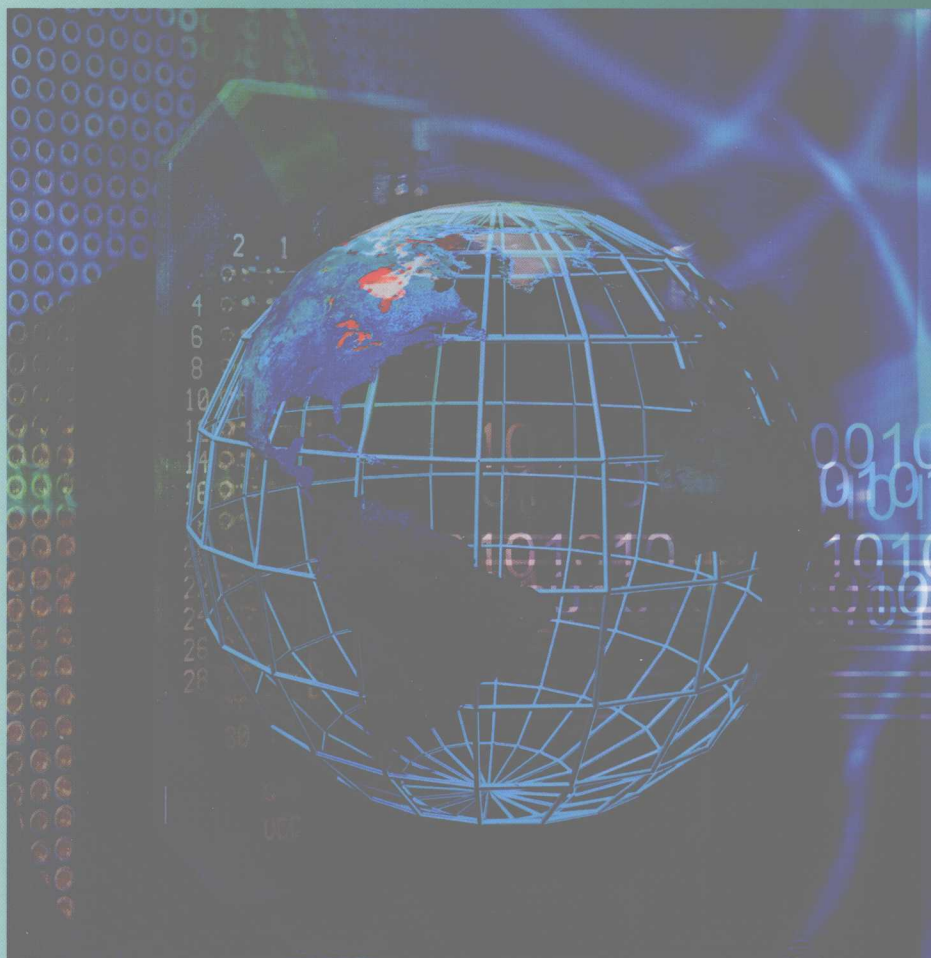


电子技术

学习指导与习题解答

李鸿林 路艳洁 张忠民 主编



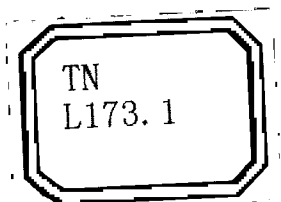
哈尔滨工程大学出版社



哈尔滨工程大学
国家工科基础课程教学基地
电工电子类系列教材

DIANZI JISHU XUEXI ZHIDAO YU XITI JIEDA





电子技术学习指导与习题解答

主 编 李鸿林 路艳洁 张忠民
主 审 席志红

哈尔滨工程大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

电子技术学习指导与习题解答/李鸿林,路艳洁,张忠民主编.
—哈尔滨:哈尔滨工程大学出版社,2006
ISBN 7-81073-793-7

I.电… II.①李…②路…③张… III.电子技术—高等学校—教学参考资料 IV.TN

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 006365 号

内 容 简 介

本书是根据国家教育部高等工程院校电工学课程指导小组审定的“电子技术课程教学基本要求”编写的教学参考书,包括模拟电子技术与数字电子技术两部分。

本书内容包括:半导体器件、放大电路、集成运算放大器、直流电源、数字电路基础、组合逻辑电路基础、时序逻辑电路、模—数转换器和数—模转换器、脉冲波形的产生与整形电路部分等。每章由教学要求、知识要点、典型例题和习题解答四部分组成。本书内容简明扼要、重点突出,具有较强的针对性和指导性。

本书与席志红主编的《电子技术》教材配套使用,可作为高等学校工科非电类各专业本科生、大专生的学习参考书,也可供工程技术人员自学使用。

哈尔滨工程大学出版社出版发行
哈尔滨市东大直街 124 号
发行部电话:(0451)82519328 邮编:150001
新华书店经销
黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷

*

开本 787mm×1 092mm 1/16 印张 12.5 字数 298 千字

2006 年 3 月第 1 版 2006 年 3 月第 1 次印刷

印数:1—3 000 册

定价:17.00 元

前 言

《电子技术学习指导与习题解答》是根据国家教育部高等工程院校电工学课程指导小组审定的“电子技术课程教学基本要求”编写的教学参考书,是与哈尔滨工程大学出版社出版的《电子技术》配套的教学参考书。

