

电子技术基础

例题习题与实验

李 杰 毛晓波 贾更新 编著



中国计量出版社

TX01-22
L26

电子技术基础例题习题与实验

李 杰 毛晓波 贾更新 编著

中国计量出版社

图书在版编目 (DIP) 数据

电子技术基础例题习题与实验/李杰等编著. -北京: 中国计量出版社, 1997

ISBN 7-5026-0939-3/TN · 17

I. 电… I. 李… II. ①电子技术-基础理论-习题②电子技术-基础理论-实验 IV. TN01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 02664 号

中国计量出版社出版

北京和平里西街甲 2 号

邮政编码 100013

中国计量出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

版权所有 不得翻印

787×1092 毫米 16 开本 印张 17.75 字数 430 千字

1997 年 4 月第 1 版 1997 年 4 月第 1 次印刷

印数 1—4000 定价: 22.00 元

前 言

电子技术基础是电学类专业的技术基础课,其特点是内容多、发展快、实用性强。为适应电子技术飞速发展的需要,高等学校工科电子技术教学指导小组对电子技术基础课程教学基本要求进行了全面修订。另外,全国各高等院校都在进行学分制改革,学时少、内容多的矛盾更加突出。为更好地满足教学需要,根据修订后的教学基本要求,结合学分制改革及自学考试、函授教学等特点,特编写了这本学习指导书。

全书分为两篇。第一篇为电子技术基础例题与习题,包括模拟与数字两大部分。模拟部分包括半导体二极管和三极管、基本放大电路和多级放大电路、负反馈放大电路、集成运算放大器及其应用、正弦波振荡器、直流稳压电路等6章;数字部分包括数字逻辑基础、逻辑门电路、组合逻辑电路、触发器、时序逻辑电路、中大规模集成电路、脉冲信号的产生与整形、A/D与D/A转换器等8章。第二篇为电子技术基础实验,包括示波器使用练习、元器件测试、模拟与数字电路基本实验及综合设计实验等19个实验。

我们根据多年的教学经验,在编写本书时,本着“解释难点、突出重点、加强练习、利于自学”的原则,将模拟、数字各章内容均分为教学基本要求、重点难点分析、例题分析及习题等四部分,除传统题型外,还增加了大量的选择(单选、多选)、填空、判断等题型。为方便自学,各章习题后均附有标准答案。

本书通俗易懂、重点突出、题型丰富、利于自学,可作为高等院校电学类各专业的学习与实验指导书,也可供自学考试、函授教育作为辅助教材使用,还可作为考研及其他自学者的参考书。

本书第一篇模拟部分(第1~第6章)由李杰编写,数字部分(第7~第14章)由毛晓波编写,第二篇实验部分由贾更新编写。郑州工业大学张有顺副教授审阅了全书,并提出许多宝贵意见,编者在此深表谢意。

由于我们水平有限,书中如有错误和不妥之处,恳请广大读者批评指正!

编者

1996年7月于郑州

目 录

第一篇 电子技术基础例题与习题	(1)
1. 半导体二极管和三极管	(3)
2. 基本放大电路和多级放大电路	(7)
3. 负反馈放大电路	(7)
4. 集成运算放大器及其应用.....	(60)
5. 正弦波振荡电路.....	(89)
6. 直流稳压电路	(100)
7. 数字逻辑基础	(111)
8. 逻辑门电路	(123)
9. 组合逻辑电路	(138)
10. 触发器.....	(154)
11. 时序逻辑电路.....	(167)
12. 中大规模集成电路.....	(185)
13. 脉冲信号的产生与整形.....	(199)
14. A/D 与 D/A 转换器	(208)
第二篇 电子技术基础实验	(213)
15. 概述.....	(215)
16. 模拟电子实验.....	(217)
实验一 常用电子仪器使用练习.....	(217)
实验二 单管低频放大电路.....	(219)
实验三 RC 耦合两级放大电路	(222)
实验四 场效应管放大电路.....	(225)
实验五 负反馈放大电路.....	(227)
实验六 差动放大电路.....	(230)
实验七 互补对称功率放大电路.....	(232)
实验八 RC 正弦振荡器	(235)
实验九 集成运算放大器的线性应用.....	(237)
实验十 集成运算放大器的非线性应用.....	(240)
实验十一 串联稳压电源.....	(242)
17. 数字(逻辑)电子实验.....	(246)
实验一 SR8 双踪示波器使用练习	(246)
实验二 集成逻辑门电路及其应用.....	(248)
实验三 异或门、全加器及其应用.....	(252)

