

杨素行主编 《模拟电子技术基础简明教程》
(第二版) 同步辅导

九章丛书



模拟电子技术基础 简明教程(第二版)全程辅导

编写 九章系列课题组
主编 苏志平

辽宁师范大学出版社



模拟电子技术基础简明教程(第二版)

全程辅导

编写 九章系列课题组
主编 苏志平

辽宁师范大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

模拟电子技术基础简明教程(第二版)全程辅导/苏志平主编. —大连:辽宁师范大学出版社,2004.8

ISBN 7-81103-073-X

I. 模… II. 苏… 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(2004)第 085427 号

[内容简介]本书是为了配合由高等教育出版社出版的清华大学电子学教研组杨素行主编《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)的教材而编写的辅导用书。

本书对教材中各章的重点、难点做了较深刻的分析,对各章习题及思考题做了全面解析解答。并且每章都附有自我检测题。本书将是电气信息类本科生的重要参考书,也是教师的参考书。

模拟电子技术基础简明教程(第二版)全程辅导

主编 苏志平

责任编辑:穆 杰

责任校对:童 娇

封面设计:黄志勇

出版者:辽宁师范大学出版社

地 址:大连市黄河路 850 号

邮 编:116029

印刷者:廊坊华星印刷厂

发 行 者:全国新华书店

幅面尺寸:727mm×960mm 1/16

印 张:22.25

字 数:350千字

出版时间:2004年8月第1版

印刷时间:2004年8月第1次印刷

本册定价:26.50元

前 言

《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)一直是大中专院校电子专业学生必修课程,其内容随着电子技术的发展而日趋丰富。这就产生了一个矛盾:一方面学生因所修课程越来越多而导致课内外时间减少。另一方面因为技术的进步又要求学生去了解比以前更多的知识。

今本书正是为了解决这一矛盾而精心编写的。

本书是与清华大学电子学教研组编写、杨素行主编的教材《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)同步配套的习题全程辅导书。本书除了有传统辅导书的解题过程外,主要有以下特点:

1. 知识点窍:运用公式、定理及定义来点明知识点。
2. 逻辑推理:阐述习题的解题过程。
3. 解题过程:概念清晰,步骤完整,数据准确,附图齐全。

把知识点窍——逻辑推理——解题过程联系起来,做到融汇贯通,最后给出本书的习题答案。在解题思路和解题技巧上进行精练分析和引导,巩固所学,达到举一反三的效果。

“知识点窍”和“逻辑推理”是本书的精华所在,是由多位著名教授根据学生在解题过程中存在的问题,进行分析而研究出来的一种新型的、拓展思路的解题方法。“知识点窍”提纲挈领地抓住了题目的核心知识,让学生清楚地了解出题者的意图,而“逻辑推理”则注重引导学生思维,旨在培养学生科学的思维方法,即掌握答题的思维技巧。在此基础上提供了详细的“解题过程”,使学生熟悉整个答题过程。本书在编写过程中,参考了杨素行老师编写的《模拟电子技术基础简明教程》(第二版)教师指导用书,并借鉴了书中部分插图,在此深表感谢。

由于编者水平有限及时间仓促,不妥之处在所难免。希望广大读者不吝批评、指正。

编 者

2004年8月

目 录

第一章 半导体器件	1
基本教学要求	1
内容概要	1
习题与思考题	5
典型提高题	21
第二章 放大电路的基本原理	25
基本教学要求	25
内容概要	25
习题与思考题	31
典型提高题	64
第三章 放大电路的频率响应	80
基本教学要求	80
内容概要	80
习题与思考题	85
典型提高题	95
第四章 集成运算放大电路	104
基本教学要求	104
内容概要	104
习题与思考题	111
典型提高题	127
第五章 放大电路中的反馈	138
基本教学要求	138
内容概要	138
习题与思考题	144
典型提高题	166