该书每章由教学要求、知识要点、典型例题和习题解答四部分组成。教学要求是要求学生必须掌握或了解的基本内容;知识要点简述了各章的基本内容、重点与难点,并对知识要点进行梳理、归纳及总结;典型例题是精选每一章典型习题进行分析,给出解题思路和方法;习题解答对教材中全部习题作了详细的解答,以供教师教学和学生参考。本书旨在使学生方便系统地学习电子技术,了解学习要点,理清知识脉络,通过典型例题掌握解答各类题型的思路、方法、规律和技巧,培养学生分析问题、解决问题的实际能力。

本书由李鸿林、路艳洁、张忠民主编,李鸿林负责全书的统稿和定稿,高微(大庆石油学院)参加编写,全书由席志红教授主审。

由于作者水平有限,书中难免有不足之处,恳请各位读者批评指正。

编 者
2006 年 2 月

目 录

上篇 模拟电子技术基础

1 半导体器件	1
教学要求.....	1
知识要点.....	1
典型例题.....	7
习题解答.....	12
2 放大电路	17
教学要求.....	17
知识要点.....	17
典型例题.....	27
习题解答.....	47
3 集成运算放大器	72
教学要求.....	72
知识要点.....	72
典型例题.....	77
习题解答.....	85
4 直流电源	98
教学要求.....	98
知识要点.....	98
典型例题.....	102
习题解答.....	108

下篇 数字电子技术基础

5 数字电路基础	116
教学要求.....	116
知识要点.....	116
典型例题.....	117
习题解答.....	118
6 组合逻辑电路基础	121
教学要求.....	121
知识要点.....	121
典型例题.....	124
习题解答.....	131

7 时序逻辑电路	142
教学要求	142
知识要点	142
典型例题	145
习题解答	154
8 模—数转换器和数—模转换器	169
教学要求	169
知识要点	169
典型例题	172
习题解答	174
9 脉冲波形的产生与整形电路	177
教学要求	177
知识要点	177
10 电子技术综述	181
附录	183

上篇 模拟电子技术基础

1 半导体器件

教学要求

- ① 掌握半导体的导电方式,熟悉 PN 结的单向导电性及结电容效应。
- ② 熟悉半导体二极管、稳压管和半导体三极管的基本原理,掌握它们的工作方式、特性曲线,了解其主要参数。
- ③ 理解半导体三极管的电流分配方式和电流放大作用,掌握其输出特性的三个工作区,为基本放大电路的学习做好准备。

知识要点

- ① PN 结的单向导电性与半导体二极管的伏安特性曲线。
- ② 半导体三极管的电流分配方式与电流放大作用。

1.1 半导体及其导电特性

(1) 半导体

半导体是指导电能力介于导体和绝缘体之间的一类物质,如四价元素硅、锗、硒,和大多数金属氧化物、硫化物等。在外界温度升高、光照或掺入适量杂质时,其导电能力大大增强,这被称为半导体的温度敏感特性、光敏感特性和掺杂特性。

(2) 本征半导体

纯净四价元素以共价键形式构成结晶结构,称为晶体。本征半导体就是完全纯净的具有晶体结构的半导体。

环境温度升高或光照时产生本征激发,形成自由电子和空穴。电子带负电,空穴带正电,在外电场作用下均能移动而导电,称为载流子。

(3) 杂质半导体

① P 型半导体:在本征半导体中掺入适量三价元素,形成空穴型(P 型)半导体。其导电能

力将大幅提高。在P型半导体中,空穴是多数载流子(多子),自由电子是少数载流子(少子)。

②N型半导体:在本征半导体中掺入适量五价元素,形成电子型(N型)半导体。在N型半导体中,自由电子为“多子”,空穴为“少子”。

1.2 PN 结及其单向导电性

(1)PN 结

用一定工艺方法将两种杂质半导体结合在一起,在界面上由于载流子浓度差异而产生扩散现象。扩散的载流子在边界两侧复合而形成带电的正、负离子,在界面两侧形成空间电荷区,称为PN结。

(2) 单向导电性

① 正向:P区接电源正极,N区接电源负极。外电场削弱了内电场的作用,扩散运动大于漂移运动,PN结呈现低阻导电状态。正向电流随外加电压的增加按指数规律上升,称为正向导通。

② 反向:P区接电源负极,N区接电源正极。此时外电场加强了内电场的作用,漂移运动增强,PN结呈现高阻近似不导电状态,称为反向截止。

1.3 半导体二极管

二极管的结构有点接触式和面接触式。P区引出阳极(+),N区引出阴极(-),符号与特性如图1-1所示。

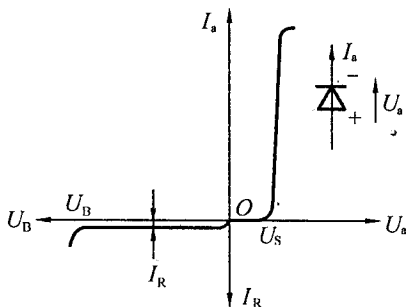


图1-1 二极管伏安特性

主要参数:死区电压 $U_s = 0.5\text{ V}$ (硅管)或 0.1 V (锗管);正向压降 $U_a = 0.6 \sim 0.8\text{ V}$ (硅管)或 $0.2 \sim 0.3\text{ V}$ (锗管),反向饱和电流 I_R ,反向击穿电压 U_B ;若外加反向电压超过 U_B ,则二极管发生击穿而损坏,失去单向导电性。