实验四	触发器.....	(257)
实验五	计数、译码显示电路.....	(261)
实验六	移位寄存器及其应用.....	(265)
实验七	555 定时器及其应用	(269)
实验八	数字逻辑电路的应用.....	(272)
参考文献		(276)

第一篇

电子技术基础例题与习题

·1· 半导体二极管和三极管

1.1 基 本 要 求

- (1) 熟练掌握普通二极管和稳压二极管的外特性及其主要参数。
- (2) 熟练掌握双极型三极管和单极型三极管的外特性及其主要参数。
- (3) 正确理解 PN 结的形成及工作原理。
- (4) 正确理解双极型、单极型三极管的工作原理。
- (5) 一般了解二极管和三极管的结构。

1.2 重点和难点分析

1.2.1 本征半导体和杂质半导体

- (1) 半导体。导电性能介于导体和绝缘体之间的物质，主要材料为硅(Si)和锗(Ge)。
- (2) 本征半导体。不含杂质的、纯净的半导体。
- (3) 本征激发。半导体中的价键电子由于外界温度能量的作用而脱离共价键的束缚形成自由电子的过程。共价键中剩余的空位称为空穴。
本征半导体中的自由电子和空穴是成对出现的，称为电子空穴对，它是由本征激发产生的。自由电子为负电荷，空穴则等效为正电荷。
- (4) 半导体中的载流子。半导体中存在有两种载流子，一种是带负电荷的自由电子，另一种是带正电荷的空穴。

在绝对温度为 0K 时，半导体中无本征激发，因而不能导电，为绝缘体。

- (5) 杂质半导体。包括：

a. N 型半导体。在本征半导体中掺入少量五价元素的半导体，其五价元素为磷、锑、砷等。

每掺入一个五价原子就能提供一个自由电子，所以称其为施主杂质半导体。N 型半导体中有大量的自由电子和少量的空穴，因而该种半导体中的多数载流子(简称多子)为自由电子，少数载流子(简称少子)为空穴。

b. P 型半导体。在本征半导体中掺入少量三价元素而形成的半导体，其三价元素为硼、镓、铟等。

每掺入一个三价原子就能提供一个空穴，所以称为受主杂质半导体。P 型半导体中有大量的空穴和少量的自由电子，因而该种半导体中的多子为空穴，少子为自由电子。

(6) 杂质半导体的导电情况。杂质半导体中仍然是由自由电子和空穴导电，但N型半导体中多子是自由电子，主要是靠自由电子导电；P型半导体中多子是空穴，主要是靠空穴导电。

1.2.2 PN结及其单向导电性

(1) PN结。在P型半导体和N型半导体的交界面上所形成的空间电荷区称为PN结，如图1—1所示。

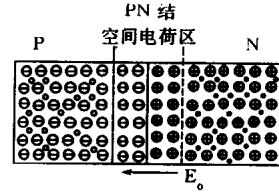


图1—1 PN结

PN结主要是由P区的多子（空穴）向N区扩散，使P区的交界面剩下负离子；同时N区的多子（自由电子）向P区扩散，使N区的交界面剩下正离子而形成的。

PN结又称耗尽层、势垒区、阻挡层等。PN结由于空间电荷的存在，有一定的内电场 E_0 ，其电势差为零点几伏。在PN结内电场作用下，P区的少子（自由电子）向N区运动，N区的少子（空穴）向P区运动，形成漂移运动。

PN结中存在有两种载流子运动：多子的扩散运动和少子的漂移运动，二者运动方向相反。扩散运动使PN结增厚，漂移运动使PN结变窄。扩散运动形成扩散电流，漂移运动形成漂移电流，到达平衡时，扩散电流与漂移电流相等，则空间电荷区宽度达到稳定，PN结中的总电流等于零。

(2) PN结的单向导电性：

a. PN结外加正向电压。P区接电源正极性，N区接电源负极性。

外电场与内电场方向相反，削弱了内电场，有利于多子的扩散，可形成较大的扩散电流，称为正向导通状态。这种外加电压的方式称为正向偏置，简称正偏。

PN结处于正偏状态时，导通电流随外加电压变化较大，表现为小电阻。

b. PN结外加反向电压。N区接电源正极性，P区接电源负极性。

外电场与内电场方向一致，增强了内电场，阻挡了多子的扩散，有利于少子的漂移。由于少子的浓度有限，仅能形成微小的电流，称为反向截止状态。这种外接电压方式称为反向偏置，简称反偏。