第六章 模拟信号运算电路	175
基本教学要求	175
内容概要	175
习题与思考题	179
典型提高题	199
第七章 信号处理电路	209
基本教学要求	209
内容概要	209
习题与思考题	211
典型提高题	229
第八章 波形发生电路	241
基本教学要求	241
内容概要	241
习题与思考题	245
典型提高题	265
第九章 功率放大电路	278
基本教学要求	278
内容概要	278
习题与思考题	280
典型提高题	291
第十章 直流电源	302
基本教学要求	302
内容概要	302
习题与思考题	307
典型提高题	338

第一章 半导体器件

基本教学要求

1. 掌握半导体二极管的伏安特性及主要参数。
2. 掌握稳压二极管的伏安特性及主要参数。
3. 掌握半导体三极管的输入、输出特性及主要参数。
4. 理解 PN 结的单向导电性。
5. 理解半导体三极管的放大作用。
6. 理解半导体三极管的放大原理、特性曲线及主要参数。
7. 了解半导体中的两种载流子。
8. 了解 N 型半导体和 P 型半导体。

内容概要

各种半导体器件,包括半导体二极管、稳压管、双极型三极管和场效应三极管等是构成各种模拟电子电路(包括分立元件电路和集成电路)的基本元件。因此,本章属于模拟电子电路的基本性内容。

1. 半导体二极管

(1) 半导体二极管的单向导电作用

半导体二极管的核心组成部分是一个 PN 结,在 PN 结中存在着两种载流子的运动:扩散运动和漂移运动。载流子的这两种运动产生相应的两种电流:扩散电流和漂移电流。扩散运动的结果使空间电荷区加宽,而漂移运动的结果是使空间电荷区变窄。当达到动态平衡时,扩散电流和漂移电流相等,PN 结中总的电流为零,空间电荷区的宽度达到稳定。

PN 结正向偏置时,即使加上一个很小的正向电压,回路中也将流过一个较大的正

向电流,说明PN结正向偏置时能够导电。如图1-1(a)所示。

PN结反向偏置时,反向电流极小,几乎等于零,此时PN结处于截止状态,说明PN结反向偏置时不能导电。如图1-1(b)所示。

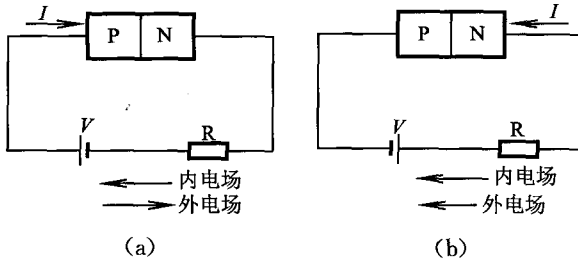


图 1-1

(2) 二极管的伏安特性

图1-2示出半导体二极管的伏安特性,由此可以清楚地看出它具有单向导电作用。

小功率锗二极管的死区电压约为0.1V,正向导通电压降为0.2~0.3V;

