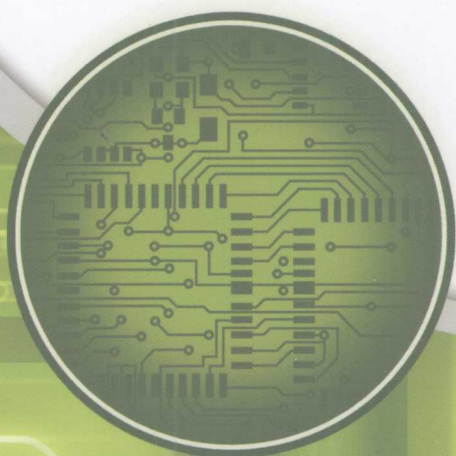


MONI DIANZI JISHU XUEXI ZHIDAO
YU JIETI SHILI

模拟电子技术学习指导 与解题实例

龚顺镒 金光 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

MONI DIANZI JISHU XUEXI ZHIDAO
YU JIETI SHILI

模拟电子技术学习指导 与解题实例

龚顺镒 金光 编



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书共有十章，主要内容包括半导体二极管及整流电路、半导体晶体管及基本放大电路、场效应晶体管及其电路、多级交流放大电路、差动放大电路及线性集成电路、放大电路中的反馈、正弦波振荡电路、集成运算放大器的应用、集成功率放大器及集成稳压器的应用以及晶闸管电路等。

本书按照“内容要点和基本概念、学习要求、解题实例、自测题目”的形式进行编写，搜集了大量题目并给出了详细分析、解题方法，加强了对基本理论的理解。

本书可作为高职高专院校电气类、自动化类、机电类、电子电工类，以及相关强、弱电结合专业的师生学习、参考用书，也可作为中专学校相应专业的师生及从事电子技术工作的人员使用。

图书在版编目 (CIP) 数据

模拟电子技术学习指导与解题实例/龚顺镒，金光编.
北京：中国电力出版社，2009
ISBN 978-7-5083-8224-1

I. 模… II. ①龚…②金… III. 模拟电路-电子技术-高等学校-教学参考资料 IV. TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 202353 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
北京市同江印刷厂印刷
各地新华书店经售

2009 年 5 月第一版 2009 年 5 月北京第一次印刷
787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.75 印张 282 千字
印数 0001--3000 册 定价 23.00 元

敬告读者

本书封面贴有防伪标签，加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题，我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

电子技术基础是电子类（电子、自动化等）各专业的主干课程。由于模拟电子电路内容广泛而复杂，不易分析掌握，尤其对在读大学生、中专学生及自学者来说，分析解答习题的困难更多。为了帮助学生巩固基本概念，加深理解基本原理，掌握基本分析方法，编者参照全国高职院校电子类专业用“模拟电子技术”理论教学大纲，结合多年来的教学实践，编写了《模拟电子技术学习指导与解题实例》，作为学习本课程的参考书。同时，可作为教师参考之用。本书概括了本课程各章的重点，提出了解题的基本方法，指出解题的技巧和解题的关键，以帮助学生打开解题的思路。期望读者通过本实例的解题，能更好地掌握本课程的基本内容，达到提高分析问题和解决问题能力的目的。

本书共分十章：半导体二极管及整流电路；半导体晶体管及基本放大电路；场效应晶体管及其电路；多级交流放大电路；差动放大电路及线性集成电路；放大电路中的反馈；正弦波振荡电路；集成运算放大器的应用；集成功率放大器和集成稳压器的应用以及晶闸管电路。每章均按“内容要点和基本概念、学习要求、解题实例和自测题目”的形式进行编排；解题以概念和分析计算为主；自测题目的形式有判断、填空、问答、分析计算等。在解题过程中，着重强调基本理论和方法，有的例题用了两种解法，以扩大知识面，提高灵活解题的能力。本书可作为“模拟电子技术”课程同步学习使用，还收入了一些实践分析性的题目和扩展性的题目，供学习参考。本书讲解原理准确、概念清楚、分析通顺，不失为一本好的学习参考书。

本书由龚顺镒、金光编写，高级讲师万其松主审。万老师认真审阅了全部初稿，指出了初稿中的不妥之处，并提出了许多宝贵意见，同时本书在编写过程中，陈杰伦、陈介民、董诗荣、庞文娟、陈蓉、龚天兵、陈薇、门建伟做了大量的资料收集整理工作，在此一并表示诚挚的谢意。

由于编者水平所限，书中难免存在错误和缺点，殷切期望读者多提宝贵意见，并批评指正，以便于本书的修订。

编者

2009.2

目 录

模拟电子技术学习指导与解题实例

前言

第一章 半导体二极管及整流电路	1
一、内容要点和基本概念	1
二、学习要求	2
三、解题实例	3
四、自测题目	11
第二章 半导体晶体管及基本放大电路	16
一、内容要点和基本概念	16
二、学习要求	21
三、解题实例	21
四、自测题目	44
第三章 场效应晶体管及其电路	51
一、内容要点和基本概念	51
二、学习要求	52
三、解题实例	52
四、自测题目	59
第四章 多级交流放大电路	62
一、内容要点	62
二、学习要求	64
三、解题实例	64
四、自测题目	78
第五章 差动放大电路及线性集成电路	82
一、内容要点和基本概念	82
二、学习要求	83
三、解题实例	84
四、自测题目	98
第六章 放大电路中的反馈	101
一、内容要点和基本概念	101
二、学习要求	103
三、解题实例	103
四、自测题目	116
第七章 正弦波振荡电路	120

