

电子技术 解题指导

夏佑英 黄淦清 等编

西南交通大学出版社

新登字（川）018号

内 容 简 介

EA16/24

本书是配合《应用电子技术基础》（西南交通大学出版社出版，张维廉等编）、《数字电子技术基础》（西南交通大学出版社出版，李守成等编）、《电子技术基础》（西南交通大学出版社出版，金树泽等编）和《电工与电子技术基础》（中国铁道出版社出版，瞿正德主编）的教学参考书。

全书共十三章。包括：半导体二极管及其应用、半导体三极管和交流放大电路、功率放大电路、场效应管放大电路、直接耦合放大电路及运算放大器，正弦波振荡电路、晶闸管及其应用、逻辑门电路、数字电路的逻辑分析、组合逻辑电路、时序逻辑电路、脉冲波形的产生与整形、模拟量和数字量之间的转换等。书中每章均按“内容提要”、“典型例题”和“自测题”（附答案）的形式编排。内容紧扣教材，由浅入深，具有启发性强的特色。

本书可作为高校学习上列四书的教学辅导教材，也可作为本科、大专、职大、电大和函大的教学参考书。

电子技术解题指导

夏伯英 黄治清 等编

*

西南交通大学出版社出版发行

（四川 成都九里堤）

四川省新华书店经销

西南交通大学出版社印刷厂印刷

*

开本：787×1092 1/16 印张：7.875

字数：150千字 印数：1—5500册

1992年9月第1版 1992年9月第1次印刷

ISBN 7—81022—276—7/T·077

定价：3.20元

前 言

本书是根据 1989 年 9 月在石家庄召开的铁路高校电工学研究会第二届年会所做决定编写的。

本书是与《应用电子技术基础》(西南交大出版社, 张维廉等编)、《数字电子技术基础》(西南交大出版社, 李守成等编)、《电子技术基础》(西南交大出版社, 金树泽等编)和《电工与电子技术基础》(中国铁道出版社, 瞿正德主编)等四书相配合的辅助教材。编写本书的目的, 是使读者更好地掌握“电子技术”的基本概念和基本分析方法。

全书共分十三章。每章均按“内容提要”、“典型例题”和“自测题”(附有答案)的形式进行编排。在“内容提要”中, 阐明了各章的基本概念和基本分析方法, 列出了基本计算公式, 并采用归纳和列表对比等方式进行了总结。给读者指明了通过各章学习应该掌握的内容, 强调了难以理解、容易模糊和混淆的概念。在“典型例题”中, 精选了有代表性、启发性和实用性的各类题型, 例题难度由简到难。在解题过程中, 给读者指出了解题思路、解题技巧和解题的关键, 并指明了通过解题应该掌握和理解的概念。在“自测题”中, 有部分习题选自上述四本使用教材, 以供读者课外复习之用, 也可供读者对各章内容的掌握和理解程度作一次自我测试。

本书的第一、四、六章由西南交大黄治清编写; 第二、三章由兰州铁道学院夏伯英编写; 第五、七章由兰州铁道学院张润敏编写; 第八、十、十一章由长沙铁道学院黄桂生编写; 第九、十二、十三章由北方交大张敏编写。由夏伯英任主编, 黄治清任副主编, 进行了全书的统稿和修改工作。

本书由西南交大张维廉教授任主审。北方、华东交大, 大连、上海、长沙、石家庄、兰州铁道学院和苏州铁道师范学院的有关教师参加了 1990 年 7 月在兰州召开的铁路高校电工学研究会第三届年会, 对此书提出了许多宝贵意见, 在此表示衷心感谢。

由于我们水平有限, 书中难免存在不少缺点和错误, 敬请读者批评指正。

编 者

1991 年 8 月

目 录

第 一 章	半导体二极管及其应用.....	1
第 二 章	晶体管和交流放大电路.....	11
第 三 章	功率放大电路.....	29
第 四 章	场效应管放大电路.....	37
第 五 章	直接耦合放大电路及运算放大器.....	45
第 六 章	正弦波振荡电路.....	62
第 七 章	晶闸管及其应用.....	65
第 八 章	逻辑门电路.....	71
第 九 章	数字电路的逻辑分析.....	79
第 十 章	组合逻辑电路.....	90
第十一章	时序逻辑电路.....	99
第十二章	脉冲波形的产生与整形	109
第十三章	模拟量和数字量之间的转换	117

第一章 半导体二极管及其应用

一、内容提要

(一) 半导体的导电性质

1. 半导体对温度和光照很敏感。在半导体中掺入微量杂质，则会使得半导体的导电能力大大增加。杂质半导体材料本身仍呈电中性。

2. 杂质半导体中， N 型半导体的多数载流子（由杂质元素提供）是电子，少数载流子（由热能激发）是空穴，故主要靠电子导电。而 P 型半导体则主要靠空穴导电，空穴电流是价电子（不是自由电子）在电场作用下递补空穴所形成。

(二) PN 结及单向导电性

PN 结的形成是由于多子的扩散形成了内电场，又使少子漂移，当扩散运动等于漂移运动时， PN 结处于动态平衡。当 PN 结上外加电压时，原来 PN 结的平衡状态就被破坏了。

PN 结的单向导电性用表 1—1 说明。

表 1—1

PN 结上所加电压	空间电荷区呈现的状态	载流子的主要运动方式	电 流
正向电压 $\odot \text{---} \boxed{P \mid N} \text{---} \ominus$	低阻(导通状态)	多子扩散	正向电流较大 (与掺杂浓度有关)
反向电压 $\ominus \text{---} \boxed{P \mid N} \text{---} \odot$	高阻(截止状态)	少子漂移	反向电流极小 (与温度有关)

(三) 二极管

二极管的伏安特性如图 1—1 所示。在二极管上加正向电压时（硅管约 0.7 V ，锗管约 0.3 V ），二极管导通；加反向电压时，二极管截止。为简便分析计算，通常把二极管看成一只开关。当二极管正偏时，相当于开关闭合（忽略正向压降）；反偏时，相当于开关打开（忽略反向电流）。