1.4 稳压管

稳压管的特性及符号如图 1-2 所示。它是特殊的面接触型二极管,PN 结正向导通为二极管,反向击穿为稳压管。PN 结反向击穿后管子电压 U_Z 几乎不随电流变化而变化,故可起到稳定电压的作用。稳压管与一般二极管不同,它的反向击穿是可逆的。

由于稳压管通常工作在 PN 结的反向击穿区,习惯上将图 1-2 所示特性曲线的第三象限设为稳压管的正常工作区,这一点与二极管不同。

主要参数:稳定电压 U_Z 、稳定电流 I_Z 、最大稳定电流 I_{Zmax} 、动态电阻 $r_z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$ 、耗散功率 $P_{Zm} = U_Z \cdot I_{Zmax}$ 。

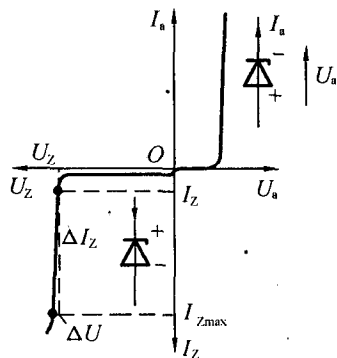


图 1-2 稳压管伏安特性

1.5 半导体三极管

(1) 结构与基本原理

三极管是由二个 PN 结、三个导电区和三个电极组合而成的。按结构可分为 NPN 型和 PNP 型两类。其结构示意图如图 1-3 所示。每一类都分成基区、发射区和集电区,分别引出基极 B、发射极 E 和集电极 C。

根据实现电流放大的要求,电源接法应保证:发射结正偏,集电结为反向偏置。三极管具有电流放大作用,因此可以实现电信号的放大和传递。

(2) 三极管的输入特性与输出特性

当三极管被接成共射极电路时,可以得到两组伏安特性,即输入特性 $I_B = f(U_{BE})$,如图 1-4 所示;输出特性 $I_C = f(U_{CE})$,如图 1-5 所示。其中输出特性可以分为三个区域:线性放大区、截止区和饱和区。