一、内容要点和基本概念	120
二、学习要求	121
三、解题实例	121
四、自测题目	127
第八章 集成运算放大器的应用	130
一、内容要点和基本概念	130
二、学习要求	132
三、解题实例	132
四、自测题目	150
第九章 集成功率放大器和集成稳压器的应用	157
一、内容要点和基本概念	157
二、学习要求	157
三、解题实例	158
四、自测题目	164
第十章 晶闸管电路	168
一、内容要点和基本概念	168
二、学习要求	170
三、解题实例	170
四、自测题目	177

第一章

半导体二极管及整流电路



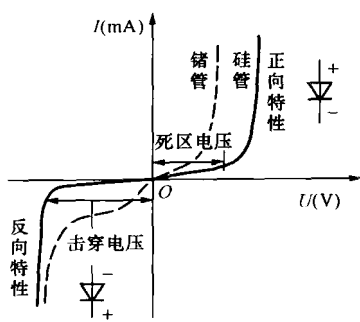


图 1-1 二极管的伏安特性曲线

伏安特性曲线（见图 1-1）形象地反映了二极管的基本特性，即：①电阻是非线性的，称为变阻特性；②导电是单向导电的，称为单向导电性；③对温度是敏感的，称为热敏特性以及反向击穿特性。因此主要用于整流、开关、检波和波形变换电路中。

（2）主要参数为最大整流电流 I_F ，最大反向电压 U_{RM} 和反向（饱和）电流 $I_R = -I_S$ 。

（3）电容效应：二极管除了具有单向导电性外，还具有电容效应；工作频率越高电容效应越明显。

（四）整流滤波电路

（1）整流是利用二极管的单向导电性，将交流电压变成单向脉动的直流电压。因此分析整流电路时，只要抓住二极管正向导通、反向截止的特点，就能分析清楚。

整流电路可分为半波、全波、桥式整流电路和倍压整流电路。整流电路的性能指标包括外特性、直流输出电压、直流输出电流、纹波（或脉动）系数等。

（2）滤波电路是用电容、电阻、电感等元件组成滤波器连接在整流电路和负载之间，滤掉交流分量平滑脉动直流电压。

特种二极管，因有特殊的伏安特性，所以有不同于普通二极管的用途。如稳压管、发光二极管、光电二极管、变容二极管等。

二、学 习 要 求

（1）搞清自由电子与空穴、多子与少子、扩散与漂移、耗尽区与结电阻、二极管的正偏与反偏等物理概念。

（2）深刻理解 PN 结的单向导电特性，它是构成各种半导体器件的基础。

（3）掌握二极管的伏安特性曲线的物理意义及温度特性，要记住二极管的直流电阻和交流电阻是不一样的。

（4）掌握整流、滤波电路的工作原理及分析计算方法，记住整流、滤波电路的性能指标，见表 1-1。

表 1-1 单相整流、滤波电路的性能指标（比较）

整 流 电 路 形 式 参 数	单相半 波电路	单相全 波电路	单相桥 式电路	n 倍压 整流电路	半波电容 滤波电路	全波（桥式） 电容滤 波电路	桥式电 感滤波 电路
输入交流电压 （有效值）	U_2	$U_2 + U_2$	U_2	U_2	U_2	$U_2 + U_2$ (U_2)	U_2
输出电压的 平均值 $U_{O(av)}$	$0.45U_2$	$0.9U_2$	$0.9U_2$	$n \times 1.2U_2$	$(1 \sim 1.2)U_2$ 取 U_2	$(1.1 \sim 1.4)U_2$ 取 $1.2U_2$	$0.9U_2$
输出电流的 平均值 $I_{O(av)}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$	$\frac{U_{O(av)}}{R_L}$

续表

整流电路形式 参 数	单相半波电路	单相全波电路	单相桥式电路	n 倍压整流电路	半波电容滤波电路	全波(桥式)电容滤波电路	桥式电感滤波电路
流过二极管电流的平均值 $I_{D(av)}$	$I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{O(av)}$	$I_{O(av)}$	$I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{O(av)}$
流过二极管的最大电流 I_{Dm}	$\pi I_{D(av)}$ $=3.14 I_{O(av)}$	$\pi I_{D(av)}$ $=1.57 I_{O(av)}$	$\pi I_{D(av)}$ $=1.57 I_{O(av)}$	$\pi I_{D(av)}$	$\pi I_{D(av)}$	$\pi I_{D(av)}$	$\pi I_{D(av)}$
流过二极管的电流有效值 I_D	$\frac{1}{2} I_{Dm}$ $=1.57 I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{Dm}$ $=0.785 I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{Dm}$ $=0.785 I_{O(av)}$	$1.57 I_{O(av)}$	$1.57 I_{O(av)}$	$0.785 I_{O(av)}$	$0.785 I_{O(av)}$
二极管承受的最大反向电压 U_{Rm}	$\sqrt{2} U_2$	$2\sqrt{2} U_2$	$\sqrt{2} U_2$	$2\sqrt{2} U_2$	$2\sqrt{2} U_2$	$2\sqrt{2} U_2$ ($\sqrt{2} U_2$)	$\sqrt{2} U_2$
输出电压的脉动系数 $S = \frac{U_{o1m}}{U_{O(av)}}$	1.57	0.67	0.67	当 $n=3$ 时为 0.06		通常为 0.33	
变压器二次侧电流有效值 I_2	$\frac{1}{2} I_{Dm}$ $=1.57 I_{O(av)}$	$\frac{1}{2} I_{Dm}$ $=0.785 I_{O(av)}$	$\frac{1}{\sqrt{2}} I_{Dm}$ $=1.11 I_{O(av)}$	$2.8 I_{O(av)}$	$2.2 I_{O(av)}$	$1.25 I_{O(av)}$ [取 $1.8 I_{O(av)}$]	$0.707 I_{O(av)}$

