

电子技术(电工学II)

理论纲要与典型题精解

王居荣 杨国建 主编

- 涵盖课程全部基础
- 129道典型题精解导学
- 迅速提高解题能力
- 备考应试的最佳参考书
- 自学省时高效的理想辅助教材
- 教师必备的教学经典

哈尔滨工业大学出版社

电子技术(电工学Ⅱ)
理论纲要与典型题精解

王居荣 杨国建 主编

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

本书以教育部颁发的“高等工业学校电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”为依据,全面涵盖国内统编教材和高等学校优秀教材的基础内容并与之同步。本书以章为单位,总结精炼电子技术的理论纲要,选定各类典型题目,给出精确答案和要点提示;可以帮助学生更好地掌握电子技术的基本原理,迅速提高解题能力,有力地保证课程学习时开卷有益,激发学生自己的解题潜能,更能保证备考应试达到一个新的高度。

本书是高等学校本科非电类各专业学生学习电工学的辅导教材和考研应试的参考书,还可供相关教师和工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

电子技术(电工学Ⅱ)理论纲要与典型题精解/王居荣,
杨国建主编. — 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2005.7

ISBN 7-5603-2186-0

I. 电… II. ①王…②杨… III. ①电子技术-高等学校-
教学参考资料②电工学-高等学校-教学参考资料 IV. TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 086891 号

出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006
传 真 0451-86414749
网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>
印 刷 黑龙江省教育厅印刷厂
开 本 787×1092 1/32 印张 7.875 字数 176 千字
版 次 2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 7-5603-2186-0/TM·44
印 数 1~4 000
定 价 14.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

本书是为广大学生和相关教师编写的,我们将共同探索如何把课程教得更好、学得更好。正是源源不断的广大学生才使得教育工作更加引人入胜,更加富有意义和更加绩效卓著。

本书以教育部颁发的“高等工业学校电子技术(电工学Ⅱ)课程教学基本要求”为依据,全面涵盖国内统编教材和高等学校优秀教材的基础内容并与之同步。本书共分九章,以章为单位,总结、精炼电子技术的理论纲要,简明扼要地总结应掌握的知识要点,以使读者在有限时间内掌握课程大纲规定的基本内容。选定各种类型典型题目 129 道,给出精确解答和要点提示。典型题全而不滥,精而易懂,解析简明扼要,提要启示解题技巧;题目符合考试规律,各题着重涉及不同的知识要点,便于学生循序渐进地学习,能帮助学生更好地掌握和运用电子技术的基本原理,迅速提高解题能力,以期达到举一反三、融会贯通的境界。本书能够保证课程学习时开卷有益和备考应试达到一个新的高度。

本书第一章、第三章由王居荣编写;第二章、第四

章、第五章和第六章由杨国建编写；第七章、第八章和第九章由夏宇编写。参加编写的还有杜志伟、尹力、王健心。全书由王居荣、杨国建担任主编，由王瑛担任主审。

由于编者水平有限，疏漏之处仍恐难免，恳请读者批评指正。

编 者

2005年6月

目 录

第一章 半导体二极管和三极管	1
1.1 理论纲要	1
1.2 典型题精解	5
第二章 基本放大电路	25
2.1 理论纲要	25
2.2 典型题精解	42
第三章 集成运算放大器	78
3.1 理论纲要	78
3.2 典型题精解	83
第四章 正弦波振荡电路	110
4.1 理论纲要	110
4.2 典型题精解	114
第五章 直流稳压电源	123
5.1 理论纲要	123
5.2 典型题精解	128
第六章 晶闸管及其应用	149
6.1 理论纲要	149
6.2 典型题精解	152

第七章 门电路和组合逻辑电路	163
7.1 理论纲要	163
7.2 典型题精解	172
第八章 触发器和时序逻辑电路	200
8.1 理论纲要	200
8.2 典型题精解	208
第九章 模拟量与数字量的转换	240
9.1 理论纲要	240
9.2 典型题精解	243