三极管若用于放大电路,则工作在线性放大区;若用于数字(或开关)电路,则工作在饱和区和截止区。

(3) 主要参数

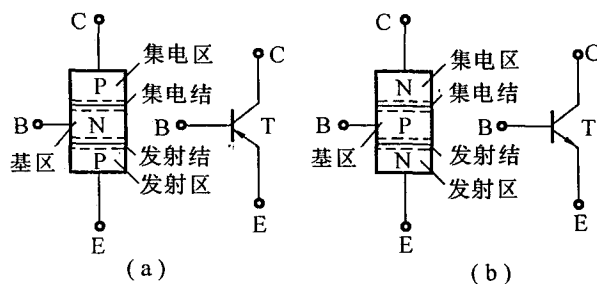


图 1-3 三极管的结构形式和图形符号
(a)PNP 型;(b)NPN 型

① 电流放大系数 $\bar{\beta}, \beta$

$$\bar{\beta} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

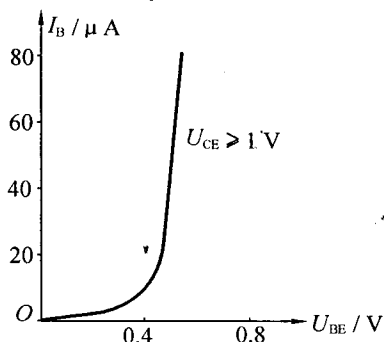


图 1-4 输入特性

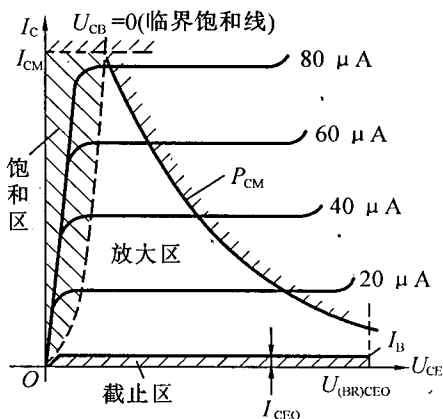


图 1-5 输出特性

② 集电极最大允许电流 I_{CM}

若集电极电流超过此值,则 β 下降 $\frac{1}{3}$ 。

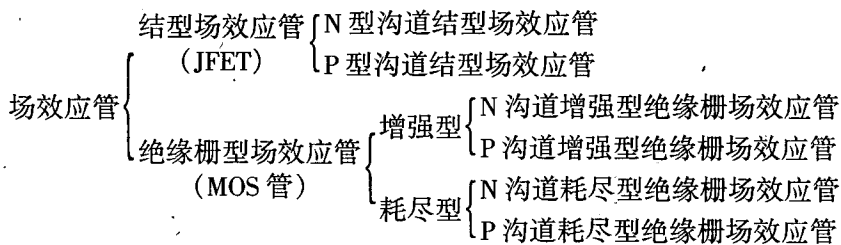
③ 集电极最大允许耗散功率 P_{CM}

$$P_{CM} = I_C \cdot U_{CE}$$

1.6 场效应管

场效应管是又一种半导体器件,其外形与普通三极管相似,但两者的控制特性却截然不同。普通三极管是电流控制元件,而场效应管是电压控制元件。

(1) 场效应管分类



(2) 场效应管符号及特性曲线归纳于表 1-1

表 1-1 场效应管的符号及特性曲线

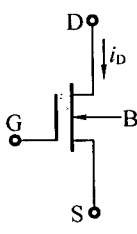
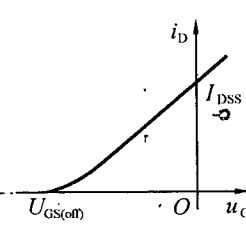
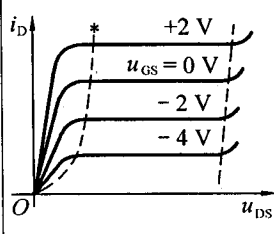
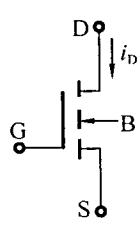
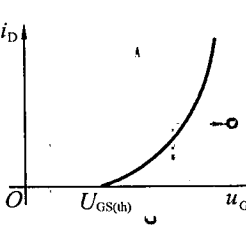
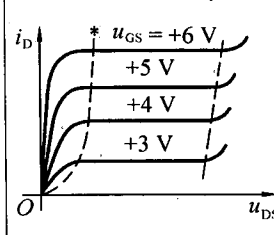
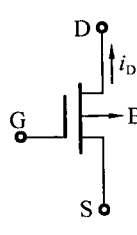
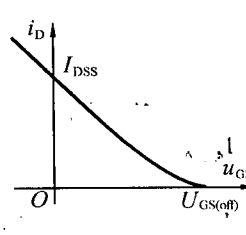
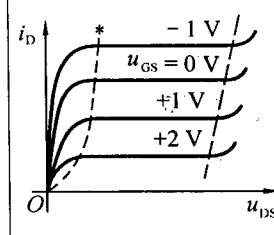
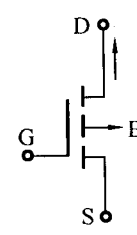
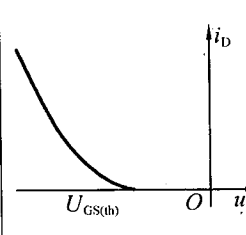
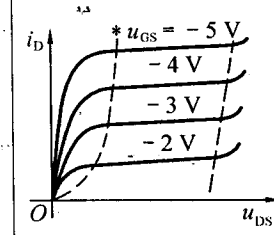
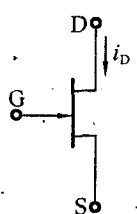
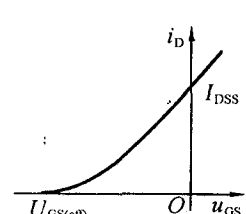
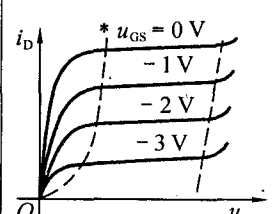
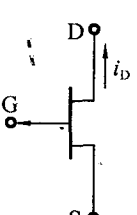
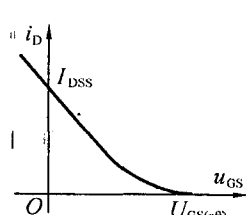
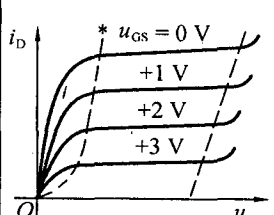
种类	结构类型	工作方式	电源极性		符号及电流方向	转移特性	输出特性
			U_{DS}	U_{GS}		$i_D = f(u_{GS}) _{u_{DS}=C}$	$i_D = f(u_{DS}) _{u_{GS}=C}$
绝缘栅型	N 沟道	耗尽型	+	-			
		增强型	+	+			
	P 沟道	耗尽型	-	+			
		增强型	-	-			

表 1-1(续)

种类	结构类型	工作方式	电源极性		符号及电流方向	转移特性	输出特性
			U_{DS}	U_{GS}		$i_D = f(u_{GS}) _{u_{DS}=C}$	$i_D = f(u_{DS}) _{u_{GS}=C}$
结型	N 沟道	/	+	-			
型	P 沟道	/	-	+			

注:有 * 号的虚线为 $u_{DS} = u_{GS} - U_{GS(off)}$ 或 $u_{DS} = u_{GS} - U_{GS(th)}$, 其是场效应管处于预夹断开始时的工作状态。虚线左边为变阻区, 右边为恒流区。

(3) 场效应管的电压—电流近似关系

① 结型及绝缘栅耗尽型场效应管:

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_{GS(off)}} \right)^2, \quad (0 \geq U_{GS} \geq U_{GS(off)})$$

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

式中 I_{DSS} ——饱和漏极电流(对 JFET) 或原始沟道漏极电流(对耗尽型 MOS);

$U_{GS(off)}$ ——夹断电压;

U_{GS} ——工作点栅源电源;

I_D ——工作点漏极电流;

g_m ——跨导, mA/V。

② 绝缘栅增强型场效应管:

$$I_D = K(U_{GS} - U_{GS(th)})^2, \quad (U_{GS} > U_{GS(th)})$$

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

式中 $U_{GS(th)}$ ——栅源开启电压;

U_{GS} ——工作点栅源电源;
 I_D ——工作点漏极电流;
 K ——表征转移特性曲线形状的系数。

典型例题

例 1-1 电路及输入信号如图 1-6(a)、(b) 所示, u_i 是输入电压的波形, 试画出对应于 u_i 的输出电压 u_o 、电阻 R 上电压 u_R 、二极管 D 上的电压 u_D 的波形, 并用基尔霍夫定律检验各电压之间的关系。二极管的正向压降可忽略不计。

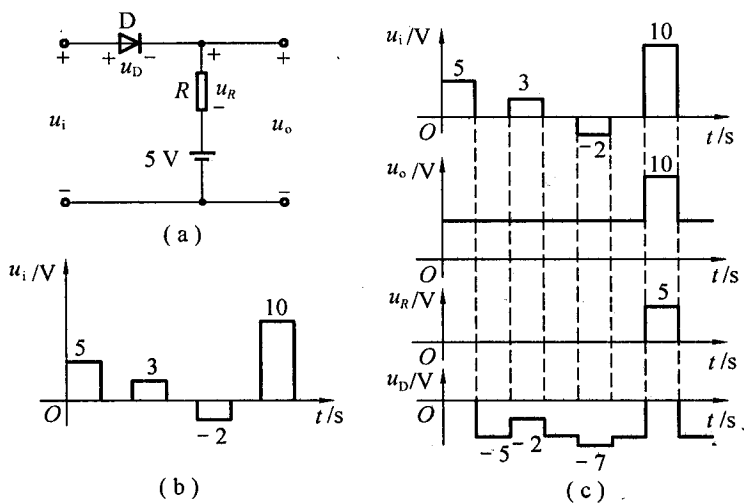


图 1-6

分析 此题的目的是熟悉二极管单向导电特性及其应用, 即二极管正向偏置导通, 反向偏置截止。根据输入电压值的不同, 可分段计算。

解 (1) 当 $u_i = 5 \text{ V}$ 时, 考虑到图中所示参考方向, 由基尔霍夫电压定律可列出

$$u_i = u_D + u_o = u_D + u_R + 5 \text{ V} = 5 \text{ V}$$

因为 D 两边电压相同, 所以 $u_D = 0 \text{ V}$, 二极管截止, R 中无电流流过, 由上式可知 $u_o = 5 \text{ V}$ 。

(2) 当 $u_i = 0 \text{ V}$ 时, D 反向偏置, $u_D = -5 \text{ V}$, D 截止, R 中无电流, 故 $u_R = 0 \text{ V}$, $u_o = 5 \text{ V}$ 。

(3) 当 $u_i = 3 \text{ V}$ 时, D 反向偏置, $u_D = -2 \text{ V}$, D 截止, R 中无电流, $u_R = 0 \text{ V}$, $u_o = 5 \text{ V}$ 。

(4) 当 $u_i = -2 \text{ V}$ 时, D 反向偏置, $u_D = -7 \text{ V}$, D 截止, R 中无电流, $u_R = 0 \text{ V}$, $u_o = 5 \text{ V}$ 。

(5) 当 $u_i = 10 \text{ V}$ 时, D 正向偏置导通, 当忽略其正向压降时, $u_o = u_i = 10 \text{ V}$; 因为 $u_o = u_R + 5$, 所以 $u_R = 5 \text{ V}$ 。

根据上述分析, 可作出 u_o , u_R , u_D 的波形如图 1-6(c) 所示。

例 1-2 在图 1-7(a) 所示电路中, 输入电压 $u_i = 10 \sin \omega t \text{ V}$, $E = 5 \text{ V}$, 输入信号波形如图 1-7(b) 所示。试画出输出电压 u_o 的波形。