(四) 直流稳压电源的组成及各部分的功能

图 1—2 为直流稳压电源的原理方框图。

分析整流电路时，首先从二极管的导通条件入手，用瞬时极性法找出交流电正负半周的导电回路，然后进行分析计算。

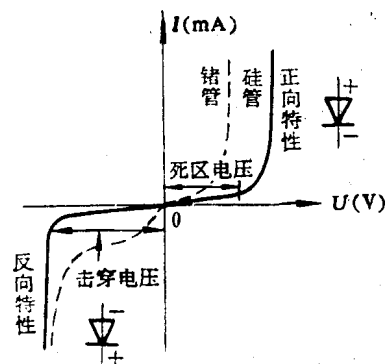


图 1—1 二极管的伏安特性曲线

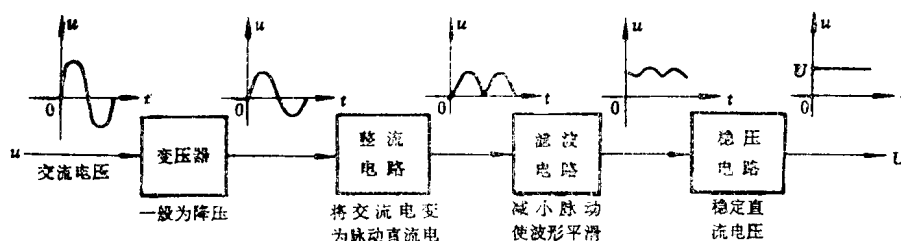


图 1-2 直流稳压电源方框图

滤波电路利用电容具有交流阻抗小、直流电阻大的特点，使之与负载并联；而电感具有交流阻抗大、直流电阻小的特点，使之与负载串联，以达到滤波的目的。表 1-2 为几种常见的小功率整流滤波电路的性能比较。

表 1-2

名 称	对 滤 波 电 容 的 要 求	滤波输出电压 U_o	每个整流的二极管的平均电流 I_D	二极管承受的最大反向电压 U_{DRM}	变压器副边电流有效值 I_2
单相半波整流电容滤波	$R_L C \geq (3 \sim 5) \frac{T}{2}$	$(1 \sim 1.2) U_2$ 常取: U_2	I_o	$2\sqrt{2} U_2$	$> 1.57 I_o$
单相全波整流电容滤波	R_L —负载电阻	$(1.1 \sim 1.4) U_2$ 常取: $1.2 U_2$	$\frac{1}{2} I_o$	$2\sqrt{2} U_2$	$> 0.79 I_o$
单相桥式整流电容滤波	T —交流电源的周期	$(1.1 \sim 1.4) U_2$ 常取: $1.2 U_2$	$\frac{1}{2} I_o$	$\sqrt{2} U_2$	$> 1.11 I_o$

注: I_o 为流过 R_L (与电容并联) 的平均电流;

U_2 为变压器副边电压有效值。

(五) 稳压管及稳压电路

稳压管的伏安特性如图 1-3。稳压管工作在反向击穿状态，其两端电压的微小变化 ΔU_z 可引起电流的较大变化 ΔI_z ，即稳压管的动态电阻 $r_z = \Delta U_z / \Delta I_z$ 很小。利用这一特性，稳压管常用于小功率直流电源的稳压电路中。使用稳压管时，应注意它正常工作应具备的两个条件：(1) 加在它两端的反向电压应不小于它的稳定电压 U_z ；

(2) 流过它的电流应小于它的最大稳定电流 I_{Zmax} 。

稳压电路中各元件参数的选择见表 1-3。

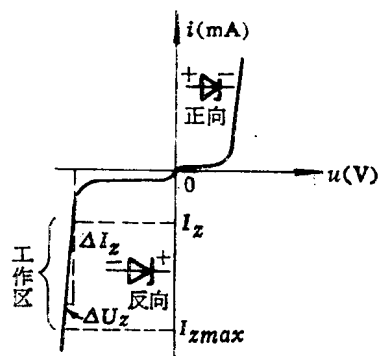
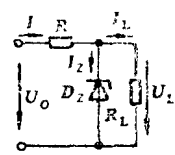


图 1-3 稳压管的伏安特性曲线

二、典型例题

例 1-1 怎样用万用表判断二极管的正负极性与好坏?在用万用表的电阻挡测量二极管的正向电阻时，会发现用 $R \times 1$ 挡测出的阻值小，用 $R \times 100$ 挡测出的阻值大，这是为什么?

表 1-3

稳压电路	稳压管稳定电压 U_Z	稳压管最大稳定电流 (I_{Zmax})	稳压电路输入电压 U_0	限流电阻 R	限流电阻 R 的额定功率 P_R
	U_L	$\geq 2I_{Lmax}$	$(2\sim 3)U_L$	$R < \frac{U_{0max} - U_L}{I_{Zmax} + I_{Lmin}}$ $< R < \frac{U_{0min} - U_L}{I_Z + I_{Lmax}}$	$(2\sim 3) \frac{(U_{0max} - U_L)^2}{R}$

答 由于二极管的正、反向电阻相差很大,因此,用万用表的电阻挡对二极管进行两次测量,就能测出正、反向电阻的大小并判断出它的极性和好坏。测量时,将万用表的黑、红表笔分别接管子的两个极,若测量值较小时,即为正向电阻,则黑表笔接的一端为二极管的阳极,另一端则为阴极;若测量值较大时,即为反向电阻,则极性与上述相反。若两次测量值出现下面3种情况时,则二极管不能使用:(1)均为无穷大;(2)均为0;(3)相差很小。

在测量正向电阻时,由于万用表的 $R \times 100$ 挡比 $R \times 1$ 挡的内阻大100倍,所以,用 $R \times 100$ 挡测量时的电流要小得多。又由于二极管的伏安特性是非线性的,如图1-4所示,所以,用 $R \times 100$ 挡测量时,电表的读数为 U_1/I_1 ,比用 $R \times 1$ 挡测量时的 U_2/I_2 大。