第一章 半导体二极管和三极管

1.1 理论纲要

1. 半导体二极管

(1) 本征半导体和杂质半导体

①本征半导体 本征半导体是单一晶格结构的半导体。常用的材料有硅和锗,它们是四价元素,原子间组成共价键结构。在常温下导电性能非常差,呈现绝缘体的性能。价电子获得外界能量激发,挣脱共价键的束缚,形成自由电子和带正电的空穴,这就是本征激发产生自由电子、空穴对,但数量很少。自由电子与空穴相遇,又可复合而恢复共价键。

②杂质半导体 杂质半导体是在本征半导体中掺入少量的有用的纯净杂质而形成。掺入少量五价元素形成 N 型半导体,它的自由电子为多子,空穴为少子;掺入少量三价元素形成 P 型半导体,它的空穴为多子,自由电子为少子。

(2) PN 结的形成及基本特性

①PN 结的形成 由于载流子浓度的差异,N 型区自由电子向 P 型区扩散,P 型区空穴向 N 型区扩散,从而使 P 区与 N 区交界面上靠 N 区一侧显露出正离子,靠 P 区一侧显露出负离子,形成空间电荷区(内电场)。在内电场作用下,与扩散运

动相反,少数载流子做漂移运动。当扩散与漂移达到动态平衡时,空间电荷区宽度一定,形成 PN 结。

②PN 结的单向导电性 当 PN 结正偏时,空间电荷区变窄,多数载流子的扩散运动远大于少数载流子的漂移运动,形成以多子导电为主体的正向扩散电流;当 PN 结反偏时,空间电荷区变宽,少子的漂移运动大于多子的扩散运动,形成以少子导电为主体的反向漂移电流。

③PN 结的反向击穿特性 当反向电压增加到一定数值时,其反向电流急剧增大,产生 PN 结反向击穿。只要在电路中串联上一定阻值的电阻,限制流过 PN 结的电流,使 PN 结上消耗的功率不致使其产生热击穿,那么,反向击穿的 PN 结不一定损坏。当反向电压降低时,PN 结的单向导电性可以恢复正常。稳压管就是利用 PN 结的反向击穿特性工作的。

④PN 结的电容特性 PN 结除具有非线性电阻特性外,还具有非线性电容特性,在频率较高时,PN 结的结电容不容忽视。

⑤PN 结的温度特性 温度升高时,正向偏置的 PN 结的内电场减小,PN 结的正向压降以 $-(2.0 \sim 2.5) \text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ 的规律减小;反向饱和电流以温度每升高 10°C 增加一倍的规律增加。

(3) 半导体二极管的参数

二极管的主要参数有:最大整流电流 I_{OM} 、反向工作峰值电压 U_{RWM} 、反向峰值电流 I_{RM} 、直流电阻 R_{D} 、交流电阻 r_{D} 、最高工作频率 f_{M} 。

(4) 稳压二极管

稳压管工作在反向击穿区,只要其电流控制在 I_{Zmin} 至 I_{Zmax} 之间,并且与合适的限流电阻配合,就可以保证正常稳

压。稳压管主要性能参数有稳定电压 U_Z 、电压温度系数 α_U 、动态电阻 r_Z 、稳定电流 I_Z 及最大允许耗散功率 P_{ZM} 等。

2. 半导体三极管

(1) 三极管的结构和类型

① 结构 三极管具有两个 PN 结、三个区和三个电极。其发射结和集电结相互影响,三个区是发射区、基区和集电区。它的结构特点是,发射区浓掺杂;基区非常薄,杂质浓度最低;集电区面积最大。

