

21世纪普通高等学校规划教材

电子技术 学习指南

窦春霞 主编

DIANZI JISHU
XUEXI ZHINAN



中国标准出版社
www.bzcbs.com



21 世纪普通高等学校规划教材

电子技术学习指南

窦春霞 主编

中国标准出版社

内 容 简 介

本书作为 21 世纪普通高等学校规划教材《电子技术》的配套教材,该书以提高电子技术基础知识和解题技巧为主导,既能加深和巩固学生对电子技术课程重点和难点的理解,又重在解决学生因教不会而造成学不扎实的难题,为学生自学、自测及考试提供有效的学习指导。

本书每章均按“基本要求”、“学习要点”、“习题详解”、“自测题及参考答案”四个方面加以论述。主要适用于机械设计、机械制造、机械电子工程、汽车与交通等机械工程学科的各个专业方向,也适用于如材料学科、化工、过程装备等其他非电类专业。同时也是上述学科及其他相关学科工程技术人员很好的实用参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

电子技术学习指南/窦春霞主编. —北京: 中国标准出版社, 2004

21 世纪普通高等学校规划教材

ISBN 7-5066-3469-4

I. 电… II. 窦… 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 (2004) 第 030411 号

中国标准出版社出版发行

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码 100045

网址 www.bzcs.com

电话: 68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787×1092 1/16 印张 9.5 字数 214 千字

2004 年 5 月第一版 2004 年 8 月第二次印刷

*

定价 16.00 元

如有印装差错 由本社发生中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68533533

前

言

1996 年教育部正式启动了“面向 21 世纪高等工程教育教学内容和课程体系改革计划”, 据此我教研室对高等院校电工电子系列课程教学内容和课程体系进行了研究与实践, 针对普通高等院校非电类学生编写了《电工技术》、《电子技术》教材, 以满足创新人才的培养、课程体系的改革以及课程内容的更新等富有时代特色的要求。而《电子技术学习指南》是上述这套教材中《电子技术》的配套教材, 其中包括在新的课程体系下电子技术的学习难点和重点、习题详解及补充习题, 以便在新的教学体系下更好地学习和掌握《电子技术》这门课程。如何正确理解、掌握《电子技术》中的学习要点, 提高课程学习的水平、开阔解题思路和掌握解题技巧, 适应课程考试, 有很多同学对这个问题没有正确的认识, 认为学好《电子技术》就是要多解题、解难题, 这种想法是片面的。解题目的是通过解题来巩固和加深所学的知识, 提高解题的熟练程度, 训练灵活运用电子技术知识的能力。为了获得这样的综合素质, 就需要有一本能够完成这种任务的《电子技术学习指南》, 本书的编

写意图就是以此为宗旨的。

该书结合《电子技术》主讲教材,指出课程的基本要求、学习的重点和难点,并对其作进一步分析和讲解。同时对《电子技术》主讲教材习题做了详细解答,在解答过程中特别注意方法、技巧和应用实例相结合,同时借鉴国内外同类教材的应用实例,力求达到学有所用,以便读者学习如何进行分析和解决实际问题。在补充习题的环节上,为了培养学生分析问题和解决问题的素质与能力,增加工程性习题、设计性习题和综合性习题并均给出参考答案,以便读者提高分析、设计、解决实际应用问题的能力。

全书内容的基本要求和学习要点由窦春霞老师编写,第一章、第三章和第七章的习题详解和补充习题由王莉丽老师编写,第二章和第四章的习题详解和补充习题由曲正伟老师编写,第五章和第六章的习题详解和补充习题由王云静老师编写。袁石文老师为主审。在本书的编写过程中,得到燕山大学电工学教研室全体同事的帮助,也得到兄弟院校同行的大力支持,在此表示衷心的感谢。由于编者水平有限,错误和缺点在所难免,敬请读者批评指正。

编 者

2004 年 3 月

目 录

第一章 半导体器件	1
一、基本要求	1
二、学习要点	1
三、习题详解	4
四、自测题及参考答案	10
第二章 放大电路基础	15
一、基本要求	15
二、学习要点	15
三、习题详解	19
四、自测题及参考答案	41
第三章 集成运算放大器	59
一、基本要求	59
二、学习要点	59
三、习题详解	61
四、自测题及参考答案	70
第四章 直流稳压电源	78
一、基本要求	78
二、学习要点	78
三、习题详解	79
四、自测题及参考答案	90

第五章 逻辑门电路及组合逻辑电路	92
一、基本要求	92
二、学习要点	92
三、习题详解	94
四、自测题及参考答案	110
第六章 触发器与时序逻辑电路	114
一、基本要求	114
二、学习要点	114
三、习题详解	117
四、自测题及参考答案	133
第七章 模拟信号和数字信号的相互转换	142
一、基本要求	142
二、学习要点	142
三、习题详解	142
参考文献	144