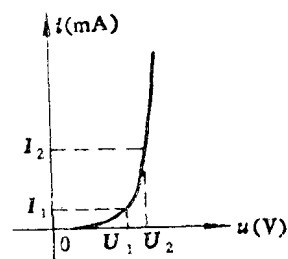


图 1-4

例 1-2 已知 u_i 的波形如图1-5(a),电路如图1-5(b)。试写出 u_o 、 u_D 、 u_R 的表达式,并画出 u_o 的波形(设二极管是理想元件)。

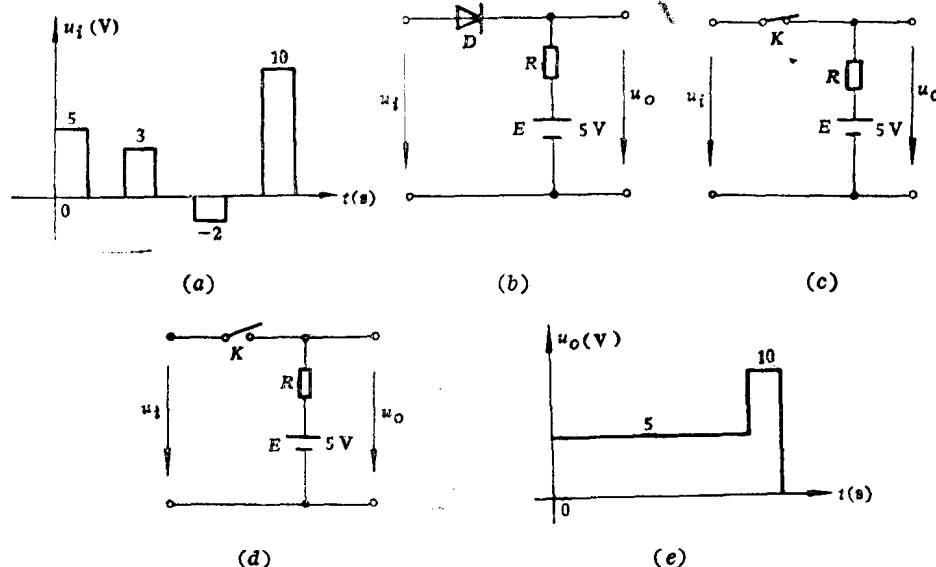


图 1-5

解 由于二极管是非线性元件, 求解这类电路时, 应首先从二极管的导通条件入手, 判断出二极管何时导通何时截止。这时, 二极管可用开关代替: 导通时, 开关闭合 (短路状态); 截止时, 开关打开 (开路状态)。最后写出输出信号与输入信号 u_i 的表达式, 再画出波形。

对图 (b) 电路, 二极管导通时, 必须是 $u_i > 5\text{ V}$, 这时原电路可等效为如图 1—5 (c) 所示。由此可知:

$$u_D = 0 \quad u_o = u_i \quad u_R = u_i - 5\text{ V}$$

二极管截止时, 必须是 $u_i \leq 5\text{ V}$, 这时原电路可等效为如图 1—5 (d) 所示, 则:

$$u_D = u_i - u_o = u_i - 5\text{ V} \quad u_o = 5\text{ V} \quad u_R = 0$$

根据 $u_o = \begin{cases} u_i, & \text{当 } u_i > 5\text{ V 时} \\ 5\text{ V}, & \text{当 } u_i \leq 5\text{ V 时} \end{cases}$, 可画出 u_o 的波形如图 1—5 (e) 所示。

二极管在该电路中的作用是限幅作用, 它限制了输入信号 5 V 以下的幅值。根据二极管 D 和电源 E 在电路中的不同位置和极性, 可构成各类限幅器。

例 1—3 如图 1—6 (a) 电路中, 设二极管是理想元件, 而且 $R_2 \gg R_1$ 。

(1) 试画输入信号 $u_i = 20 \sin \omega t\text{ V}$ 时, 输出电压 u_o 的波形;

(2) 若输入信号 $u_i = 20\text{ V}$, 而输出端出现短路时, 两个二极管 D_1 、 D_2 各处于什么状态?

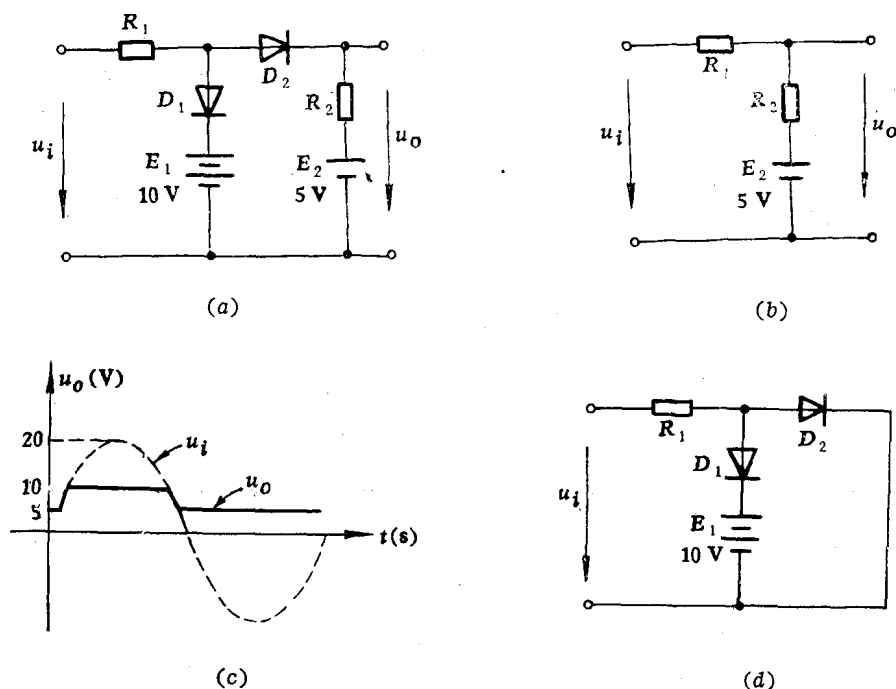


图 1—6

解

(1) 首先写出电路中二极管 D_1 和 D_2 的导通条件。

D_1 管必须满足: $u_i > E_1$ 时, 即 $u_i > 10\text{ V}$, 才能导通。

D_2 管必须满足: $u_i > E_2$ 时, 即 $u_i > 5\text{ V}$, 才能导通。

注意：两个二极管同时满足导通条件时，实际上并不意味着都能导通。

根据所得的导通条件，将输入信号 u_i 分为三段。即

$$\left. \begin{array}{l} u_i \leq 5\text{V} \\ 5\text{V} < u_i \leq 10\text{V} \\ u_i > 10\text{V} \end{array} \right\} \text{分别写出这时的输出电压 } u_o \text{ 的表达式}$$