PN结处于反偏状态时，流过PN结的电流很微小且不随外界电压变化而变化，称为反向饱和电流 I_s ，其值为几十至几百微安。此状态的PN结表现为大电阻。

(3) PN结的反向击穿。PN结处于反偏状态时，当外加电压增大到一定数值时，流过PN结的电流猛增，此现象称为PN结反向击穿。

1.2.3 半导体二极管及其伏安特性

(1) 半导体二极管。在PN结的外面装上管壳，并将P区和N区各引出一个极就成了二极管。连接P区的端称为阳极或正极，连接N区的端称为阴极或负极。从结构上分为点接触型和面接触型两种。

(2) 二极管的伏安特性。图1—2所示为二极管的伏安特性。

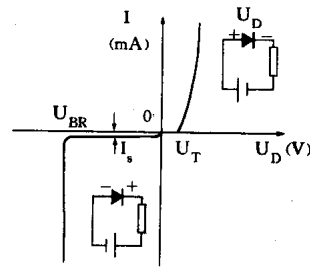


图1—2 二极管伏安特性

a. 正向特性为：

(a) 二极管有正向门坎电压，硅材料为0.5V，锗材料

为 0.1V。当外加正向电压小于该值时，二极管不导通。

(b) 外加正向电压大于门坎电压时，二极管所流过的电流与其两端的电压呈指数规律变化。

b. 反向特性为：外加反向电压时，二极管处于截止状态，流过二极管的电流值很小且不随外加电压的增加而增大（反向饱和电流 I_s ）。当外加电压增大到一定值时，流过二极管电流猛增，出现二极管的反向击穿，此时外加反向电压称为反向击穿电压 U_{BR} 。

(3) 理想二极管特性。二极管正向偏置时，二极管导通且二极管上的压降为零。二极管反向偏置时，二极管截止且反向饱和电流 I_s 为零。

(4) 二极管参数有：

a. 直流参数有最大整流电流 I_F 、反向饱和电流 I_s 、反向击穿电压 U_{BR} 等。

反向饱和电流越小，二极管的单向导电性就越好。由于该参数之值是由少子漂移运动形成的，少子由本征激发形成，所以该参数与温度有关，当温度升高时 I_s 将随之增大。

b. 交流参数有结电容 C 、最高工作频率 f_m 。

c. 开关参数有反向恢复时间 t_{re} 。

1.2.4 稳压二极管

(1) 稳压作用。稳压管利用二极管在反向击穿后通过管子的电流在很大范围内变化，而管子两端的电压变化很小的现象起到稳定电压的作用，其伏安特性如图 1—3 所示。

(2) 参数有稳定电压 U_s 、稳定电流 I_s 。

(3) 双向稳压管。图 1—4 (a) 所示的符号为双向稳压管，其工作相当于两个稳压管对接，如图 1—4 (b) 所示。无论外加电压方向如何，两个稳压管中总有一个处于反向偏置，起到稳压作用。

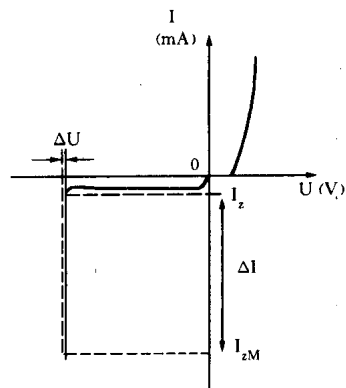


图 1—3 稳压管工作特性

稳压管对接与双向稳压管使用的差别在于：第一，前者必须有两个稳压管才能构成双向稳压电路，而后者仅用一个元件就可构成双向稳压电路；第二，前者的稳压值为稳压管的稳压值 U_s 加上稳压管正向导通电压 U_D ，而后的稳压值就只是双向稳压管的稳压值 U_s 。