解 由图可知

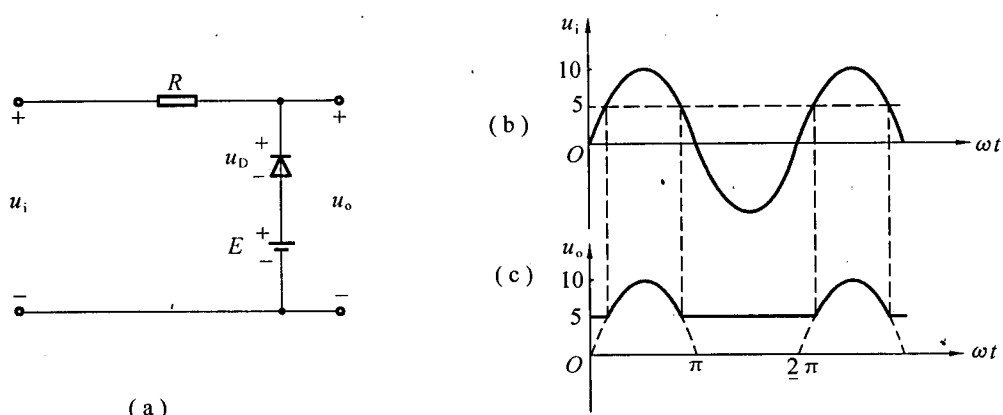


图 1-7

$$u_D = E - u_o$$

若 $u_i < E$, 则 $u_D > 0$, 二极管导通 $u_D = 0$, $u_o = E - u_D = E = 5$ V。

若 $u_i > E$, 则 $u_D < 0$, 二极管截止, $u_o = u_i$ 。

因此可画出 u_o 的波形, 如图 1-7(c) 所示。

例 1-3 图 1-8 所示电路中的二极管为理想二极管, 设 $u_i = 6 \sin \omega t$ V, 试画出输出电压 u_o 的波形。

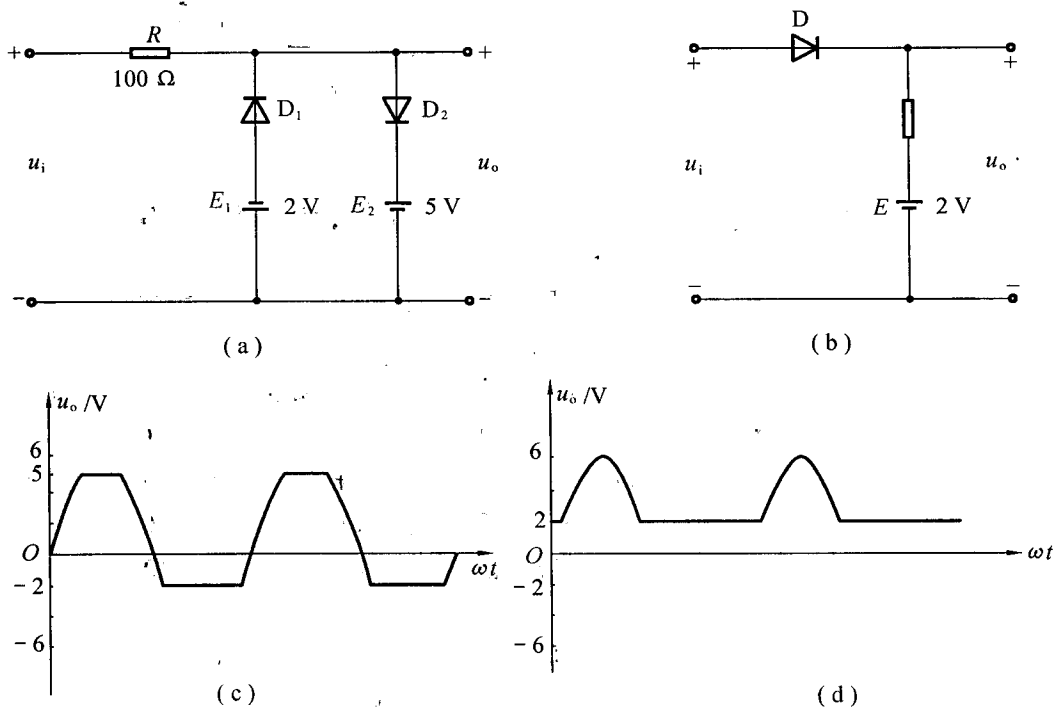


图 1-8

解 图(a):当 $u_i > E_2 = 5\text{ V}$ 时, D_2 导通, D_1 截止, $u_o = E_2 = 5\text{ V}$; 当 $u_i < E_1 = -2\text{ V}$ 时, D_1 导通, D_2 截止, $u_o = E_1 = -2\text{ V}$; 当 $E_1 < u_i < E_2$ 时, D_1 、 D_2 均截止, $u_o = u_i$ 。输出电压 u_o 的波形如图 1-8(c) 所示。

图(b):当 $u_i > E = 2\text{ V}$ 时, D 导通, $u_o = u_i$; 当 $u_i < E = 2\text{ V}$ 时, D 截止, $u_o = E = 2\text{ V}$, 输出电压 u_o 波形如图 1-8(d) 所示。

例 1-4 在图 1-9(a) 所示电路中, $u_i = 12\sin\omega t\text{ V}$, 双向稳压管 D_Z 的稳定电压 $U_Z = \pm 6\text{ V}$, 稳定电流 $I_Z = 10\text{ mA}$, 最大稳定电流 $I_{Z\max} = 30\text{ mA}$ 。试画出输出电压 u_o 的波形, 并求限流电阻 R 的最小值。