① 当 $u_i \leq 5\text{V}$ 时，二极管 D_1 、 D_2 均不满足导通条件，故 D_1 、 D_2 均截止（相当于开路状态）。则此时输出电压 $u_o = E_2 = 5\text{V}$ 。

② 当 $5\text{V} < u_i \leq 10\text{V}$ 时，只有 D_2 满足导通条件，故 D_2 导通， D_1 截止。电路如图 1—6 (b) 所示。

输出电压
$$u_o = \frac{R_2}{R_2 + R_1} \times (u_i - 5) + 5$$

由于 $R_2 \gg R_1$

故 $u_o \approx (u_i - 5) + 5 = u_i$

③ 当 $u_i > 10\text{V}$ 时，二极管 D_1 、 D_2 均满足导通条件，但由于加在 D_2 上的正向电压较大，所以 D_2 优先导通。在 D_2 导通的情况下，我们观察这时的电路， D_1 管也导通。故输出电压

$$u_o = 10\text{V}$$

根据 u_o 的表达式（分三段），画出它的波形如图 1—6 (c) 所示。

(2) 当输出端短路（即 $u_o = 0$ ）时，原电路变为如图 1—6 (d) 所示。

在输入电压 $u_i = 20\text{V}$ 时，二极管 D_1 、 D_2 虽然都满足导通条件，但加在 D_2 管的正向电压（20V）比 D_1 管的正向电压（10V）大，所以， D_2 管优先导通， D_2 管导通后使得 D_1 管处于截止状态。

例 1—4 在图 1—7 (a) 电路中，负载电阻 R_L 很大，变压器副绕组电压有效值为 U_2 ，求负载电压 U_o 与 U_2 的关系，并标出 U_o 电压的极性。

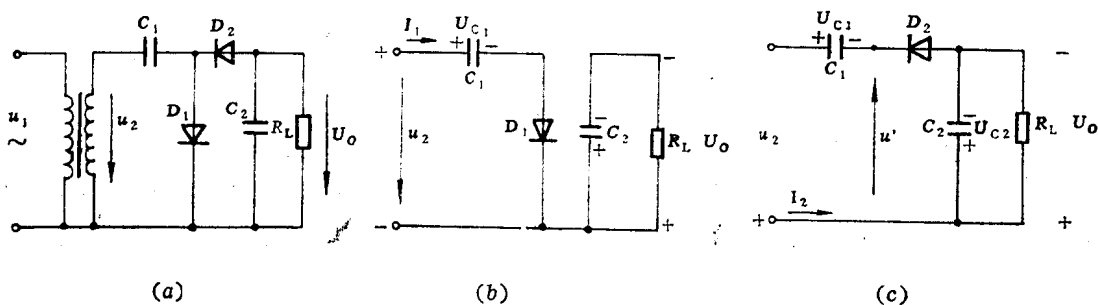


图 1—7

解 在 u_2 的正半周， D_1 导通， D_2 截止。电路可简化为图 1—7 (b)。此时，电容 C_1 被充电到 u_2 的最大值，即 $U_{C1} = \sqrt{2}U_2$ 。

在 u_2 的负半周， D_1 截止， D_2 导通。电路可简化为图 1—7 (c)。这时，电路与半波整流电容 (C_2) 滤波电路相似，只是输入电压变为 $u' = u_2 + U_{C1}$ 。因此，电容 C_2 被充电至 u' 的最大值，即 $U_{C2} = 2\sqrt{2}U_2$ 。

在 u_2 的正半周时, 电容 C_2 向负载电阻 R_L 放电, 当 R_L 很大时, C_2 的放电速度很慢, 故负载电压 $U_o = U_{C2} \approx 2\sqrt{2}U_2$, 极性为上负下正。

该电路的负载电压 U_o 为变压器副边电压最大值的两倍, 故称为“二倍压整流电路”。它不需要增加变压器副绕组的匝数, 就能获得高于输入电压两倍的输出电压。但它带负载的能力很差 (要求 R_L 很大), 所以只适合极小电流的场合。

例 1—5 为半导体收音机设计一个直流稳压电源。要求工作电压为 6 V , 工作电流范围为 $0 \sim 15\text{ mA}$ 。电源电压 220 V , 频率 50 Hz 。

解 对稳压性能要求不高的小功率电源, 可采用桥式整流、电容滤波、稳压管稳压电路实现。如图 1—8 所示。

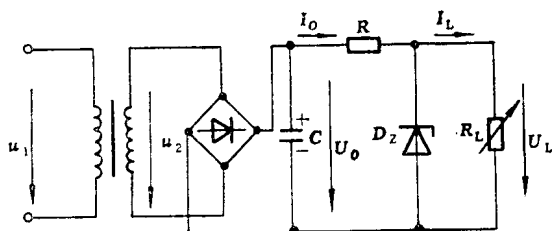


图 1—8

(1) 稳压管 D_z 的选择

稳定电压 $U_z = U_L = 6\text{ V}$, 最大稳定电流 $I_{Z\max} \geq 2 I_{L\max} = 2 \times 15 = 30\text{ mA}$ 。查稳压管参数表, 可选用 $2\text{ CW } 13$ 型稳压管, 其 $U_z = (5 \sim 6.5)\text{ V}$, $I_z = 10\text{ mA}$, $I_{Z\max} = 38\text{ mA}$ 。

(2) 限流电阻 R 的选择

先确定整流滤波输出电压 U_o , 取 $U_o = (2 \sim 3) \cdot U_L = (2 \sim 3) \times 6 = 12 \sim 18\text{ V}$, 可取 $U_o = 16\text{ V}$ 。若电源电压波动 $\pm 10\%$, 则 U_o 的波动范围 $U_o = (0.9 \sim 1.1) \times 16 = 14.4 \sim 17.6\text{ V}$ 。