1.2.5 半导体三极管（双极型三极管）

(1) 结构。三极管有两种：PNP 型和 NPN 型。其内部结构均包含三个区：发射区、基区和集电区；两个 PN 结：发射结和集电结。

NPN 型一般由硅材料制成，PNP 型一般由锗材料制成。

(2) 各极间电流分配关系。形成双极型三极管的电流是由自由电子和空穴两种载流子组成，其各极间的电流分配关系为：

$$I_C = \beta I_B + I_{CEO} \approx \beta I_B \quad (1-1)$$

$$I_E = I_B + I_C \quad (1-2)$$

$$I_E = (1 + \beta) I_B + I_{CEO} \quad (1-3)$$

式 (1—1) 说明双极型三极管是电流控制电流器件（即基极电流控制集电极电流），简称

为电流控制器件。

(3) 放大条件。当三极管处于放大状态时，其外部条件必须满足发射结正偏、集电结反偏，如图 1-5 所示。

三极管处于放大状态时，各极之间的电位关系为：

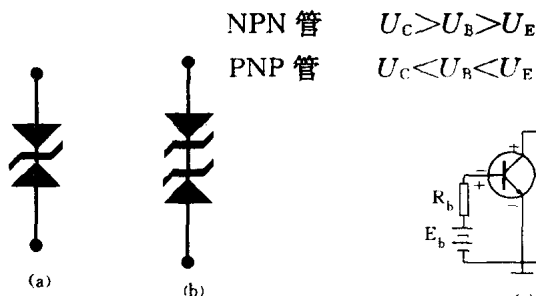


图 1-4 双向稳压二极管

(a) 符号；(b) 等效电路

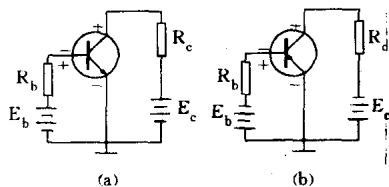


图 1-5 三极管处于放大状态外部条件

(a) NPN 型；(b) PNP 型

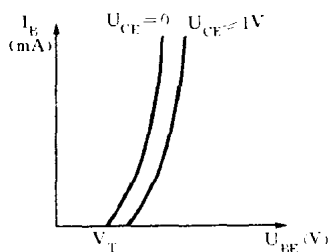


图 1-6 输入特性

(4) 特性曲线 (以 NPN 型为例)：

a. 输入特性。如图 1-6 所示，有门坎电压 V_T ：

$$V_T = \begin{cases} 0.5\text{V (硅)} \\ 0.1\text{V (锗)} \end{cases}$$

当三极管处于工作状态时，一般 U_{BE} 估算为： $U_{BE} = 0.6 \sim 0.8\text{V (硅)}$ 、 $U_{BE} = 0.2 \sim 0.3\text{V (锗)}$ 。

b. 输出特性。如图 1-7 所示，根据输出特性可以求出一些三极管的主要参数：

$$\bar{\beta} = \frac{I_{CA}}{I_{BA}} = \frac{1.1}{20 \times 10^{-3}} = 55$$

$$\tilde{\beta} = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{I_{CB} - I_{CA}}{I_{BB} - I_{bA}} = \frac{2.2 - 1.1}{(40 - 20) \times 10^{-3}} = 55$$