小功率硅二极管的死区电压约为0.5V,正向导通电压降为0.6~0.8V。

(3) 二极管的主要参数

最大整流电流 I_F ——长期运行时,通过二极管的最大正向平均电流不得超过此值,否则管子可能被烧毁。

最高反向工作电压 U_R ——加在管子两端的最高反向电压不得超过此值,否则管子可能被击穿。

反向电流 I_R ——在室温下,给二极管加上规定的反向电压时流过管子的反向电流。要求此值愈小愈好。

最高工作频率 f_M ——二极管允许的最高工作频率。

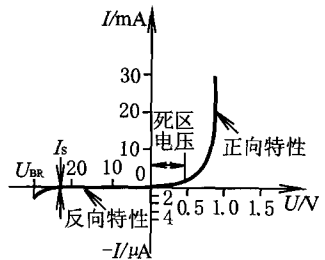


图 1-2

2. 稳压二极管

(1) 稳压管的伏安特性

稳压管的伏安特性如图1-3所示。使用稳压管时,为了使其工作在反向击穿区,应将外加电压的正端接稳压二极管的阴极,外加电压的负端接稳压二极管的阳极,如图1-3所示。

(2) 稳压管与一般的半导体二极管的区别

首先,为了利用二极管的单向导电性,一般的二极管常常既工作在正向特性区,也工作在反向特性区;而为了达到稳压的目的,稳压管通常工作在反向击穿区。

其次,一般来说,要求二极管的反向击穿电压比较高;而稳压管的反向击穿电压相对比较低,且要求根据需要做成不同的值。

再次,二极管如果被击穿,常常造成损坏;而稳压管虽然工作在反向击穿区,但只需要注意限制流过稳压管的电流,并不会损坏管子。

最后,二极管的主要用途有整流、检波等;而稳压管的主要用途是组成稳压电路。

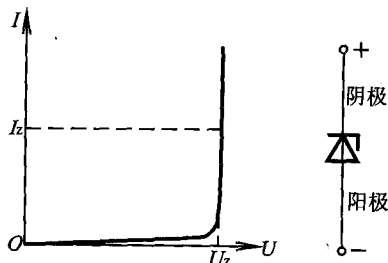


图 1-3

3. 双极型三极管

(1) 三极管的放大作用

三极管具有电流放大作用

$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

三极管中的电流分配符合以下关系

$$I_B < I_C < I_E, \text{ 且 } I_C \approx I_E$$

(2) 三极管的特性曲线

三极管的输入、输出特性曲线描述了三极管各极电流和电压之间的关系。NPN 三极管的共射输入、输出特性曲线如图 1-4 所示。

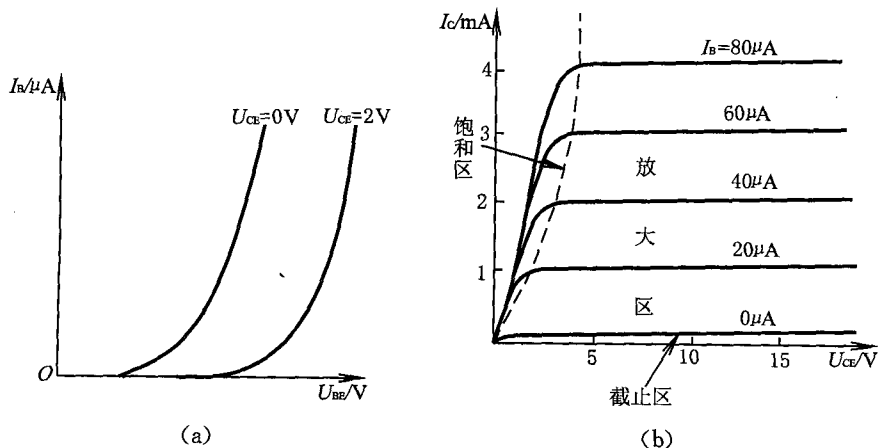


图 1-4

在图 1-4(b) 的输出特性上,可以划分为三个区:截止区,放大区和饱和区。在这三个区中,只有工作在放大区,三极管才具有电流放大作用,即集电极电流 I_C 和基极电流 I_B 之间存在以下关系:

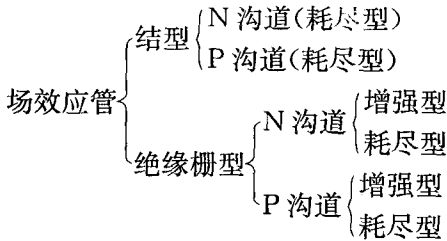
$$\Delta I_C = \beta \Delta I_B$$

4. 场效应三极管

(1) 双极型三极管与场效应三极管的电极对应关系

- 基极 $b \rightarrow$ 栅极 g
- 发射极 $e \rightarrow$ 源极 s
- 集电极 $c \rightarrow$ 漏极 d

(2) 场效应三极管的分类


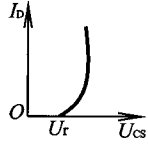
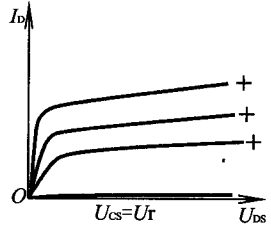