即 $U_{o\max} = 17.6\text{ V}$ $U_{o\min} = 14.4\text{ V}$

限流电阻 R 的阻值应保证稳压管工作在稳压区, 即满足下列不等式

$$\frac{U_{o\max} - U_L}{I_{Z\max} + I_{L\min}} < R < \frac{U_{o\min} - U_L}{I_z + I_{L\max}}$$

即
$$\frac{17.6 - 6}{38 + 0} < R < \frac{14.4 - 6}{10 + 15}$$

故
$$0.305\text{ k}\Omega < R < 0.336\text{ k}\Omega$$

取 $R = 330\ \Omega$ (按标称电阻值选取), 其额定功率 $P_R = (2 \sim 3) (U_{o\max} - U_L)^2 / R = (2 \sim 3) (17.6 - 6)^2 / 330 = (0.816 \sim 1.22)\text{ W}$, 故可选 $330\ \Omega$ 、 1 W 的电阻。

注意: ①若查电阻器标称值系列表, 发现找不到符合要求的电阻时, 则可重新修改整流滤波输出电压 U_o 的取值, 以找到符合要求的电阻。②若计算结果出现限流电阻 R 无解, 比如 $330\ \Omega < R < 300\ \Omega$, 则说明给定条件已超出稳压管的稳压范围, 必须重新修改。可采取限制变化范围 (U_o 或 I_L), 或选用大容量的稳压管等方法。

(3) 滤波电容 C 的选择

要使滤波效果较好, 应使 $R_L C \geq (3 \sim 5) T / 2$ 。

取 $R_L C \geq 5 \cdot T / 2$, $T = 1/f = 0.02\text{ s}$, R_L 为从电容 C 两端向右看进去的等效电阻。即

$$R_L = \frac{U_o}{I_o} \quad \text{或} \quad R_L = R + \frac{U_L}{I_c}$$

而
$$I_o = \frac{U_o - U_L}{R} \quad (\text{流过 } R \text{ 的电流})$$

故

$$R_L = \frac{U_o}{I_o} = \frac{U_L R}{U_o - U_L} = \frac{16 \times 330}{16 - 6} = 528 \Omega$$

$$C \geq \frac{5T}{2R_L} = \frac{5 \times 0.02}{2 \times 528} \approx 95 \mu F$$

电容耐压值(最大电压) $U_{CM} = \sqrt{2} U_2$, 而桥式整流电容滤波时 $U_o \approx 1.2 U_2$, 即 $U_2 \approx U_o / 1.2$ 。考虑到变压器副绕组及二极管的压降, 副边电压 U_2 应提高 10% 左右。即

$$U_2 \approx \frac{U_o}{1.2} \times 1.1 = \frac{16}{1.2} \times 1.1 = 14.67 V$$

取

$$U_2 = 15 V$$

故

$$U_{CM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 15 = 21.2 V$$

可选标称容量为 $100 \mu F$ 、耐压为 $25 V$ 的电解电容器。

(4) 整流二极管的选择

流过每个二极管的平均电流

$$I_D = \frac{I_o}{2}$$

而

$$I_o = \frac{U_o - U_L}{R}$$

故

$$I_D = \frac{U_o - U_L}{2R} = \frac{16 - 6}{2 \times 330} = 15.2 mA$$

每个二极管承受的最大反向电压

$$U_{DRM} = \sqrt{2} U_2 = \sqrt{2} \times 15 = 21.2 V$$

考虑到电容充电电流对二极管的冲击和电源电压的升高以及使用安全, 应把二极管的最大平均电流和最大反向工作电压选大些好。可选用 2CP11 型 ($I_{OM} = 100 mA$, $U_{RM} = 50 V$)。

(5) 确定对变压器的要求

变压器副边电流有效值 $I_2 > 1.11 I_o$ 。

取

$$I_2 = 2I_o = 2 \times \frac{U_o - U_L}{R} = 2 \times \frac{16 - 6}{330} = 60.6 mA$$

变压器的容量

$$S = U_2 I_2 = 15 \times 60.6 = 0.909 VA$$

变压器的变比

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{220}{15} = 14.67$$

三、自测题

1-1 试判断图 1-9 电路中的二极管是导通还是截止。并求出 U_{A_o} 。(忽略 D 的正向压降)。

[答案: (a) D 截止, $U_{A_o} = -6 V$; (b) D 导通, $U_{A_o} = -9 V$; (c) D_1 导通、 D_2 截止, $U_{A_o} = 0 V$]

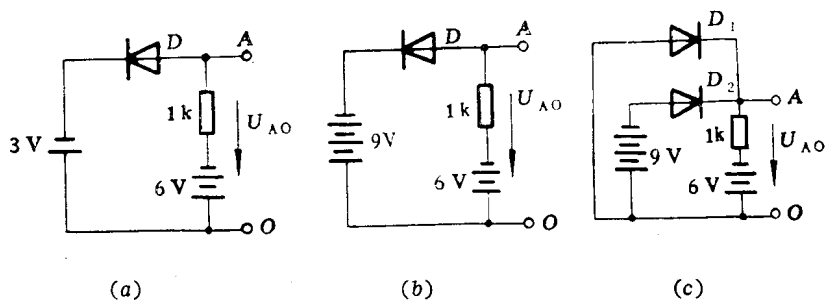


图 1-9

1-2 在图 1-10 电路中, $E = 3\text{ V}$, $u_i = 6 \sin \omega t\text{ V}$, 试画出 u_o 的波形 (忽略二极管的正向压降)。

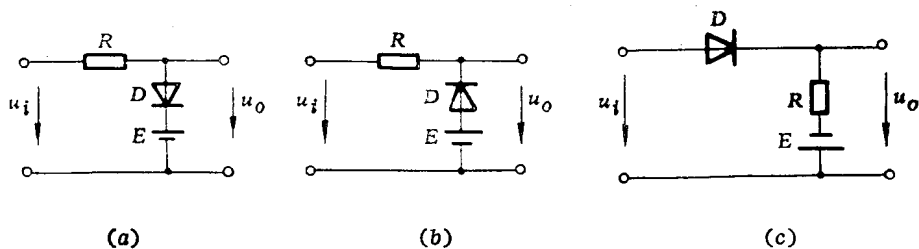


图 1-10

1-3 试判断图 1-11 电路中的二极管是导通还是截止, 为什么?