一般对于性能良好的管子 $\bar{\beta} = \tilde{\beta}$ 。

(5) 三极管处于三种工作区时，各极之间电位关系和电流关系如表 1-1 所示。

U_{ces} ：三极管的饱和压降；

I_{CS} ：当三极管处于饱和状态时集电极所流过的电流值，该值可由集电极电压方程求出。

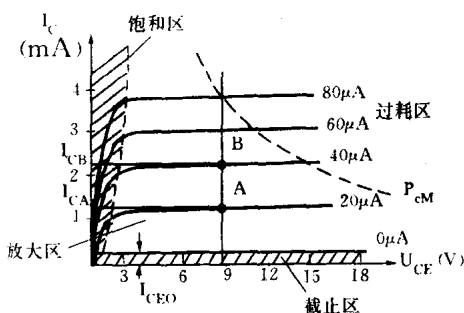


图 1-7 三极管输出特性

表 1—1 三极管三种工作区时各极之间电位关系和电流关系

	放大区	截止区	饱和区
各极间电位关系及特点	N $U_C > U_B > U_E$	U_C 最高	$U_B > U_C > U_E$
	P $U_{BE} \doteq \begin{cases} 0.6 \sim 0.7\text{V 硅} \\ 0.2\text{V 锗} \end{cases}$	$U_B - U_E < \begin{cases} 0.5\text{V 硅} \\ 0.1\text{V 锗} \end{cases}$	$U_{BE} = \begin{cases} 0.6 \sim 0.7\text{V} \\ 0.2\text{V} \end{cases},$
	N		$U_{CE} = U_{ces} = \begin{cases} 0.3\text{V 硅} \\ 0.1\text{V 锗} \end{cases}$
	P $U_C < U_B < U_E$	U_C 最低	$U_B < U_C < U_E$
	N $U_{BE} \doteq \begin{cases} -0.7 \sim -0.6\text{V 硅} \\ -0.2\text{V 锗} \end{cases}$	$U_B - U_E > \begin{cases} -0.5\text{V 硅} \\ -0.1\text{V 锗} \end{cases}$	$U_{BE} = \begin{cases} -0.7 \sim -0.6\text{V} \\ -0.2\text{V} \end{cases},$
	P		$U_{CE} = U_{ces} = \begin{cases} -0.3\text{V 硅} \\ -0.1\text{V 锗} \end{cases}$
电压关系	发射结正偏 集电结反偏	发射结小于开启电压或反偏 集电结反偏	发射结正偏 集电结正偏
电流关系及特点	$I_C = \beta I_B$	$I_B = 0$ $I_C = I_{CEO} \doteq 0$	$I_B \geq I_{BS} = \frac{I_{CS}}{\beta}$ I_{BS} 临界饱和值

三极管的三个工作状态：放大状态——三极管工作于放大区；饱和状态——三极管工作在饱和区；截止状态——三极管工作于截止区。

表 1—1 内容可用来判定三极管的材料、类型、管子工作区和管子的三个极。

(6) 三极管开关特性有开启时间和关闭时间。

开启时间 t_{on} 为三极管由截止状态到饱和导通状态所需的时间。

关闭时间 t_{off} 为三极管由饱和到截止状态所需要的时间。

(7) 三极管的参数：

a. 工作参数有共射电流放大系数 β 、穿透电流 I_{CEO} 和共基电流放大系数 α 。

$$\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \text{ 或 } \alpha = \frac{\beta}{1+\beta}$$

b. 极限参数有集电极最大允许电流 I_{CM} 、最大允许功率损耗 $P_{CM} = U_{CE} \times I_C$ 和 $BU_{BEO} < BU_{CEO} < BU_{CBO}$ 。

(8) 温度对三极管参数的影响。温度将影响 β 、 I_{CEO} 、 U_{BE} 等三个参数，当温度升高时 β 和 I_{CEO} 将随之升高而 U_{BE} 将随之下降，所以 β 参数具有正温度系数、 I_{CEO} 参数具有正温度系数、 U_{BE} 参数具有负温度系数。

1.2.6 场效应三极管（单极型三极管）

(1) 结构。场效应管有 N 沟道场效应管和 P 沟道场效应管两种。从结构上分有结型场效应管和金属氧化物场效应管两种。

(2) 场效应管中载流子。场效应管中构成电流的载流子只有一种，N 沟道是靠自由电子导电，P 沟道是靠空穴导电，所以称场效应管为单极型场效应管。

(3) 场效应管工作原理及电流控制关系：

a. 结型场效应管。利用 PN 结的反偏工作状态的电场效应，通过改变栅、源间反偏电压来改变 PN 结的宽窄，从而改变导电沟道的宽窄来控制漏、源极间的电流 I_D 的变化。

b. 金属氧化物场效应管。利用栅极与衬底（与源极相连）之间的电场感应产生感生沟道，通过改变栅、源间电压来改变感生沟道的厚度，从而控制漏、源极间的电流 I_D 的变化。

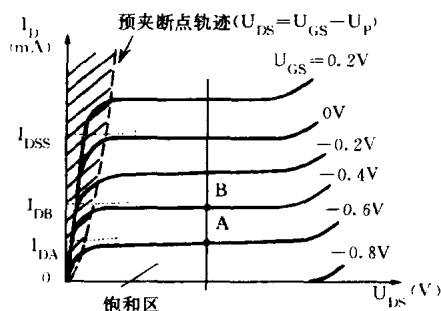


图 1—8 场效应管输出特性

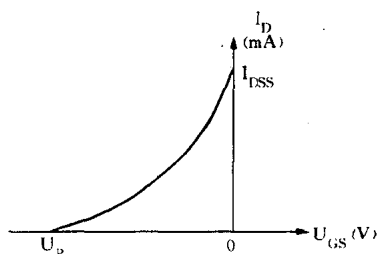


图 1—9 结型场效应管转移特性

c. 电流控制关系为

$$\Delta I_D = g_m \Delta U_{GS}$$

上式说明场效应管是电压（栅、源间电压）控制电流（漏、源极间电流）器件，简述为电压控制器件。

(4) 场效应管特性曲线：

a. 输出特性。如图 1—8 所示。

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{I_{DB} - I_{DA}}{U_{GSB} - U_{GSA}}$$