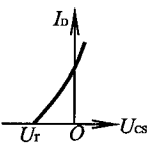
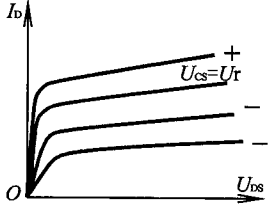

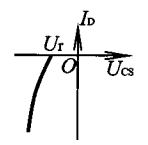
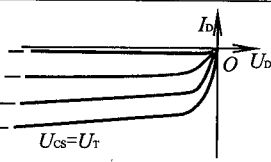

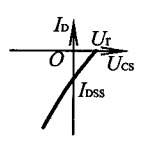
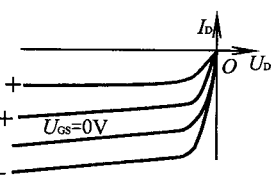


各种不同类型的场效应管的符号和特性曲线也都不同,如表 1-1 所示。

表 1-1 各种场效应管的符号和特性曲线

种 类	符 号	转移特性	漏极特性
结构 N 沟道 耗尽型			
结构 P 沟道 耗尽型			

续表

种 类	符 号	转移特性	漏极特性	
绝缘栅型 N 沟道	增强型			
	耗尽型			
绝缘栅型 P 沟道	增强型			
	耗尽型			

(1) 结型及绝缘栅耗尽型场效应管

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right)^2$$

$$g_m = -\frac{2I_{DSS}}{U_{GS(off)}} \left(1 - \frac{u_{GS}}{U_{GS(off)}}\right) = \frac{2}{U_{GS(off)}} \sqrt{I_{DSS} I_D}$$

(2) 绝缘栅增强型场效应管

$$I_D = K(u_{GS} - U_{GS(th)})^2$$

$$g_m = 2K(u_{GS} - U_{GS(th)}) = 2\sqrt{KI_D}$$

习题与思考题

题 1-1

欲使二极管具有良好的单向导电性,管子的正向电阻和反向电阻分别为大一些好,还是小一些好?

【知识点窍】

半导体二极管的单向导电性。

【逻辑推理】

半导体二极管的核心部分是一个 PN 结,根据 PN 结的形成原理推导。

【解题过程】

为了使半导体二极管具有良好的单向导电性,要求二极管的正向电阻愈小愈好,同时要求其反向电阻越大越好。通常理想二极管的正向电阻等于 0,反向电阻等于无穷大。

题 1-2

假设一个二极管在 50°C 时的反向电流为 $10\mu\text{A}$,试问它在 20°C 和 80°C 时的反向电流大约分别为多大?已知温度每升高 10°C ,反向电流大致增加一倍。

【知识点窍】

根据温度每升高 10°C ,反向电流增加一倍。

【逻辑推理】

通过实例计算,理解二极管的反向电流随温度升高而急剧增大的特性。

【解题过程】

在 20°C 时反向电流约为: $2^{-3} \times 10\mu\text{A} = 1.25\mu\text{A}$

在 80°C 时反向电流约为: $2^3 \times 10\mu\text{A} = 80\mu\text{A}$

题 1-3

某二极管的伏安特性如图 P1-3(a) 所示:

① 如在二极管两端通过 $1\text{k}\Omega$ 的电阻加上 1.5V 的电压,见图 P1-3(b),此时二极管的电流 I 和电压 U 各为多少?

② 如将图 P1-3(b) 中的 1.5V 电压改为 3V ,则二极管的电流和电压各为多少?