(5) 熟悉滤波电路的外特性, 会按要求选用二极管和滤波电容器, 并会分析电路的故障。选择时, 二极管的最大整流电流 $I_F > 2I_D$; 二极管最高反向工作电压 $U_{Rm} > U_{Dm}$ 。对半波整流电路电容滤波 $C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{R_L} = (3 \sim 5) \frac{0.02}{R_L}$; 对全波整流电路电容滤波 $C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2R_L} = (3 \sim 5) \frac{0.01}{R_L}$ 。

(6) 了解倍压整流电路的特点和工作原理。倍压整流电路广泛应用于 X 光机、静电复印机、电视机、静电除尘器、电子显微镜等。

三、解 题 实 例

【例 1-1】 解释下列名词: 空穴、N 型半导体、P 型半导体、施主杂质、受主杂质。

答: 空穴: 半导体元素(原子)中价电子因热运动脱离共价键束缚成为自由电子后, 在原来的共价键位置上就留下一个空位, 这个空位叫空穴。

N 型半导体: 其是在硅单晶体中掺入微量的五价元素(磷或砷), 由于多余电子的存在, 大大加强了半导体的导电性能, 它以自由电子导电为主, 称为 N 型半导体。由于掺杂原子可以提供自由电子, 所以称它为施主杂质。

P 型半导体: 其是在硅单晶体中掺入微量的三价元素(硼或镉), 组成共价键时少一个电子而出现空穴, 它以空穴导电为主, 称为 P 型半导体。由于掺杂原子起接受电子的作用, 所以称它为受主杂质。

【例 1-2】 比较本征半导体、N 型半导体、P 型半导体产生载流子的方式有何不同? 什么叫多数载流子和少数载流子?

答：本征半导体是纯净的半导体，它们的原子组合是共价键结构，在一定温度下，共价键中的电子由于热激发，就有少数的价电子摆脱共价键的束缚而成为自由电子；与此同时，在原来的共价位置上就留下一个空位，即空穴。可见本征半导体中电子和空穴是成对地产生的，自由电子和空穴都是载流子。这是区别导体的一个主要特点，但是它的导电能力远远不如金属导体强。

N 型半导体和 P 型半层体产生载流子的方式与本征半导体基本相同，受热激发后产生自由电子和空穴；所不同的是 N 型半导体中由于掺杂产生大量的自由电子与本征激发产生的电子数之和远大于空穴，因此在 N 型半导体中，电子占优势，是“多数载流子”，空穴是“少数载流子”。而在 P 型半导体中，由于掺杂产生大量的空穴，同样本征激发产生少量的“电子—空穴对”，所以空穴是“多数载流子”，而自由电子是“少数载流子”。

【例 1-3】 扩散电流是什么载流子，在什么作用下形成的呢？漂移电流呢？

答：扩散电流是多数载流子运动的结果。由于 P 型半导体和 N 型半导体结合在一起，在 PN 结界面两边的多子就存在浓度差，故产生多子的扩散运动。但在掺杂半导体中，还有少量的“少子”，例如 P 型的“少子”是电子，在内电场的作用下，就很容易从 P 区漂移到 N 区，而 N 区的“少子”是空穴，在内电场作用，就很容易从 N 区漂移到 P 区，这样的载流子运动，称为漂移运动。故漂移电流是少数载流子运动的结果。

【例 1-4】 把一个 1.5V 的干电池与二极管直接反向连接行不行？直接正向连接行不行？为什么？若二极管的反向饱和电流 $I_S = 10\mu\text{A}$ ， $U_T = 26\text{mV}$ 。试计算将有多大正向电流通过？是否与实际情况相符？

答：反向连接可以，但正向连接不行，因为电流会很大。正向电流 $I = I_S (e^{\frac{U}{U_T}} - 1)$ A，在常温下，将已知 $U = 1.5\text{V}$ 代入式中，得

$$I = 10 \times 10^{-6} (e^{\frac{U}{U_T}} - 1) = 10 \times 10^{-6} e^{\frac{1500}{26}} (\text{A})$$

$$\lg I = \lg 10 - 6 + \frac{1500}{26} \times \lg e$$

$$= 1 - 6 + \frac{1500}{26} \times 0.434 = 20$$

所以

$$I = 10^{20} \text{ A}$$

实际上，二极管的内阻、引线电阻以及电池的内阻都起限流作用，所以电流不会这样大，但无论如何将造成二极管烧坏。

【例 1-5】 在用万用表测量二极管的正向电阻时，常发现用不同的欧姆挡测出的电阻

值并不相同。用 $\Omega \times 10$ 挡测出的电阻小，用 $\Omega \times 1\text{k}$ 挡测出的电阻大，这是什么道理？（提示：结合二极管的正向特性来分析）