场效应管的饱和区即为线性放大工作区。

b. 转移特性。如图 1—9 所示，该曲线方程为

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

$$(U_P \leq U_{GS} < 0)$$

式中， I_{DSS} 为饱和漏电流，即 $U_{GS} = 0V$ 时漏、源极间电流值。

(5) 参数：

a. 直流参数有夹断电压 U_P 、饱和漏电流 I_{DSS} 、开启电压 U_T （增强型 MOS 管专用）、直流输入电阻 R_{GS} 和击穿电压 BU_{DS} 、 BU_{GS} 。

b. 交流参数有低频跨导 g_m ，该参数反映栅、源电压对漏极电流的控制能力，是表征场效应管放大能力的参数。

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} = \frac{d \left[I_{DSS} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2 \right]}{d U_{GS}} = - \frac{2 I_{DSS}}{U_P} \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)$$

g_m 与工作点位置有关。

c. 输出电阻 r_d 一般为几十千欧到几百千欧。

(6) 场效应管特点:

a. 仅靠一种载流子导电, 是单极型三极管。

b. 是电压控制电流器件。

c. 输入阻抗很高。

d. 参数的热稳定性好, 受温度的影响小。

e. 不易受外界辐射的影响。

f. 制造工艺简单, 易于集成化。

g. 功耗小。

h. 噪声系数小。

1.3 例题分析

例1 [单项选择题] 当温度升高时, 二极管的反向饱和电流应_____。

①增大; ②减小; ③不变; ④交替变化

解: 温度升高时, 本征激发增大, 半导体中少数数量增多, 而反向饱和电流是由少子形成的, 所以答案为①。

例2 [单项选择题] 电路中的二极管, 测量其外加正向压降为 $U_D = 0.6\text{V}$, 流过二极管的电流为 120mA , 则该二极管的正向直流电阻 R_D 是_____。

① 26Ω ; ② 15Ω ; ③ 10Ω ; ④ 5Ω

解: 二极管的直流电阻 $R_D = \frac{U_D}{I_D}$

所以 $R_D = \frac{0.6}{0.12} = 5\Omega$, 答案为④。

例3 电路如图1-10所示, 当输入信号 U_i 为正弦波信号时, 试定性画出各电路的输出电压波形 (二极管为理想二极管)。

解: 图(a)中 U_i 为正弦波, 当 U_i 为正半周时, 二极管处于正偏状态, 二极管导通, $U_{o1} = U_i$ 。当 U_i 为负半周时, 二极管处于反偏状态, 二极管截止, 电路中没有电流, 电阻两端压降为零, $U_{o1} = 0$, 所以 U_{o1} 的波形如图1-11所示。

图(b)中 U_i 为正半周时, 二极管为反偏状态, 二极管截止, $U_{o2} = 0$ 。当 U_i 为负半周时, 二极管导通, $U_{o2} = U_i$, 所以 U_{o2} 的波形如图1-11所示。

图(c)中当 U_i 为正半周时, 二极管处于正向偏置, 二极管导通, U_{o3} 为二极管两端电压, 所以 $U_{o3} = 0$ 。当 U_i 为负半周时, 二极管处于反偏状态, 二极管截止, 电路中没有电流, 电阻上电压降为零, $U_{o3} = U_i$ 。 U_{o3} 的波形如图1-11所示。

图(d)中分析原理同上, U_{o4} 的波形如图1-11所示。

例4 电路如图1-12所示, 试分析各电路的输出电压是多少? 设二极管正向导通电压 $U_D = 0.7\text{V}$, 反向饱和电流 $I_s \approx 0$ 。

解: 图(a)先设D为断路状态, 则 $U_a = 6\text{V}$ 、 $U_b = 10\text{V}$ 、 $U_a < U_b$, 所以二极管D处于反

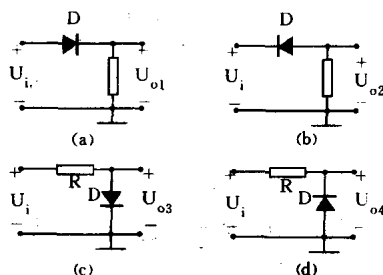


图1-10

偏状态；D 截止，所以 $U_{o1}=10V$ 。

图 (b) 先设 D_1 、 D_2 均为断开状态，则 $U_a=6V$ 、 $U_b=0V$ 、 $U_c=-3V$ ，对于 D_1 ， $U_a>U_b$ ，所以 D_1 截止；对于 D_2 ， $U_a>U_c$ ，所以 D_2 导通。 D_2 导通后管压降 $U_D=0.7V$ ，所以 $U_{o2}=2.3V$ 。