提示:可用图解法。

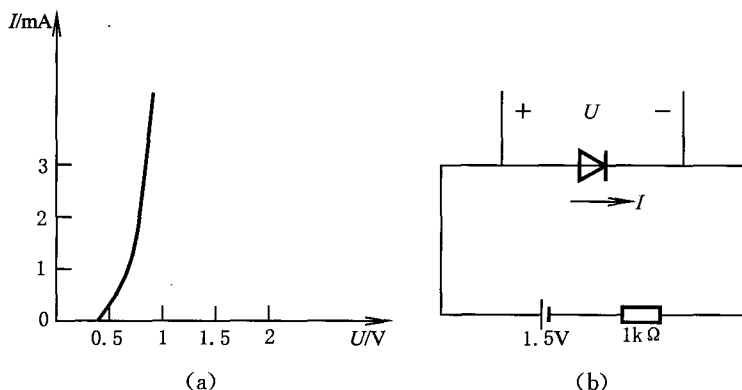


图 P1-3

【知识点窍】

二极管的伏安特性。

【逻辑推理】

清楚曲线上各参数的定义,并进一步分析,当二极管工作在正向特性区时,若电源电压增大,二极管的电流也随之增大,但管子两端的电压变化不大。

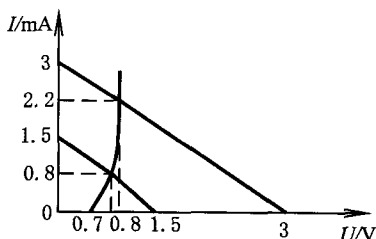
【解题过程】

采用图解法,其图解过程如图解 P1-3 所示:

由图解 P1-3 估算可得:

电源电压为 1.5V 时, $I \approx 0.8\text{mA}$, $U \approx 0.7\text{V}$

当电源电压改为 3V 时, $I \approx 2.2\text{mA}$, $U \approx 0.8\text{V}$



图解 P1-3

题 1-4

假设用万表示的 $R \times 10$ 挡测得某二极管的正向电阻为 200Ω ,若改用 $R \times 100$ 挡量测同一个二极管,则测得的结果将比 200Ω 大还是小,还是正好相等?为什么?

提示:使用万用表的欧姆挡时,表内电路为 1.5V 电池与一个电阻串联。但不同量程时这个串联电阻的值不同, $R \times 10$ 挡时的串联电阻值较 $R \times 100$ 挡时为小。

【知识点窍】

二极管的性质,万用表的构造。

【逻辑推理】

使用万用表欧姆档的不同量程测量二极管的正向电阻时,因表的内阻不同而将得

到不同的结果,使用其欧姆档时,表内电路为 1.5V 电池与一个电阻串联,且 $R \times 10$ 档时串联电阻值比 $R \times 100$ 档时要小。

【解题过程】

若改用 $R \times 100$ 档,测得的结果要比 200Ω 大。

题 1-5

已知在图 P1-5 中, $u_1 = 10\sin\omega t$ (V), $R_L = 1k\Omega$, 试对应地画出二极管的电流 i_D 以及输出电压 u_O 的波形,并在波形图上标出幅值,设二极管的正向压降和反向电注可以忽略。