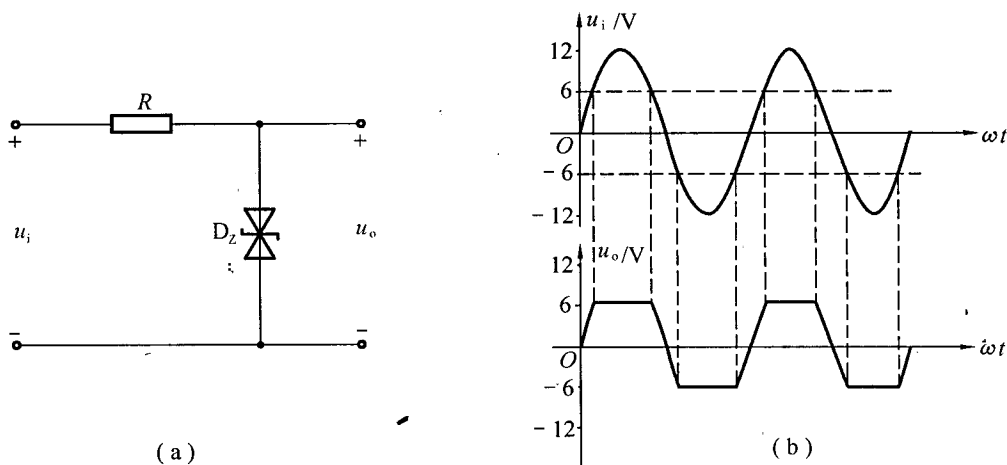


图 1-9

解 当 $|u_i| > |U_Z|$, 稳压管击穿, 输出电压 u_o 恒定; 当 $|u_i| < |U_Z|$, 稳压管截止, 输出电压 $u_o = u_i$ 。

由此可画出 u_o 的波形如图 1-9(b) 所示。

$$R_{\min} = \frac{U_m - U_Z}{I_{Z\max}} = \frac{12\text{ V} - 6\text{ V}}{30\text{ mA}} = 200\ \Omega$$

$$R_{\max} = \frac{U_m - U_Z}{I_Z} = \frac{12\text{ V} - 6\text{ V}}{10\text{ mA}} = 600\ \Omega$$

因此限流电阻范围为 $200\ \Omega \leq R \leq 600\ \Omega$, R 最小值为 $200\ \Omega$ 。

例 1-5 电路如图 1-10(a) 所示, 设稳压管的稳定电压 $U_Z = 10\text{ V}$, 试画出 $0\text{ V} \leq u_i \leq 30\text{ V}$ 范围内的传输特性曲线 $u_o = f(u_i)$ 。(传输特性: 输入 u_i 与输出 u_o 的关系)

解 当 $u_i < 10\text{ V}$ 时, D_Z 截止, 因此 $u_o = -u_i$;

当 $u_i \geq 10\text{ V}$ 时, D_Z 击穿, 因此 $u_o = u_i - 10\text{ V} - 10\text{ V} = u_i - 20\text{ V}$ 。

传输特性曲线 $u_o = f(u_i)$ 如图 1-10(b) 所示。

例 1-6 电路如图 1-11 所示, 已知 $E = 20\text{ V}$, $R_1 = 900\ \Omega$, $R_2 = 1\ 100\ \Omega$ 。稳压管 D_Z 的稳定电压 $U_Z = 10\text{ V}$, 最大稳定电流 $I_{Z\max} = 8\text{ mA}$ 。试分析稳压管中通过的电流 I_Z 是否超过 $I_{Z\max}$? 如果超过该怎么办?

解 对原电路应用基尔霍夫定律可列出如下方程组:

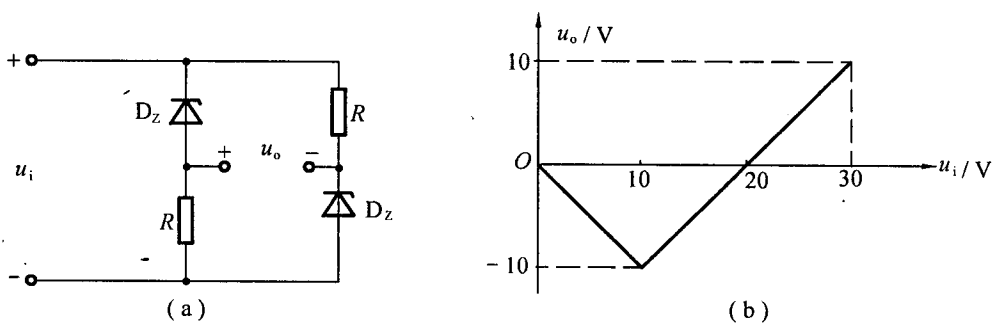


图 1-10

$$\begin{cases} E = U_Z + I_{R_1} R_1 \\ I_{R_1} = I_{R_2} + I_Z \\ U_Z = I_{R_2} R_2 \end{cases}$$

代入数值求解有 $I_Z = 2.02 \text{ mA}$, 由此可知 $I_Z < I_{Z\max}$ 。

若 $I_Z > I_{Z\max}$, 应增大 R_1 , 使其电流 I_{R_1} 减小, 进而由 $I_Z = I_{R_1} - I_{R_2}$ 可使 I_Z 减小。

例 1-7 晶体管工作在放大区时, 要求发射结上加正向电压, 集电结上加反向电压。试就 NPN 型和 PNP 型两种情况讨论。

- (1) U_C 和 U_B 的电位哪个高? U_{CB} 是正还是负?
- (2) U_B 和 U_E 的电位哪个高? U_{BE} 是正还是负?
- (3) U_C 和 U_E 的电位哪个高? U_{CE} 是正还是负?