答：由于二极管的端电压与电流关系不成正比，所以当不同的电流流过二极管时，二极管两端的电压和电流的比值（电阻）也不同。用万用表测量二极管所构成的电路如图 1-2 (a) 所示， R 为电表的内

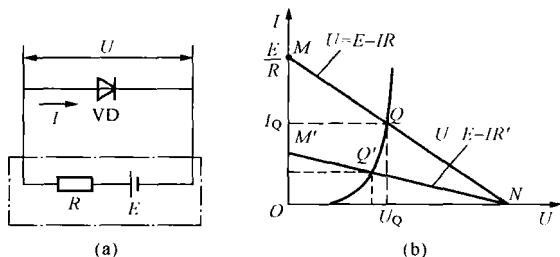


图 1-2 例 1-5 图

(a) 万用表测试二极管电路；(b) $I-U$ 伏安特性图

阻, E 视为万用表为等效电源电动势。

从电路图 1-2 (a) 可知, 二极管外电路的电压 U 和电流 I 的关系为 $I = \frac{E-U}{R}$, 其伏安特性曲线是一直线 MN , 如图 1-2 (b) 所示。改变 (增大) 电表的内阻 R 为 R' , 回路中的电流为 $I' = \frac{E-U}{R'}$ (减少), 其伏安特性曲线是直线 $M'N$; 而二极管的伏安特性则是一条曲线, 见图 1-2 (b) 中的曲线 OQ 。电路中的电流 I 和电压 U 必须同时满足这两部分的伏安特性, 则它们的交点 Q , 是所对应的电压与电流值之比, 就是万用表测得的电阻值 $R_D = \frac{U_Q}{I_Q}$ 。

用 $\Omega \times 10$ 挡测量时, I_Q 越大, 万用表读数为 $\frac{U_Q}{I_Q} = R_D$ 越小。用 $\Omega \times 1k$ 挡测量时, 电表内阻大, 电流小, 两条线交于图中 Q' 点, 万用表读数为 $\frac{U_Q}{I_{Q'}} = R'_D$, 则较大。

显然, 欧姆挡不同, Q 点位置及测出的电阻值 R_D 也不同。

【例 1-6】 二极管电路如图 1-3 所示, 判断图中的二极管是导通还是截止, 并求出 AO 两端的电压 U_{AO} 。

答: 在电路中, 若二极管的正向压降小于与串联电压的 $1/10$, 则可用理想伏安特性分析, 即正向电压为零 (短路), 反向电压截止 (开路)。图

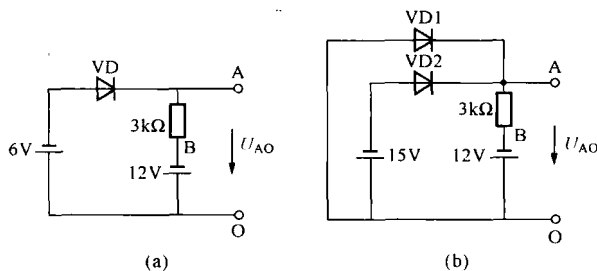


图 1-3 例 1-6 图

1-3 (a) 中设 O 点为公共参考点, 二极管正极电位 $-6V$, R 的一端 B 点接 $-12V$, 所以二极管 VD 是正偏 (导通), $U_{AO} = -6V$ 。同理, 图 1-3 (b) 中 VD1 导通, VD2 截止, $U_{AO} = 0$ 。利用二极管的导通与截止, 接通或断开电路, 相当于开关, 所以称这种电路为开关电路。

【例 1-7】 在图 1-4 电路中, $E_R = 3V$, $U_i = 6\sin\omega t$ 的正弦电压, 二极管的正向压降和反向漏电流可以忽略不计, 试判断各电路的输出电压 U_o 波形。

解: 首先写出二极管的导通条件, 导通时 $E_R > U_i$ 。电路图 1-4 (a) 的输出电压波形为

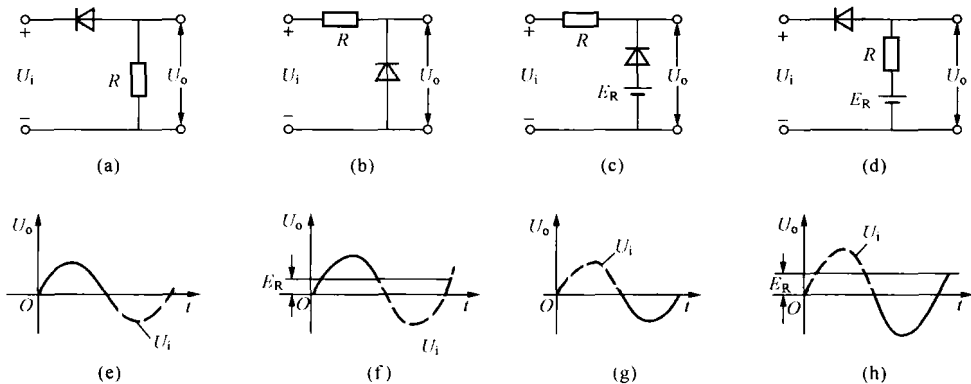


图 1-4 例 1-7 图

图 1-4 (g); 图 1-4 (b) 的输出电压波形为图 1-4 (e); 图 1-4 (c) 的输出电压波形为图 1-4 (f); 图 1-4 (d) 的输出电压波形为图 1-4 (h) 所示。利用二极管的导通与截止, 只把输入波形的一部分传输到输出端, 而对另一部分波形加以限制, 使波形修整, 这种电路称为整形电路或限幅电路。

