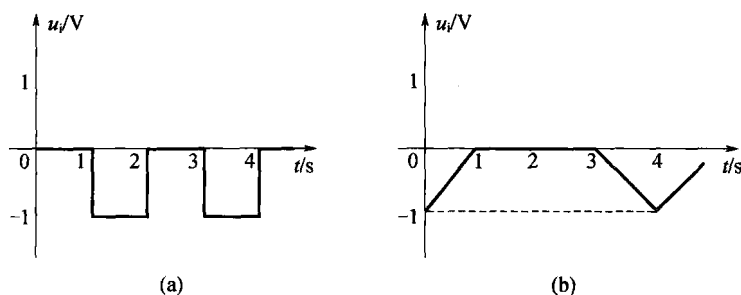
解答:当 $u_i > 0$ 时,二极管 VD 导通,输出电压为 $u_o = 0V$;

当 $u_i < 0V$ 时,二极管 VD 截止,输出电压为 $u_o = u_i$ 。

(1) 当输入电压为峰值等于 1V 的矩形波时,输出电压波形如解图 T1-1-4(a)所示。

(2) 输入电压是三角波时,输出电压波形如图解图 T1-1-4(b)所示。

(3) 由于输入信号的正半波被削去,因此该电路的作用是削波。



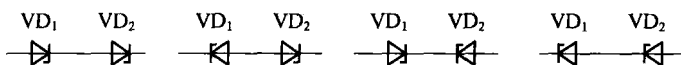
解图 T1-1-4

6. 现有两只稳压管,它们的稳定电压分别为 6V 和 8V,正向导通电压为 0.7V。试问:

(1) 若将它们串联相接,则可得到几种稳压值? 各为多少?

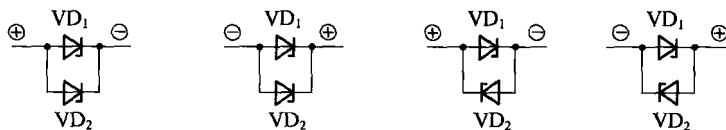
(2) 若将它们并联相接,则又可得到几种稳压值? 各为多少?

解答:(1) 两只稳压管串联时可得 1.4V、6.7V、8.7V 和 14V 四种稳压值,如解图 T1-1-5(a)所示。



解图 T1-1-5(a)

(2) 两只稳压管并联时可得 0.7V 和 6V 两种稳压值,如解图 T1-1-5(b)所示。



解图 T1-1-5(b)

7. 在图 T1-1-6 所示电路中,发光二极管导通电压 $u_{VD} = 1.5V$,正向电流为 5mA~15mA 时,才能正常工作。试问:

(1) 开关 S 在什么位置时,发光二极管才能发光?

(2) R 的取值范围是多少?

解答:(1) S 闭合。

(2) R 的范围:

$$R_{\min} = (V - u_{VD}) / I_{VD\max} \approx 233\Omega$$

$$R_{\max} = (V - u_{VD}) / I_{VD\min} = 700\Omega$$

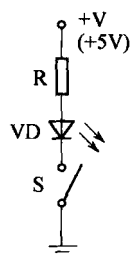


图 T1-1-6