图 (c) 先设 D_1 为断开状态，则电路为图 1-13 所示，整个电路为开路，所以 $U_a=10V$ 、 $U_b=5V$ ， $U_a>U_b$ 。所以 D_1 处于正偏状态， D_1 导通。

再设 D_2 断开，则电路如图 1-14 所示， D_1 正向导通，电路中电流如图所示。所以

$$U_c = \frac{10 - U_D - 5}{R_1 + R_2} \times R_1 = \frac{10 - 0.7 - 5}{1 + 3} \times 3 \approx 3.225V$$

$U_d=0$ ，因为 $U_c>U_d$ ， D_2 处于反偏状态，所以 D_2 截止， $U_{o3}=3.225V$ 。

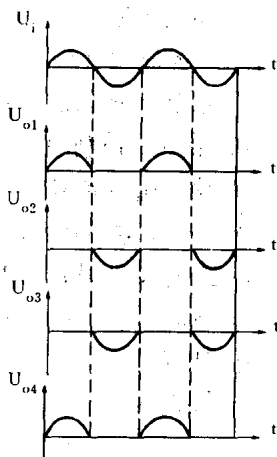


图 1-11

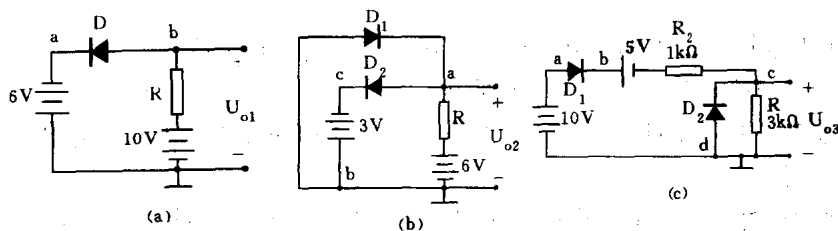


图 1-12

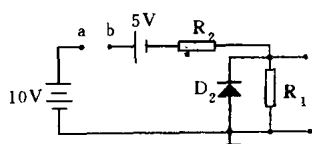


图 1-13

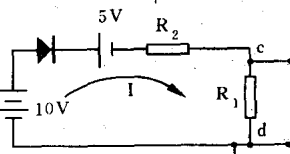


图 1-14

例 5 [单项选择题] 在图 1-14(b) 电路中，若 D_1 反接则输出电压为_____。

- ① 0.7V；② 6V；③ -2.3V；④ -3.7V

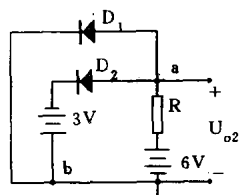


图 1-15

解：将 D_1 反接得电路如图 1-15 所示，先设 D_1 、 D_2 断开，则 $U_a=6V$ 、 $U_b=0V$ 、 $U_c=-3V$ ，因此， $U_a>U_b$ 、 $U_a>U_c$ ，所以 D_1 、 D_2 处于正偏导通。

在实际电路中， D_1 导通， $U_a=U_{D1}=0.7V$ 。 D_2 导通， $U_a=U_c+U_{D2}=-3+0.7=-2.3V$ 。显然 D_1 、 D_2 同时导通时， U_a 的电位值不同，出现矛盾，说明 D_1 、 D_2 不可能同时导通。

在设 D_1 、 D_2 断开时， $U_{ab}=U_a-U_b=6-0=6V$ 、 $U_{ac}=U_a-U_c=6-(-3)=9V$ ， $U_{ac}>U_{ab}$ 。所以 D_2 优先导通， D_2 导通后 $U_{ab}=-2.3V$ ， D_1 处于反偏状态， D_1 截止不通。所以输出电压为 -2.3V。答案为③。