【例 1-8】 如图 1-5 所示电路中, 设 A、B 两端电位在左表中所列的 4 种情况下, 二极管 VD1 和 VD2 是导通还是截止? 并判断 P 端电位, 填入表中 (略去二极管的正向电压), 并计算各元件 (R、VD1、VD2) 中通过的电流。

U_A	U_B	U_P
+3V	+3V	
+3V	0V	
0V	+3V	
0V	0V	

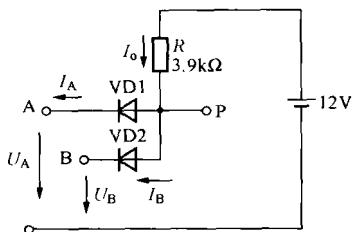


图 1-5 例 1-8 图

解: (1) 当 $U_A = U_B = +3$ (V), VD1、VD2 导通, 则 $U_P = 3$ (V),

$$I_o = \frac{12 - 3}{3.9} = 2.3(\text{mA}), I_A = I_B = \frac{1}{2} I_o = 1.15(\text{mA})$$

(2) 当 $U_A = +3\text{V}$, $U_B = 0$, VD2 导通, VD1 截止, 则 $U_P = 0$,

$$I_o = \frac{12}{3.9} = 3.1(\text{mA}), I_A = 0, I_B = I_o = 3.1(\text{mA})$$

(3) 当 $U_A = 0$, $U_B = 0$, VD1、VD2 导通, 则 $U_P = 0$,

$$I_o = \frac{12}{3.9} = 3.1(\text{mA}), I_A = I_B = \frac{1}{2} I_o = 1.55(\text{mA})$$

【例 1-9】 一个二极管工作在正向接法, 是否也有稳压作用? 把稳压值分别为 6V 和 8V 的两个稳压管串联, 可以得到几种稳压值?

答: 根据二极管的正向伏安特性, 具有一定的稳压作用, 稳压值低于 1V, 但是稳压性能较差。利用硅二极管的反向击穿特性来作为稳定直流电压之用的就是稳压管。

两个稳压管串联可以有 4 种形式, 如图 1-6 所示, 可以得到 14、8.7、6.7V 和 1.4V 等 4 种稳压值。硅二极管的正向电压降为 0.7V。

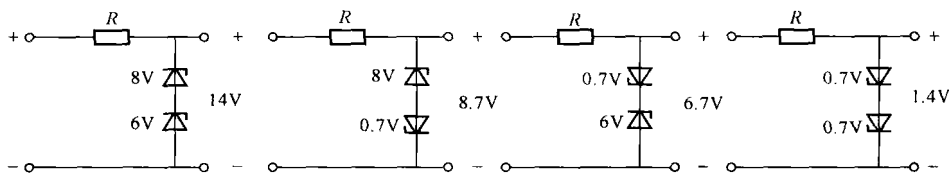


图 1-6 例 1-9 图

【例 1-10】 试说明图 1-7 (a)、(b) 各是什么整流电路? 若不考虑变压器内阻和二极管的正向内阻, 写出 R_L 两端的电压平均值和每个二极管中流过的平均电流的公式。二极管

的耐压至少是多大?

解: 图 1-7 (a) 为桥式整流电路, 图 1-7 (b) 也是桥式整流电路。\$R_L\$ 两端的电压平均值 \$U_o = 0.9U_2\$, 每个管子中流过的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_o = 0.45 \frac{U_2}{R_L}$$

二极管的耐压至少为 \$U_{2m}\$。

【例 1-11】 电路同图 1-7 (a), 输入交流电压的有效值为 \$U_2 = 30\text{V}\$, 二极管的正向平均压降为 \$1\text{V}\$, 变压器二次绕组的内阻压降为 \$1.5\text{V}\$, \$R_L = 100\Omega\$。计算直流输出电压 \$U_o\$ 和电流 \$I_o\$ 及变压器二次功率 \$P_2 = U_2 I_2\$。

解: 考虑整流二极管的正向平均压降和变压器的内压降后, 直流输出电压为

$$U_o = 0.9U_2 - (2 \times 1 + 1.5) = 27 - 3.5 = 23.5(\text{V})$$

$$I_o = \frac{U_o}{R_L} = \frac{23.5}{100} = 0.235(\text{A})$$

有效值

$$I_2 = 1.11 I_o = 1.11 \times 0.235 = 0.26(\text{A})$$

所以

$$P_2 = U_2 I_2 = 30.7 \times 0.26 = 8.5(\text{W})$$

【例 1-12】 图 1-8 (a) 是能输出两种整流电压的双向全波整流电路, 试分析各个二极管的导电情况, 标出 \$U_{o1}\$ 和 \$U_{o2}\$ 的对地极性。并计算出 \$U_{21} = U_{22} = 20\text{V}\$ (有效值) 时 \$U_{o1}\$ 和 \$U_{o2}\$ 各是多少? 如果 \$U_{21} = 22\text{V}\$, \$U_{22} = 18\text{V}\$, 画出 \$U_{o1}\$ 和 \$U_{o2}\$ 的波形, 并计算每个二极管的最大反向峰值电压将各为多少?