[答案: D 截止。将 D 开路后, $V_A = 1.5\text{ V} > V_B = 1\text{ V}$]

1-4 如图 1-12 为双向削波电路。 $u_i = 6 \sin \omega t\text{ V}$, $E_1 = 3\text{ V}$, $E_2 = 4\text{ V}$ 。试画出输出电压 u_o 的波形 (二极管的正向压降与反向电流可忽略)。

1-5 在图 1-13 中, 电源电压的有效值 U 为 12 V , A 、 B 、 C 为相同的灯泡。试问哪只灯泡最亮? 每只灯泡的电压平均值 $\bar{U}$ 各为多少?

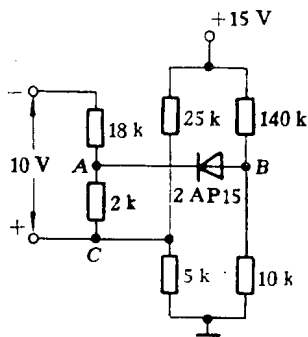


图 1-11

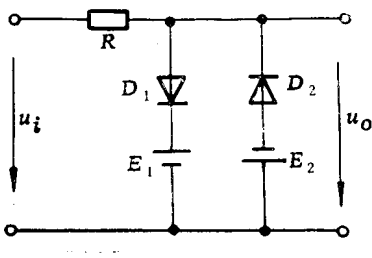


图 1-12

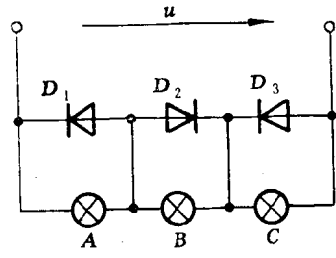


图 1-13

[答案: $\bar{U}_A = \bar{U}_C = 2.7\text{ V}$, $\bar{U}_B = 5.4\text{ V}$]

1-6 电路和参数示于图 1-14 中。(1) 分别求出输出电压平均值 U_{o1} 和 U_{o2} ; (2) 计算各二极管的平均电流 I_D 以及各管所承受的最高反向电压。

[答案: (1) $U_{o1} = 45\text{ V}$, $U_{o2} = 9\text{ V}$; (2) $I_{D1} = 4.5\text{ mA}$, $I_{D2} = I_{D3} = 0.045\text{ mA}$, $U_{D1RM} = \sqrt{2} 100\text{ V}$, $U_{D2RM} = U_{D3RM} = 2\sqrt{2} 10\text{ V}$]

1-7 试说明图 1-15 的电路为何种方式的整流电路, 并标出输出电压 u_{o1} 、 u_{o2} 的极性。若 $U_{21} = U_{22} = 20\text{ V}$, U_{o1} 、 U_{o2} 各为多少? 并计算每个二极管所承受的最高反向电压。

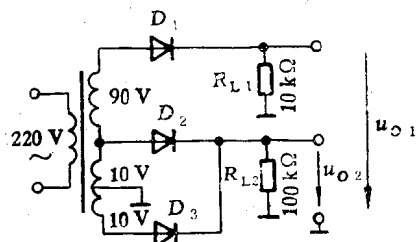


图 1-14

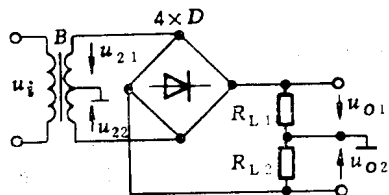


图 1-15

〔答案: u_{o1} 的极性对地为正, u_{o2} 的极性对地为负; $U_{o1} = 18\text{ V}$, $U_{o2} = -18\text{ V}$, 每个 D 的 U_{DRM} 均为 $\sqrt{2} 40\text{ V}$ 。〕

1-8 整流滤波电路如图 1-16。试求输出电压 U 。并标出电解电容的极性。当电路出现下面四种故障时, 会出现什么问题? U 是多少? (1) D_2 虚焊; (2) D_2 极性接反; (3) D_2 击穿短路; (4) 输出端被短路。

〔答案: $U \approx 1.2 U_2$, C 的极性为上负下正。(1) $U \approx U_2$ (半波整流); (2)、(3)、(4) 均无输出电压。〕

1-9 如图 1-17 的电路中, 已知 $U_i = 20\text{ V}$, 稳压管为 2CW16, 其 $U_z = 9\text{ V}$, $I_z = 5\text{ mA}$, $I_{z\text{max}} = 26\text{ mA}$ 。试问稳压管是否工作在稳定区? 若 U_i 升高了 10%, 而负载电阻 R_L 开路时, 稳压管能否正常工作?

〔答案: (1) 稳压管两端的开路电压 $U_{z0} = 12.82\text{ V} > U_z$, $I_z = 10.6\text{ mA}$ ($5\text{ mA} < I_z < I_{z\text{max}}$), 故稳压管工作在稳压区。(2) $I_z = 23.2\text{ mA} < I_{z\text{max}}$, 能正常工作。〕

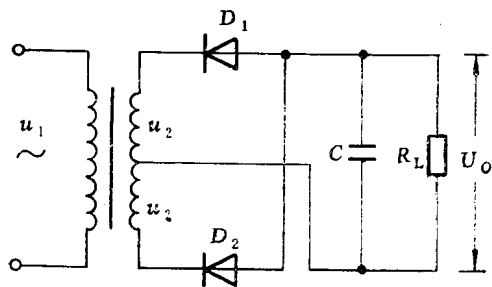


图 1-16

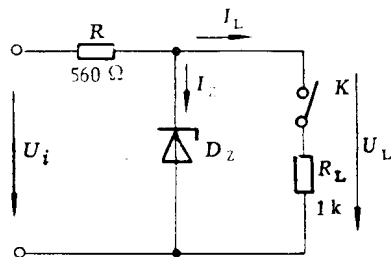


图 1-17

1-10 在图 1-18 的全波整流、电容滤波、稳压管稳压电路中, 输出电压 U_L 为 9 V , 负载电阻 R_L 由开路变到 900Ω 。电源电压为 220 V , 变化范围 $\pm 10\%$, 频率为 50 Hz 。试估算并选择电路中各元件的参数。