② 类型 三极管有 NPN 和 PNP 两大类型。它们的区别是 NPN 型形成电流的载流子是自由电子,PNP 型形成电流的载流子是空穴;NPN 型集电极 C 接电源正端,发射极 E 接电源负端;PNP 型集电极 C 接电源负端,发射极 E 接电源正端。两个电极流入电流,一个电极流出电流的三极管是 NPN 型;一个电极流入电流,两个电极流出电流的三极管是 PNP 型。

(2) 三极管电流放大原理

① 实现放大的条件 内部条件是基区薄且杂质浓度低,发射区杂质浓度高,集电区面积大。外部条件是发射结正向偏置,集电结反向偏置。

② 放大原理 因为发射结正向偏置,且发射区杂质浓度最高,所以发射区的多子大量扩散到基区。由于基区非常薄,且杂质浓度低,注入的载流子在基区能够复合的较少,绝大部分载流子在浓度差的作用下扩散至集电结。又因为集电结反向偏置,所以扩散到集电结的载流子(虽然数量很多,但对基区来说应是少数载流子)由于集电结的强电场作用而漂移到(被拉到)集电区,形成集电极电流。三极管电流放大作用的

实质是基区内的扩散远大于复合。引入电流放大系数 $\bar{\beta}, \beta$ 的大小反映了三极管基区内扩散与复合的比例, $\bar{\beta} = I_C/I_B$ 。

(3) 三极管的特性曲线

共射极电路的输入特性

$$I_B = f(U_{BE}) \mid U_{CE} = \text{常数}$$

共射极电路的输出特性

$$I_C = f(U_{CE}) \mid I_B = \text{常数}$$

三极管三种工作状态的偏置条件及特点如表 1-1 所示。

表 1-1 三极管三种工作状态的偏置条件及特点

工作状态	NPN	PNP	特 点
截止状态	E 结、C 结均反偏 $U_B < U_E, U_B < U_C$	E 结、C 结均反偏 $U_B > U_E, U_B > U_C$	$I_C \approx 0$
放大状态	E 结正偏、C 结反偏 $U_C > U_B > U_E$	E 结正偏、C 结反偏 $U_C < U_B < U_E$	$I_C \approx \beta I_B$
饱和状态	E 结、C 结均正偏 $U_B > U_E, U_B > U_C$	E 结、C 结均正偏 $U_B < U_E, U_B < U_C$	$U_{CE} = U_{CES}$ I_C 基本不受 I_B 控制

(4) 三极管的主要参数

① 电流放大系数 $\bar{\beta}, \beta$ 。

② 极间反向电流 I_{CBO}, I_{CEO} 它们是少数子形成的, 与温度有关, 且有饱和的特性, 影响三极管工作的稳定。

③ 极限参数 集电结最大允许耗散功率 P_{CM} 、集电极最大允许电流 I_{CM} 、集-射极反向击穿电压 $U_{(BR)CEO}$, 以上三个参数共同决定了三极管的安全工作区。

(5) 温度对三极管参数的影响

$$T(\text{温度}) \uparrow \left\{ \begin{array}{l} \beta \uparrow \\ I_{\text{CBO}} \uparrow, I_{\text{CEO}} \uparrow \\ U_{\text{BE}} \downarrow \end{array} \right\} \text{均使 } I_{\text{C}} \uparrow$$