解: 图 1-8 (a) 为两组单相全波整流电路。当 \$U_2\$ 的极性是 a 端为正, b 端为负时, 这时 VD1 和 VD3 导通, VD2、VD4 截止; 当 \$U_2\$ 的极性反过来, 即 a 端为负, b 端为正时, 这时 VD2 和 VD4 导通, VD1 和 VD3 截止。VD1、VD3 输出 \$U_{o1}\$ 对地极性为正; VD2、VD4 输出 \$U_{o2}\$ 对地极性为负。

(1) 当 \$U_{21} = U_{22} = 20\text{V}\$ 时, \$U_{o1} = U_{o2} = 0.9 \times 20 = 18(\text{V})\$, 极性如图 1-8 (a) 所示。

(2) 当 \$U_{21} = 22\text{V}\$、\$U_{22} = 18\text{V}\$ 时, a 端正, \$U_{21}\$ 正极性, VD1 导通, 则 \$U'_{o1} = 22 \times 0.45 = 9.9(\text{V})\$。

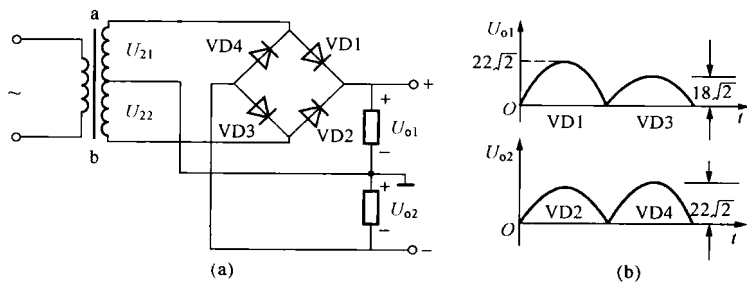


图 1-8 例 1-12 图

(a) 电路图; (b) 波形图

U_{22} 正极性, VD3 导通, 则

$$U'_{o2} = 18 \times 0.45 = 8.1(\text{V})$$

VD1、VD3 导通, $U_o = (22+18) \times 0.9 = 36(\text{V})$

b 端正, U_{22} 下端正极性, VD2 导通, 则

$$U''_{o2} = 18 \times 0.45 = 8.1(\text{V})$$

U_{21} 下端正极性, VD4 导通, 则

$$U''_{o1} = 22 \times 0.45 = 9.9(\text{V})$$

VD2、VD4 导通, $U_o = (22+18) \times 0.9 = 36(\text{V})$

得 $U_{o1} = U'_{o1} + U'_{o2} = 0.45(22+18) = 18(\text{V})$

$$U_{o2} = U''_{o2} + U''_{o1} = 0.45(22+18) = 18(\text{V})$$

U_{o1} 和 U_{o2} 波形如图 1-8 (b) 所示。

每个管子的反峰电压为

$$U_{Rm} = (22+18)\sqrt{2} = 56(\text{V})$$

【例 1-13】 在图 1-9 中, U_o 值应近似为①10V () ; ②15V () ; ③24V () 。将你认为正确的答案用对号“✓”填在括号内, 并画出 $\dot{U}_{21}$ 、输出电压 $+\dot{U}_o$ 、通过二极管的电流 i_D 和电压 $\dot{U}_D$ 的波形 (需与 U_{21} 对应)。

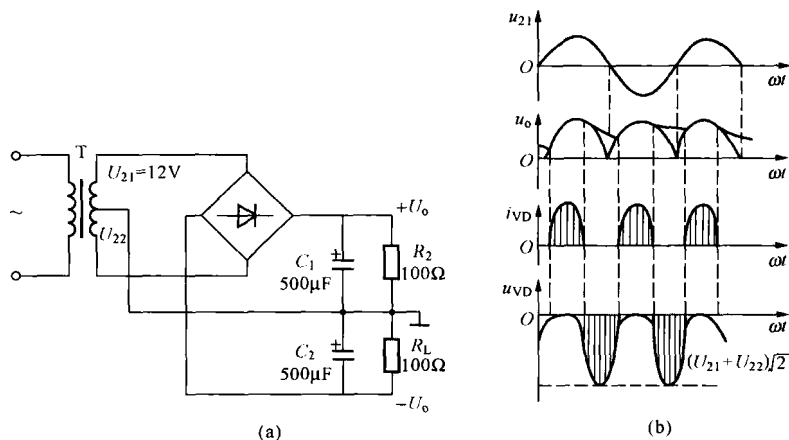


图 1-9 例 1-13 图

(a) 电路图; (b) 波形图

解: U_{21} 输出是半波整流电容滤波电路, 波形图见 1-9 (b)。

【例 1-14】 在图 1-10 (a) 的桥式整流电路中, 如果 $U_2 = 12\text{V}$, 并将 R_L 换成一个 12V 的蓄电池, 其极性为上正下负。试说明这时是否有向蓄电池充电的电流 (如果有)。画出这个电流的波形 (需与 U_2 对应)。