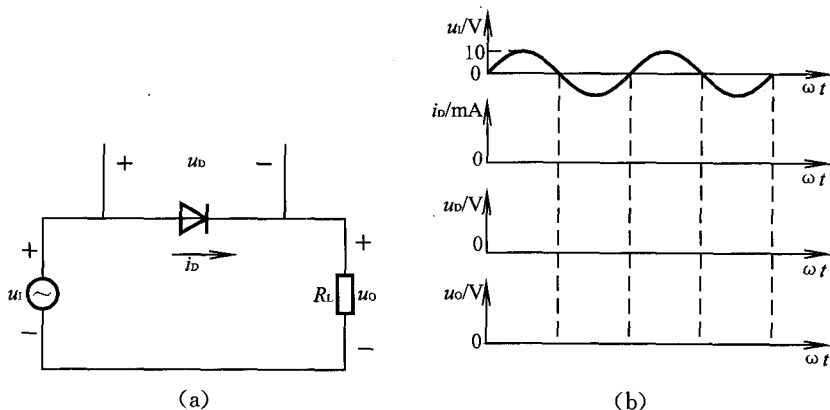


图 P1-5

【知识点窍】

二极管的单向导电性及其转移特性:二极管导通时, $u_D = 0.7V$; 二极管截止时, $i_D = 0$ 。

【逻辑推理】

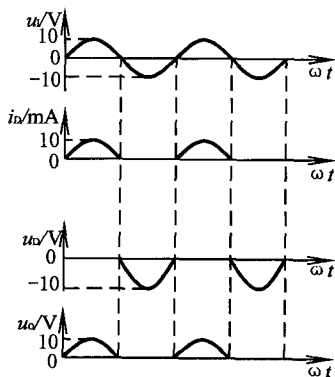
由题设二极管的正向压降和反向电流可以忽略,则在二极管两侧加正向电压时,二极管是导通的且其导电电阻为 0。当两侧加反向电压时,二极管是截止的,相当于一个无穷大电阻。

【解题过程】

由以上推理可得波形图如图解 P1-5 所示。

题 1-6

欲使稳压管具有良好的稳压特性,它的工作电流



图解 P1-5

I_Z 、动态内阻 r_Z 以及温度系数 a_u 等各项参数,大一些好还是小一些好?

【知识点窍】

稳压管的主要参数对稳压性能的影响。

【逻辑推理】

由 $r_Z = \frac{\Delta U}{\Delta I}$,当稳压管的电流变化时稳压管的电压变化量愈小,表明稳压效果愈好,因此 r_Z 愈小愈好;对于同一个稳压管而言,工作电流 I_Z 愈大其动态内阻 r_Z 愈小,因此 I_Z 愈大越好;温度系数 a_u 的绝对值愈小,表示当温度变化时,稳压管的电压变化百分比愈小。

【解题过程】

为了使稳压管具有良好的稳压特性,要求它的工作电流 I_Z 愈大愈好,但应注意不要超过其额定功耗,以免损坏稳压管,同时要求动态内阻 r_Z 与温度系数 a_u 的绝对值愈小愈好。

题 1-7

某稳压管在温度为 20°C ,工作电流为 5mA 时,稳定电压 $U_Z = 10\text{V}$,已知其动态内阻 $r_Z = 8\Omega$,电压的温度系数 $a_u = 0.08\%/^\circ\text{C}$,试问:

- ① 当温度不变,工作电流改为 20mA 时, U_Z 约等于多少?
- ② 当工作电流仍为 5mA ,但温度上升至 50°C 时, U_Z 约等于多少?

【知识点窍】

稳压管主要参数 U_Z 、 r_Z 和 a_u 的意义。

【逻辑推理】

利用稳压管主要参数的意义,由 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 以及 $\frac{\Delta U_Z}{U_Z} = \Delta T a_u$ 进行推导。

【解题过程】

$$\textcircled{1} \text{ 由 } r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} \text{ 知}$$

$$\begin{aligned} \Delta U_Z &= \Delta I_Z r_Z \\ &= (20 - 5) \times 10^{-3} \text{A} \times 8\Omega \\ &= 0.12\text{V} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{则 } U_Z &= (10 + 0.12)\text{V} \\ &= 10.12\text{V} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \text{ 由 } \frac{\Delta U_Z}{U_Z} = \Delta T a_u = (50 - 20)^\circ\text{C} \times 0.09\%/^\circ\text{C} = 2.7\%$$

$$\begin{aligned} \text{则} \quad U_Z &= 10\text{V} + 10\text{V} \times 2.7\% \\ &= 10.27\text{V} \end{aligned}$$

题 1-8

在图 P1-8 中, 已知电流电压 $V = 10\text{V}$, $R = 200\Omega$, $R_L = 1\text{k}\Omega$, 稳压管的 $U_Z = 6\text{V}$, 试求:

- ① 稳压管中的电流 $I_Z = ?$
- ② 当电源电压 V 升高到 12V 时, I_Z 将变为多少?
- ③ 当 V 仍为 10V , 但 R_L 改为 $2\text{k}\Omega$ 时, I_Z 将变为多少?