1.2 典型题精解

【1-1题】 判断图 1-1 所示理想二极管电路中的二极管是否导通, 并求输出端电压 u_o 。

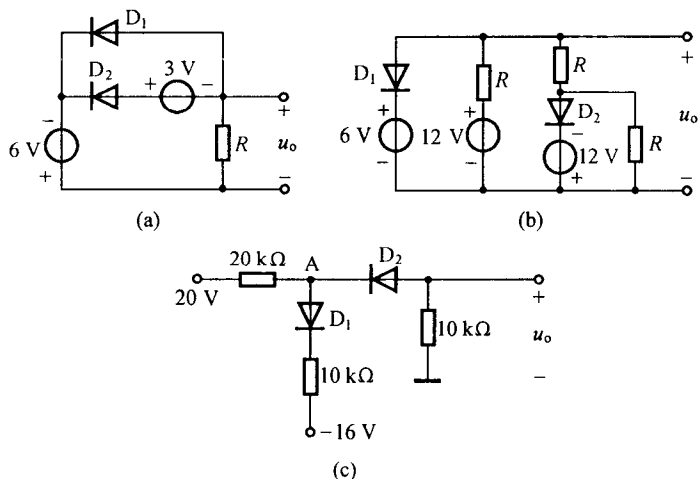


图 1-1 1-1 题电路图

解 (1) 图 1-1(a) 电路中, 二极管 D_2 导通, D_1 截止, 输出电压 $u_o = -9\text{ V}$ 。

(2) 图 1-1(b) 电路中, 由于二极管 D_2 导通, 输出电压 $u_o = 0\text{ V}$, 而二极管 D_1 因承受反向电压而截止。所以, D_2 导通,

D_1 截止, $u_o = 0 \text{ V}$ 。

(3) 可假设图 1-1(c) 中两个二极管一个导通, 另一个截止, 判断电路能否正常工作。根据图中电路可以断定, 二极管 D_1 截止, D_2 导通的假设不成立。

假设二极管 D_1 导通, D_2 截止。可求得点 A 的电压

$$U_A/\text{V} = 20 - \frac{20 - (-16)}{20 + 10} \times 20 = -4$$

可以判定二极管 D_2 截止的假设不成立。

重新假设二极管 D_1 、 D_2 均导通。应用弥尔曼定理, 求点 A 对地电压(也就是输出电压 u_o)

$$U_A/\text{V} = \frac{\frac{20}{20} - \frac{16}{10}}{\frac{1}{20} + \frac{1}{10} + \frac{1}{10}} = -2.4$$

可以判定, D_1 、 D_2 均导通的假设成立, 且输出电压 $u_o = -2.4 \text{ V}$ 。

☞ 提要 二极管具有单向导电性。理想二极管阳极电位高于阴极电位, 二极管导通; 阴极电位高于阳极电位, 二极管截止。

【1-2题】 如图 1-2(a)、(b) 所示电路, 二极管均为理想元件, 已知输入电压 $u_i = 6\sin \omega t \text{ V}$, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

解 (1) 图 1-2(a) 为低电平选择电路, 输出端电压总是取两个输入电压中较低的电压。由于点 B 接地, 当 $u_i > 0 \text{ V}$ 时, 二极管 D_2 导通, 输出电压 $u_o = 0 \text{ V}$, 此时二极管 D_1 因承受反向电压而截止; 当 $u_i = 0 \text{ V}$ 时, D_1 、 D_2 同时导通, 输出电压仍为零,

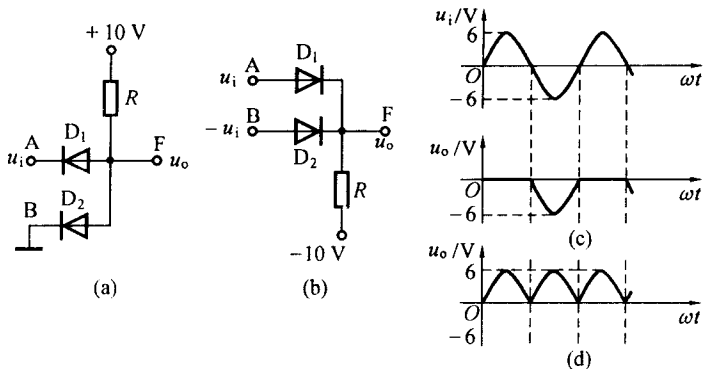


图 1-2 1-2 题电路图与波形图

即 $u_o = 0 \text{ V}$; 当 $u_i < 0 \text{ V}$ 时, 二极管 D_1 导通, D_2 截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。因此输出电压波形如图 1-2(c) 中下图所示。