解: 当 $U_2 = 12\text{V}$ (有效值), 负载 R_L 上将得到全波整流波形 U_o , 这个波形的最大值是

$$U_{om} = \sqrt{2} \times 12 = 17(\text{V})$$

该值大于 12V, 故有电流向电池充电。电流的波形如图 1-10 (b) 所示。

【例 1-15】 在图 1-11 的桥式整流电容滤波电路中, 用交流电压表测量 $U_2 = 20\text{V}$, R_L 的标称值为 40Ω , C 的标称值为 $1000\mu\text{F}$ 。现在如果用直流电压表测量 R_L 两端的电压 (记作 U_o), 出现下列几种情况时, 试分析哪些是合理的, 哪些表明出了故障, 并指出原因。

- (1) $U_o = 28\text{V}$; (2) $U_o = 18\text{V}$; (3) $U_o = 24\text{V}$; (4) $U_o = 9\text{V}$ 。

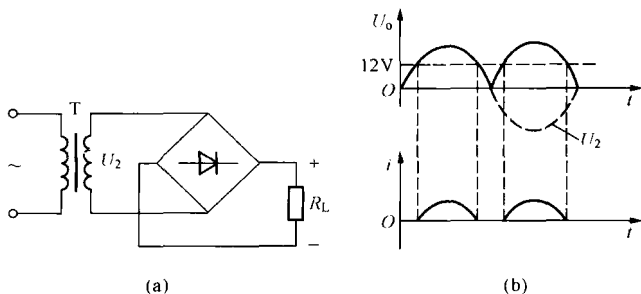


图 1-10 例 1-14 图
(a) 电路图; (b) 波形图

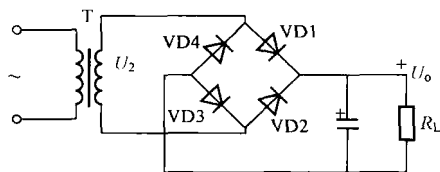


图 1-11 例 1-15 图

解: 根据 U_o 与 U_2 的关系来检查, $U_o = 1.2U_2$ 。

- (1) $U_o = 28\text{V}$ 是 U_2 的峰值, 说明 R_L 未接入;
 (2) $U_o = 18\text{V}$ 是 U_2 的 0.9 倍, 是属全波整流, 说明 C 可能未接入或脱焊;
 (3) $U_o = 24\text{V}$ 是 U_2 的 1.2 倍, 是属正常工作情况;
 (4) $U_o = 9\text{V}$ 时, 是 U_2 的 0.45 倍, 正好是半波整流, 说明 C 开路, 同时有一个二极管开路 (烧坏)。

综合以上讨论, 对单相整流电容滤波电路工作情况的分析, 可根据常用负载上电压平均值 U_o 来确定故障可能发生的部位。

【例 1-16】 比较图 1-12 所示的三种滤波电路的优缺点, 并说明它们各适用于什么场合?

解: 图 1-12 (a) 为电容滤波电路, 滤波效果较好, 但外特性较差 (软)。电源接通瞬间充电电流大, 只适用于负载电流较小或负载电流基本不变的场合。

图 1-12 (b) 为 π 形电阻电容滤波电路, 滤波效果好, 结构简单经济, 能兼起降压、限流作用。但输出电流较小, 适合于负载电流较小的场合。

图 1-12 (c) 为电感电容滤波电路, 整流管冲击电流小, 输出电流较大, 带载能力强, 滤波效果好。但电感线圈体积大、成本高, 适合于负载变动大, 负载电流较大的场合。

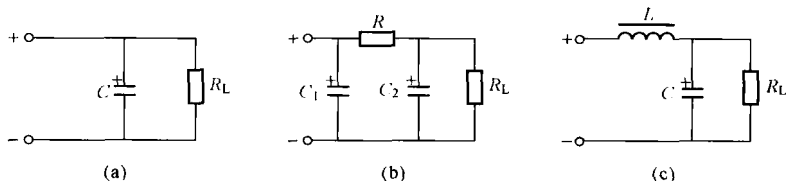


图 1-12 例 1-16 图

【例 1-17】 设计图 1-11 所示的桥式整流电容滤波电路, 要求输出电压 U_o 为 20V, 负载 R_L 所需要的电流 I_L 为 600mA, 交流电源电压为 220V、50Hz。

解: (1) 选择整流二极管。通过每个二极管的平均电流为

$$I_D = \frac{1}{2} I_L = \frac{1}{2} \times 600 = 300(\text{mA})$$

有载时的直流输出电压为

$$U_o = 1.2U_2$$

变压器二次电压

$$U_2 = \frac{U_o}{1.2} = \frac{20}{1.2} = 16.7(\text{V})$$

每个二极管承受的反峰电压

$$U_{Rm} = \sqrt{2}U_2 = \sqrt{2} \times 16.7 = 23.5(\text{V})$$

因此, 可选用 4 只二极管 2CZ55B 或选用桥堆型 QL6B (查阅手册), $I_F = 1000\text{mA}$, $U_{RN} = 50\text{V}$ 。