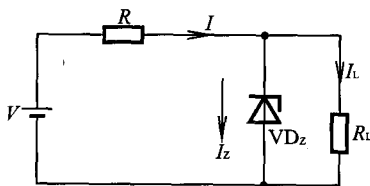


图 P1-8

【知识点窍】

稳压管的分析, KCL 定律: $I = I_Z + I_L$

【逻辑推理】

根据 $I = \frac{U}{R}$ 即欧姆定律计算各部分的电流值 I 及 I_L , 再根据 $I = I_Z + I_L$ 计算 I_Z 。

【解题过程】

- ① 由 $U_Z = 6\text{V}$, $R_L = 1\text{k}\Omega$ 则

$$I_L = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{6}{1}\text{mA} = 6\text{mA}$$

电路中的总电流:

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(10 - 6)\text{V}}{200\Omega} = 20\text{mA}$$

则稳压管中的电流:

$$I_Z = I - I_L = 20\text{mA} - 6\text{mA} = 14\text{mA}$$

- ② 当电源电压 V 升高到 12V 时, I_L 不变, 此时 $I_L = 6\text{mA}$

电路中的总电流:

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(12 - 6)\text{V}}{200\Omega} = 30\text{mA}$$

稳压管中的电流:

$$I_Z = I - I_L = 30\text{mA} - 6\text{mA} = 24\text{mA}$$

- ③ 当 R_L 改为 $2\text{k}\Omega$ 时

$$I_L = \frac{6\text{V}}{2\text{k}\Omega} = 3\text{mA}$$

电路中的总电流:

$$I = \frac{V - U_Z}{R} = \frac{(10 - 6)V}{200\Omega} = 20\text{mA}$$

所以此时稳压管中的电流:

$$I_Z = I - I_L = 20\text{mA} - 3\text{mA} = 17\text{mA}$$

题 1-9

设有两个相同型号的稳压管,稳压值均为 6V,当工作在正向时管压降均为 0.7V,如果将它们用不同的方法串联后接入电路,可能得到几种不同的稳压值?试画出各种不同的串联方法。

【知识点窍】

稳压管的分析:正向导通时, $u_D \approx 0.7\text{V}$;反向击穿时, $u_D = u_Z$ 。

【逻辑推理】

串联时,正接反接共有 3 种组态,分别求此时的电压。

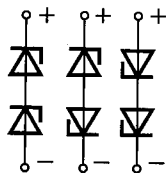
【解题过程】

串联时,正接反接 3 种不同的串联方法如图解 P1-9 所示。

其稳压值分别为:(a) $6 + 6 = 12\text{V}$

(b) $6 + 0.7 = 6.7\text{V}$

(c) $0.7 + 0.7 = 1.4\text{V}$



图解 P1-9

题 1-10

一个三极管的输出特性曲线见图 P1-10,试在图上求出 $U_{CE} = 5\text{V}$, $I_C = 6\text{mA}$ 处的电流放大系数 $\bar{\beta}$ 、 $\bar{\alpha}$ 、 β 和 α , 并进行比较。

【知识点窍】

三极管特性曲线。

【逻辑推理】

清楚曲线上各参数的定义,并通过比较理解 $\bar{\beta}$ 与 β , $\bar{\alpha}$ 与 α 的数值逼近性。

【解题过程】

根据各参数定义在曲线上的分别求出:

$$\bar{\beta} \approx \frac{I_C}{I_B} = \frac{6}{0.04} = 150$$

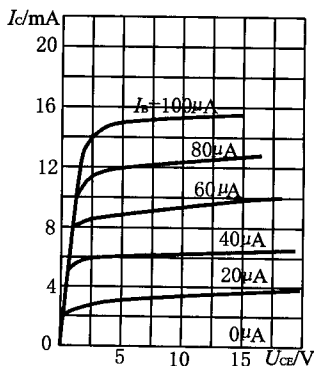


图 P1-10