(2) 图 1-2(b) 为高电平选择电路, 输出端电压总是取两个输入电压中较高的电压。由于两输入端 A、B 外加输入电压极性相反, 因而, $u_i = 0 \text{ V}$ 时, 二极管 D_1 、 D_2 均导通, 使得输出电压 $u_o = 0 \text{ V}$; 当 $u_i > 0 \text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, 输出电压 $u_o = u_i$, 即为输入正弦电压的正半周; 当 $u_i < 0 \text{ V}$ 时, D_1 截止, D_2 导通, 输出电压 $u_o = -u_i$, 仍为正的半个正弦波。输出电压波形如图 1-2(d) 所示。

提要 图 1-2(a) 中的二极管为共阳极接法, 所以阴极电位低的二极管先导通, 并立即将另一二极管与电路隔离; 图 1-2(b) 中的二极管为共阴极接法, 所以阳极电位高的二极管先导通, 并使另一二极管截止, 与电路隔离。

【1-3题】 已知二极管正向导通电压 $U_D = 0.7 \text{ V}$, 估算图 1-3 所示电路中流过二极管 D 的电流 I_D 和 A 点电位 U_A 。

解 (1) 对节点 A 应用 KCL, 有

$$\frac{E_1 - U_A}{R_1} - \frac{U_A - E_2}{R_2} -$$

$$\frac{U_A - U_D}{R_3} = 0$$

即
$$\frac{10 - U_A}{2} - \frac{U_A - (-6)}{10} -$$

$$\frac{U_A - 0.7}{3} = 0$$

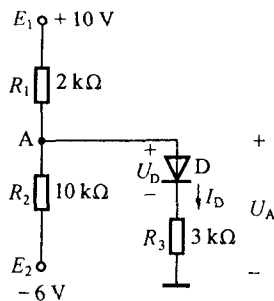


图 1-3 1-3 题电路图

解得
$$U_A \approx 4.96 \text{ V}$$

$$(2) I_D / \text{mA} = \frac{U_A - U_D}{R_3} = \frac{4.96 - 0.7}{3} \approx 1.42$$

提要 这是应用节点电压法求解含二极管电路的典型题。

【1-4题】 理想二极管组成的限幅电路如图 1-4 所示。输入电压 $u_i = 20\sin \omega t \text{ V}$, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

解 (1) 图 1-4(a) 中, 当 $u_i \geq 10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, 因为是理想二极管, 导通时无管压降, 所以输出电压 $u_o = u_i$; 当 $u_i < 10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 截止, 此时电阻 R 中无电流, 所以输出电压 $u_o = 10 \text{ V}$ 。与输入信号对应的输出电压波形如图(e)中粗实线所示。

(2) 图 1-4(b) 中, 当 $u_i \leq -10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 截止, 因电阻 R 中此时无电流, 因而无压降, 所以输出电压 $u_o = -10 \text{ V}$; 当 $u_i > -10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, 因为是理想二极管, 所以输入电压直接输出, 即 $u_o = u_i$ 。与输入信号对应的输出电压波形如图(f)中粗实线所示。