(2) 确定滤波电容。一般取

$$R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$$

式中, $T = \frac{1}{50}$ 为交流电压的周期。

取

$$R_L C = 5 \times \frac{T}{2} = 0.05 (\text{s})$$

负载电阻

$$R_L = \frac{U_o}{I_L} = \frac{20\text{V}}{600\text{mA}} = 33(\Omega)$$

所以滤波电容

$$C = \frac{0.05}{33} \times 10^6 = 1515(\mu\text{F})$$

电容耐压取 $1.5U_{Rm}$, 则为 $1.5 \times 23.5 = 35.75 (\text{V})$, 故选用标称电容为 $1500\mu\text{F}$, 耐压 50V 的电解电容器。

(3) 对变压器的要求。因为 $U_2 = 16.7 (\text{V})$, 考虑到绕组压降提高 5%, 管压降 2V, 所以

$$U_2 = 1.05 \times 16.7 + 2 = 19.6(\text{V})$$

变压器二次侧的电流 $I_2 \approx (1.5 \sim 2) I_L$, 取 $I_2 = 1.8I_L = 1.8 \times 600 = 1080 (\text{mA})$, 所以

$$P_2 = U_2 I_2 = 19.6 \times 1.08 = 21.1(\text{W})$$

所以选变压器 220/20V, 25W。

【例 1-18】 试分析图 1-13 整流电路的工作原理, 并指出输出电压与输入电压的关系。

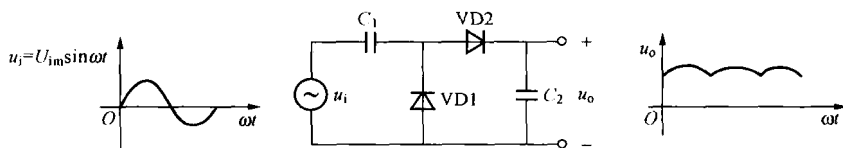


图 1-13 例 1-18 图

解：此电路为二倍压整流电路，输入电压为正半周时，VD1 导通， C_1 充电到 $U_{C1} = U_{im}$ ；负半周时，VD2 导通，VD1 截止， U_{C1} 与 U_{im} 的极性一致，它们共同向 C_2 充电到 $2U_{im}$ ，因为 $U_{C1} + U_{im} = 2U_{im}$ 。所以输出电压 $U_{om} = 2U_{im}$ 。

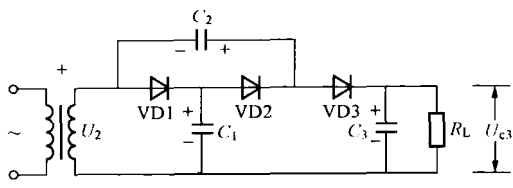


图 1-14 例 1-19 图

【例 1-19】 试分析图 1-14 所示的电路

为几倍压整流电路，标出各电容两端电压和极性。已知 $U_{2m} = 100V$ ，估算 U_{C3} 。

答： U_2 的第一个半周时的极性如图 1-14 所示。VD1 导通，对电容 C_1 充电到 U_{2m} ，当 U_2 极性相反时，VD1 截止，VD2 导通，电容 C_1 的电压 U_{2m} 与电源极性相同，它们共同的 C_2 充电到 $2U_{2m}$ 。在第三个半周时， U_2 的极性又如图 1-14 所示，这时 VD1 导通， C_2 的电压 $2U_{2m}$ 使 VD2 截止，VD3 导通， U_2 加上 C_2 的电压 $2U_{2m}$ 向 C_3 充电，到 $3U_{2m}$ ，这时获得三倍的直流输出电压，即 $U_{C3} = 3U_{2m}$ 。当电路接有负载 R_L 时的输出电压 $U_{C3} = 3 \times 1.2U_2$ 。

得出：这种倍压整流电路中，每个二极管所承受的最大反向电压为 $2U_{2m}$ ；电容器 C_1 、 C_2 、 C_3 上承受的电压分别为 U_{2m} 、 $2U_{2m}$ 和 $3U_{2m}$ ，逐步增加。

四、自 测 题 目

1-1 填空题

- (1) 载流子是_____，金属导体中的载流子是_____，半导体中的载流子是_____。
- (2) 在本征半导体中，掺入微量的三价硼元素将产生_____载流子，形成_____型半导体，硼原子称为_____原子。
- (3) 所谓正偏置，是将 P 区接电源_____极，N 区接电源_____极。在正向偏置作用下，PN 结_____。
- (4) 晶体二极管按制造材料不同可分为_____和_____两种，按用途不同可分为_____、_____、_____等。
- (5) 硅二极管在导通时的工作电压约为_____V，锗二极管的正向压降约为_____V。
- (6) 当硅二极管承受的正向电压小于_____时，二极管不导通，把这个区域称为_____区。
- (7) 在整流电路中， U_o 表示_____， U_2 表示_____， U_{RM} 表示_____， I_f 表示_____， I_D 表示_____。
- (8) 常用的单相整流电路有_____、_____、_____、_____。
- (9) 在桥式整流滤波电路中，已知变压器二次输出电压 $U_2 = 10V$ ，若负载 R_L 断开时， $U_L =$ _____V；电容 C 断开时， $U_L =$ _____V；一只二极管与电容 C 均断开时， $U_L =$ _____V。
- (10) 滤波电路有_____、_____、_____、_____、_____，它们的作用是_____，滤波电容与负载_____联，滤波电感和负载_____联。在大电流工作场合，宜采用_____滤波。