〔答案: D_z 选 2CW16; R 选 750Ω 、 1 W 的电阻; C 选 $50\mu\text{F}/50\text{ V}$ 的电容器〕

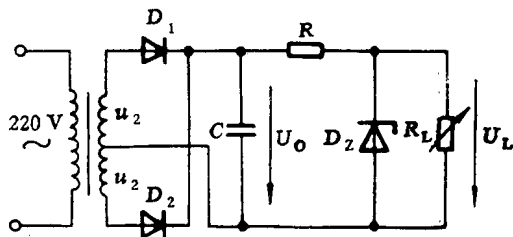


图 1-18

器; D 选 2CP12; 变压器副边电压有效值 $U_2 \approx 22\text{ V}$, $I_2 > 0.79 I_0$, 取 $I_2 = I_0 = 20\text{ mA}$ 。]

1—11 如图 1—8 的电路中, 已知变压器副边电压有效值 $U_2 = 16\text{ V}$, $C = 100\text{ }\mu\text{F}$, D_Z 的稳压值 $U_Z = 6\text{ V}$ 。 R_L 由开路变到 $600\text{ }\Omega$, 电容滤波后的输出电压平均值为未滤波时的 1.2 倍。求

(1) 若电网电压不变, 试计算 $I_Z \geq 5\text{ mA}$ 时的 R 值。此时的 $I_{Z\text{max}}$ 为多少?

(2) 若电网电压变化 $\pm 10\%$, 确保 $I_Z \geq 5\text{ mA}$ 时, R 值又为多少? 此时的 $I_{Z\text{max}}$ 为多少?

[答案: (1) $R \leq 0.752\text{ k}\Omega$, R 取 $680\text{ }\Omega$ 时, $I_{Z\text{max}} = 16.6\text{ mA}$; (2) $R \leq 0.637\text{ k}\Omega$, R 取 $620\text{ }\Omega$ 时, $I_{Z\text{max}} = 21\text{ mA}$ 。]

第二章 晶体管和交流放大电路

本章是学习电子技术的基础，是全课程的重点内容。

一、内容提要

(一) 晶体三极管

学习要求：熟悉晶体三极管的基本结构、工作原理、主要特性和参数；重点理解晶体管的电流放大作用和具有放大作用的条件；能应用晶体管的输入、输出特性分析其工作状态；能根据晶体管参数选管、使用和分析其性能。

1. 晶体管结构的主要特点是基区薄而掺杂少（其掺杂浓度约为发射区的 1:100），这就是晶体管具有电流放大作用的内部条件。

2. 晶体管具有放大作用的外部条件是发射结正偏，集电结反偏。即 NPN 型管的各极电位应满足 $V_C > V_B > V_E$ ，而 PNP 型管的各极电位应满足 $V_C < V_B < V_E$ 。

3. 从共射极电路的晶体管输入、输出特性中，分析可得：

(1) 晶体管是一种非线性元件，也是一种电流控制元件。

(2) 晶体管导通后，发射结具有恒压特性。在 $U_{CE} \geq 1V$ 的情况下，当 I_B 为定值时， I_C 的大小基本不随 U_{CE} 而变化，因此晶体管具有恒流特性。

(3) 由晶体管的输出特性可划分出晶体管的工作区：截止区、放大区和饱和区。在截止区是由于发射结反偏，发射区不发射载流子；而饱和区是由于集电结正偏，集电区不吸收载流子，因此，这两区均无电流放大作用。

(4) 晶体管的死区电压和导通时的发射结压降，是分析计算时常用的参数，应该熟记。

4. 晶体管的极限参数有 I_{CM} 、 BU_{CEO} 和 P_{CM} 等，使用时不得超过其极限参数，也是正确选择晶体管的依据。其性能参数有 β 、 I_{CBO} 和 I_{CEO} 等， I_{CBO} 和 I_{CEO} 值越小，管子性能越好。其间关系式为

$$I_{CEO} = (1 + \beta) I_{CBO} \quad (2-1)$$

理解晶体管参数时，需注意两点：在 $P_C < P_{CM}$ 的情况下，当 $I_C \geq I_{CM}$ 时，管子不致于烧毁，但 β 值下降过低； $P_{CM} \neq I_{CM} \cdot \beta U_{CEO}$ ，而是 $P_{CM} = I_C \cdot U_{CE}$ 。

(二) 单管交流电压放大电路

学习要求：了解交流电压放大电路的组成和各元件的作用；熟悉各元件的数量级；熟悉放大电路的习惯画法；了解放大电路在静态和动态时的工作状态；建立直流通路和交流通路的概念；掌握用近似计算法求静态值；了解直流分量对交流分量的作用以及交流分量对直流分量的依赖关系；理解电压放大倍数的概念。

1. 放大电路习惯画法的 $+E_C$ (或 $-E_C$) 端，初学者易误认为与接地端间是开路的，应引起注意。

2. 放大电路的作用是不失真地放大信号。因此须有合适的静态值, 以保证晶体管的发射结正偏, 集电结反偏, 所以说直流分量是放大电路有放大作用的条件。而交流分量是需要放大的信号, 它是“叠加”在直流分量的基础上, 才能获得放大, 并受直流分量的制约。