解 先就 NPN 型晶体管来分析:

- (1) $U_C > U_B$, U_{CB} 为正;
- (2) $U_B > U_E$, U_{BE} 为正;
- (3) $U_C > U_E$, U_{CE} 为正。

PNP 管的各项结论同 NPN 管的各项结论相反。

例 1-8 有两个晶体管分别接在信号放大电路中, 今测得它们管脚的电位(对地)分别如表 1-2 所示, 试判断该晶体管的三个管脚, 并说明是硅管还是锗管, 是 NPN 型还是 PNP 型。

表 1-2

管 脚	1	2	3
晶体管 I 电位 /V	4	3.4	9
晶体管 II 电位 /V	-6	-2.3	-2

解 利用晶体管三个电极的电位判断其管脚及类型的依据:

对于 NPN 型晶体管,工作在放大状态时,三个电极的电位关系是 $V_C > V_B > V_E$;

对于 PNP 型晶体管,工作在放大状态时,有 $V_E > V_B > V_C$ 。

区别硅管和锗管的依据是 B、E 极之间的电压差,硅管在 B、E 之间电位差的绝对值约为 0.7 V,锗管 B、E 之间电位差的绝对值小于 0.3 V。

对于晶体管 I,有 $V_3 > V_1 > V_2$,且 1、2 之间的电位差为 0.6 V,可见此管应为硅管。当 3 脚对应集电极,1 脚对应基极,2 脚对应发射极时,符合 NPN 型晶体管工作在放大状态时三个电极的电位关系。因此,晶体管 I 为 NPN 型硅管。

对于晶体管 II,由所给条件有 $V_3 > V_2 > V_1$,3 与 2 之间的电位差为 0.3 V,因此 3 与 2 分别对应 E 和 B 两个电极,此管应为锗管,且当 3 对应于发射极,2 对应于基极,1 对应于集电极时,有 $V_E > V_B > V_C$,符合 PNP 型晶体管处于放大状态时对各电极电位的要求,由此得出晶体管 II 为 PNP 型锗管。

例 1-9 某晶体管极限参数为 $I_{CM} = 20 \text{ mA}$, $U_{(BR)CEO} = 20 \text{ V}$, $P_{CM} = 100 \text{ mW}$ 。试判定下列各种情况中哪种情况工作正常,为什么?

- (1) $U_{CE} = 5 \text{ V}$, $I_C = 8 \text{ mA}$;
- (2) $U_{CE} = 2 \text{ V}$, $I_C = 30 \text{ mA}$;
- (3) $U_{CE} = 10 \text{ V}$, $I_C = 12 \text{ mA}$;
- (4) $U_{CE} = 25 \text{ V}$, $I_C = 1 \text{ } \mu\text{A}$ 。

解 (1) $U_{CE} < U_{(BR)CEO}$, $I_C < I_{CM}$, $P_C = I_C \cdot U_{CE} = 8 \text{ mA} \times 5 \text{ V} = 40 \text{ mW} < P_{CM}$ 。故晶体管在此情况下工作正常。

(2) $I_C \gg I_{CM}$,其余指标正常,故 β 大大下降,有可能烧坏晶体管。

(3) $P_C = U_{CE} \cdot I_C = 10 \text{ V} \times 12 \text{ mA} = 120 \text{ mW} > P_{CM}$,晶体管被烧坏。

(4) $U_{CE} > U_{(BR)CEO}$,晶体管被击穿损坏。

例 1-10 图 1-12(a) 所示是某绝缘栅效应管的转移特性,图中查得原始沟道漏极电流 $I_{DSS} = 7.7 \text{ mA}$,夹断电压 $U_{GS(off)} = -8 \text{ V}$ 。试问:

- (1) 该场效应管是何种类型,画出其电路符号,标明漏极电流方向及各电极电源极性;
- (2) 试求 $U_{GS} = -2 \text{ V}$ 时工作点 Q 的漏极电流 I_D 及跨导 g_m 。

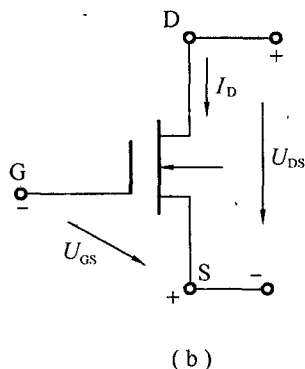
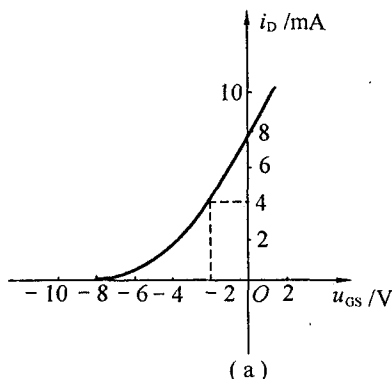


图 1-12