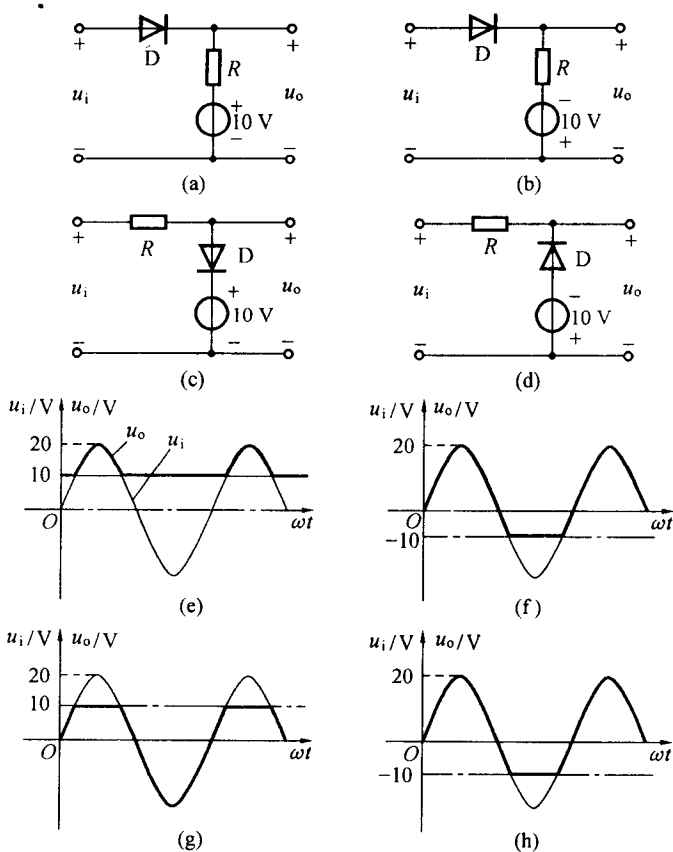


图 1-4 1-4 题电路图和输出电压波形图

(3) 图 1-4(c) 中, 当 $u_i \geq 10\text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, 所以输出电压 $u_o = 10\text{ V}$; 当 $u_i < 10\text{ V}$ 时, 二极管 D 截止, 此时电路中无电流, 电阻 R 上无压降, 所以输出电压 $u_o = u_i$ 。与输入信号对应的输出电压波形如图(g) 中粗实线所示。

(4) 图 1-4(d) 中, 当 $u_i \leq -10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 导通, 输出电压 $u_o = -10 \text{ V}$; 当 $u_i > -10 \text{ V}$ 时, 二极管 D 截止, 输出电压 $u_o = u_{i0}$ 与输入信号对应的输出电压波形如图(h) 中粗实线所示。

☞ 提要 本类型题的电路是由理想二极管组成的上限幅或下限幅电路。通过改变图中二极管和电阻的位置和恒压源的极性, 可以组成多种不同电路, 但分析问题的方法是一样的。

【1-5题】 理想二极管电路如图 1-5(a) 所示。已知输入电压 $u_i/\text{V} = 2t (t = 0 \sim 7 \text{ s})$, 试画出对应输入电压的输出电压变化曲线。

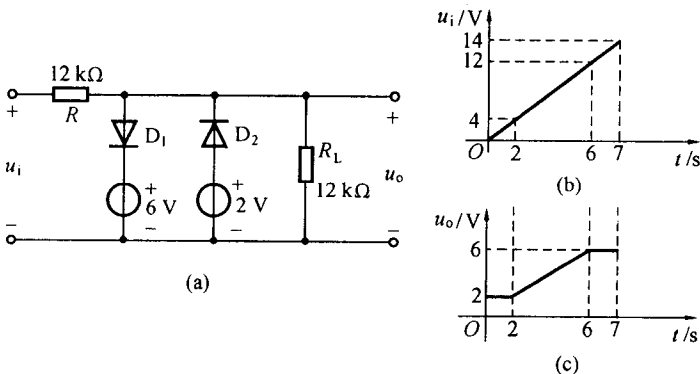


图 1-5 1-5 题电路图与波形图

解 (1) 由已知条件 $u_i/\text{V} = 2t (t = 0 \sim 7 \text{ s})$, 可画出输入电压特性曲线 $u_i = f(t)$, 如图 1-5(b) 所示, 曲线表明在 $0 < t < 7 \text{ s}$ 时间段内, 输入电压随时间线性增加。

(2) 当二极管 D_1 、 D_2 均截止时, 输出电压

$$u_o = \frac{R_L}{R + R_L} u_i = \frac{1}{2} u_i$$