3. 为了便于分析交流放大电路的工作状态, 常将静态值与动态值分别考虑。单独分析动态分量的前提, 是存在静态分量, 不然是毫无意义的。

计算放大电路的直流量, 必须先画出它的直流通路。画直流通路的原则是电容支路开路, 电感元件短接。具有固定偏置电路的放大器, 计算静态值的步骤如下:

$$(1) \text{ 基极电流 } I_{BQ} = \frac{E_C - U_{BEQ}}{R_B} \approx \frac{E_C}{R_B} \quad (2-2)$$

$$(2) \text{ 集电极电流 } I_{CQ} = \beta I_{BQ} + I_{CEO} \approx \beta I_{BQ} \quad (2-3)$$

$$(3) \text{ 集-射极电压 } U_{CEQ} = E_C - I_{CQ} R_C \quad (2-4)$$

$$(4) \text{ 发射极电流 } I_{EQ} = I_{CQ} + I_{BQ} \approx I_{CQ} \quad (2-5)$$

分析交流分量时, 必须画出放大电路的交流通路。画交流通路的原则是: 大容量电容和直流电源内阻将交流信号短路。

4. 输入信号与输出信号幅值 (或有效值) 之比, 称电压放大倍数 $\dot{A}_U$, 即

$$\dot{A}_U = \frac{\dot{U}_{om}}{\dot{U}_i} = \frac{\dot{U}_o}{\dot{U}_i} \quad (2-6)$$

(三) 放大电路的图解分析法

学习要求:

1. 了解什么是图解分析法? 为什么要用图解分析法? 掌握图解法的步骤和方法。
2. 会应用图解法分析放大电路的静态, 会做直流负载线。其目的是确定静态工作点 Q , 并了解 R_B 、 R_C 和 E_C 等参数对直流负载线和 Q 点的影响。求 Q 点的关键是确定和 I_B 相对应的输出特性曲线及直流负载线。
3. 会应用图解法分析放大电路的动态, 会做交流负载线, 能分析各动态量间的相位关系 (如单管共射极电路的输出电压 $\dot{U}_o$ 与输入电压 $\dot{U}_i$ 反相等)。会求电压放大倍数; 会分析非线性失真, 并掌握调节 R_B 以减小非线性失真的方法; 能确定在不失真情况下的最大动态范围。

4. 从图解法可知, 所谓交流分量, 并不是说它能通过晶体管的两个 PN 结来回流动, 而是在直流分量的基础上, 上下变化。

(四) 放大电路的微变等效电路分析法

学习要求:

1. 了解微变等效电路实质是交流通路的等效电路。利用它以简化放大电路的动态分析。
2. 应用微变等效电路法的条件是: 交流信号是微变的小信号; 晶体管有合适的静态工作点。这样才可将非线性的放大电路看成为线性电路, 用线性网络理论分析放大电路的动态性能。
3. 正确理解输入电阻和输出电阻的概念, 能应用微变等效电路计算放大电路的电压放大倍数、输入电阻和输出电阻。

(1) 晶体管输入电阻的定义式 $r_{be} = \Delta U_{be} / \Delta I_b$, 其计算公式为

$$r_{be} = 300 + (\beta + 1) \frac{26(\text{mV})}{I_E(\text{mA})} \quad (\Omega) \quad (2-7)$$

晶体管输出电阻的定义式 $r_{ce} = \Delta U_{ce} / \Delta I_c \approx \infty$ 。

(2) 从固定式偏置放大电路的微变等效电路 (如图 2-1 所示), 可求得:

放大电路的输入电阻

$$r_i = R_B // r_{be} \approx r_{be} \quad (2-8)$$

放大电路的输出电阻

$$r_o = r_{ce} // R_C \approx R_C \quad (2-9)$$

等效负载电阻

$$R'_L = R_C // R_L \quad (2-10)$$

空载时的电压放大倍数 $\dot{A}_U = -\beta \frac{R_C}{r_{be}}$

(2-11)

负载时的电压放大倍数 $\dot{A}_U = -\beta \frac{R'_L}{r_{be}}$

(2-12)

考虑信号源内阻 R_S 时的电压放大倍数

$$\dot{A}_{US} = \frac{r_i}{R_S + r_i} \dot{A}_U \quad (2-13)$$

当 $R_B \gg r_{be}$, $r_i \approx r_{be}$ 时, 则

$$\dot{A}_{US} = -\frac{\beta R'_L}{R_S + r_{be}} \quad (2-14)$$

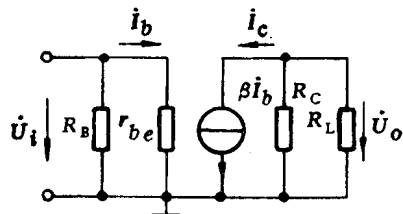


图 2-1

4. 必须建立的概念: 输入电阻和输出电阻是动态电阻 (交流等效电阻), 不能用来分析静态。如有人误认为 r_{be} 端的交流压降为 $0.6 \sim 0.7 \text{ V}$ 。

5. 必须区分 r_{be} 和 r_i 、 r_{ce} 和 r_o 以及 r_o 和 R'_L 等概念。

(五) 放大电路静态工作点的稳定

学习要求:

1. 温度变化是静态工作点不稳定的主要因素。

2. 稳定静态工作点的典型电路, 是分压式偏置的放大电路。它的工作特点是: 利用偏置 R_{B1} 和 R_{B2} 的分压作用以稳定基极电位 U_B , 并利用发射极电阻 R_E 的直流负反馈作用, 以稳定集电极电流 I_{CQ} 。其电路如图 2-2 所示。

3. 掌握分压式偏置放大电路求静态值的步骤:

(1) 基极电位

$$V_B = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} \cdot E_C \quad (2-15)$$

(2) 发射极电流

$$I_{EQ} = \frac{V_B - U_{BEQ}}{R_E} \approx \frac{V_B}{R_E} \quad (2-16)$$

(3) 集-射极电压 $U_{CEQ} = E_C - I_{CQ}(R_C + R_E)$

(2-17)

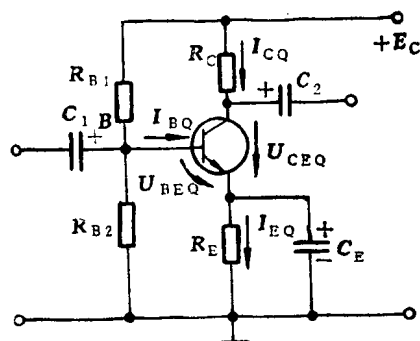


图 2-2