例 6 [单项选择题] 如图 1-16 电路所示，稳压管的稳压值 $U_z=5V$ ，稳压管的正向导通压降为 0.7V，则 U_{ao} 为_____。

- ① 10V；② 0.7V；③ 5V；④ 9.3V

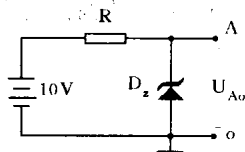


图 1-16

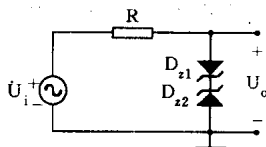


图 1-17

解：设 D_z 断开， $U_{Ao}=10\text{V}$ 大于稳压管的稳压值，所以稳压管反向击穿， $U_{Ao}=5\text{V}$ 。答案为③。

例 7 电路如图 1-17 所示， U_i 为如图 1-18 所示正弦波，试画出输出电压波形。 D_{z1} 和 D_{z2} 均为硅稳压管，其中 $U_{z1}=7\text{V}$ 、 $U_{z2}=3\text{V}$ 。

解：由图 1-18 可知， D_{z1} 和 D_{z2} 为反向对接。当 U_i 为正半周时， D_{z1} 正偏， D_{z2} 反偏。当 $U_i \geq U_D + U_{z2} = 0.7 + 3 = 3.7\text{V}$ 时， D_{z1} 正向导通， D_{z2} 反向击穿，输出电压被稳定在 3.7V 。当 U_i 为负半周时， D_{z1} 为反偏， D_{z2} 为正偏；当 $U_i \leq -U_{z1} + (-U_D) = -7 - 0.7 = -7.7\text{V}$ 时， D_{z1} 反向击穿， D_{z2} 正向导通，输出电压被稳定在 -7.7V 。所以，其输出波形如图 1-18 所示。

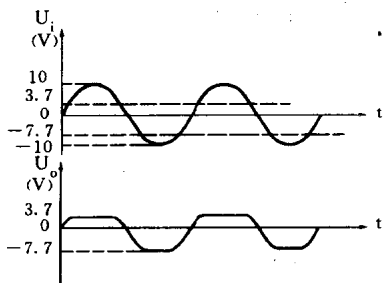


图 1-18

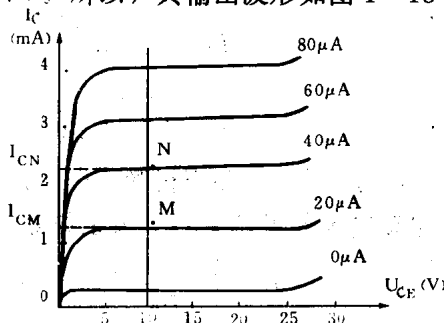


图 1-19

例 8 [多选题] 图 1-19 所示为三极管输出特性曲线，根据该曲线可获得如下正确参数：

- ① $\beta=50$ ；② $\alpha=97$ ；③ $I_{CEO}=0.2\text{mA}$ ；④ $BU_{CEO}=30\text{V}$ ；⑤ $I_{CBO}=3.9\mu\text{A}$

解：(1) 在特性曲线的线性区；取直线与特性曲线任取两个交点 M 和 N，则 $\beta = \frac{I_{CN} - I_{CM}}{I_{BN} - I_{BM}} = \frac{2.2 - 1.2}{(40 - 20) \times 10^{-3}} = \frac{1}{20 \times 10^{-3}} = 50$ 所以 $\beta=50$ ，①正确。

(2) $\alpha = \frac{\beta}{1 + \beta} = \frac{50}{1 + 50} = 98$ ，所以答案②错误。

(3) 由 $I_B = 0\mu\text{A}$ 曲线查知， $I_C = 0.2\text{mA}$ 。所以 $I_{CEO} = 200\mu\text{A}$ ，答案③正确。

(4) 由 $I_B = 0\mu\text{A}$ 曲线在 $U_{CE} = 25\text{V}$ 开始急剧上升，则 $BU_{CEO} = 25\text{V}$ ，所以答案④错误。

(5) $I_{CBO} = \frac{I_{CEO}}{(1 + \beta)} = \frac{200}{1 + 50} = 3.92\mu\text{A}$ ，所以⑤正确。正确参数为①、③、⑤。

例 9 已知电路中处于放大工作状态的某三极管三个端的电位分别是 $U_A = -3.8\text{V}$ 、 $U_B = -5.4\text{V}$ 、 $U_C = -6.1\text{V}$ 。试问该三极管是什么材料？是什么类型？A、B、C 分别各为什么极？

解：根据三极管工作在放大状态的电位特点及 U_{BE} 的特征值（参见表 1-1），因为 U_B 与 U_C 相差 0.7V ，所以该三极管是硅材料，则 A 端是集电极。又因 $U_A > U_B > U_C$ ，所以该管为 NPN 型。NPN 型基极电位大于发射极电位，所以 B 端是基极，C 端是发射极，即：A→c、B→b、C→e。