第一章 半导体器件

半导体器件是近代电子学的重要组成部分。半导体器件是用半导体材料制成的电子器件,常用的有二极管、三极管、场效应管和晶闸管等。这些器件是构成各种电子电路最基本的元器件。由于半导体器件具有体积小、质量轻、使用寿命长、输入功率小和功率转换效率高等优点而得到广泛的应用。随着电子技术的飞速发展,各种新型半导体器件层出不穷。本章主要介绍了半导体的基本知识,讨论了半导体二极管、三极管、场效应管和晶闸管的工作原理、导电特性及特性曲线。这些内容为学习各种电子电路奠定必要的基础。

一、基本要求

- (1) 掌握半导体材料的导电机理及 PN 结具有单向导电性。
- (2) 掌握二极管的伏安特性,理解二极管的应用范围和特性参数。
- (3) 理解稳压管的伏安特性和主要参数,了解稳压管的稳压原理。
- (4) 了解三极管的结构,掌握三极管电流分配和电流放大作用,熟练掌握三极管的特性曲线及主要参数。
- (5) 了解场效应管的结构,掌握其工作原理和特性曲线、主要参数。
- (6) 了解晶体管的基本结构和导电机理。

二、学习要点

本章的重点是:PN 结的单向导电性、二极管的伏安特性以及三极管的特性曲线和放大作用。

本章的难点是:PN 结形成过程中载流子运动的分析及半导体器件的非线性特性的理解。

1. 半导体二极管

(1) 半导体的导电特性及 PN 结

半导体是导电能力介于导体和绝缘体之间的物体。常用的半导体材料有硅和锗等,它们都是四价元素。半导体中有电子和空穴两种载流子参与导电,半导体易受外界的影响而改变导电性能,主要有:

① 环境温度对半导体导电能力的影响,基于这种热敏特性,可制成温度敏感器件,如热敏电阻。

② 光照对半导体导电能力的影响,利用这种特性可制成光敏器件,如光敏二、三极管。

③ 掺入微量杂质对半导体导电能力的影响,从而形成 P 型半导体(掺入三价元素)和 N 型半导体(掺入五价元素)。

当 P 型半导体和 N 型半导体采用一定工艺技术结合在一起时,在两者的交界面上形

成了PN结。PN结具有单向导电性,加正向电压时PN结导通,加反向电压时PN结截止。

(2) 半导体二极管

在PN结两端分别引出电极引线,其正极由P区引出,负极由N区引出,用管壳封装后就制成二极管。二极管同样具有单向导电性。

二极管按材料分,有硅二极管和锗二极管。按结构分,二极管有点接触型和面接触型两类。

二极管的伏安特性呈非线性特性,由伏安特性曲线可分析二极管在不同工作区的特点。

① 死区:为正向高阻区,即当正向电压小于死区电压时,正向电流近似为零。对死区电压范围应具有数值概念,即锗管为0.2 V以下,硅管为0.5 V以下。

② 正向导通区:呈低阻状态。正向导通时,二极管具有基本恒定的管压降。锗二极管约为0.2~0.3V,硅管约为0.6~0.7 V。

③ 反向截止区:呈高阻状态。此时反向电流近似为零。

④ 反向击穿区:呈破坏性低阻状态。反向电压加到一定值时,反向电流会急剧增加,此时的反向电压称为反向击穿电压,造成二极管反向击穿,导致管子损坏。

(3) 特殊二极管

① 稳压二极管:稳压二极管是一种特殊的面接触型半导体硅二极管。稳压二极管必须工作在反向击穿区,这和普通二极管不同,它能在反向击穿后不损坏,而且能在电流变化范围很大的情况下保持其端电压的恒定。如果工作电压低于反向击穿电压,稳压管就不能起稳压作用。

稳压管的工作电流必须限制在安全值以内,否则管子会过热损坏。

通常用稳压管的动态电阻来反映稳压管对电压的敏感程度。动态电阻值越小时,说明只要有微小的电压变化,就能引起稳压管电流有较大幅度的变化以起调节作用,这样其稳压特性就越好。

② 发光二极管:发光二极管是常用的半导体显示器件,它也是由一个PN结构成,多采用磷、砷化镓制作PN结,可发出红、橙、黄、绿等颜色。

2. 半导体三极管

半导体三极管是一种电流控制器件,即用一个小的基极电流信号去控制集电极的大电流信号。所谓放大作用,实质上是一种控制作用,而绝非能量的放大。大信号的能量必须另有电源(直流电源)提供,否则不能实现电流的放大。

(1) 三极管的放大原理

三极管处于放大工作状态时,发射结正向偏置,使发射结导通。以便接收输入信号,控制发射区载流子的发射。集电结反向偏置,使集电极具有吸收载流子的能力,形成集电极电流。以NPN型硅管为例,如果 $U_{BE} \leq 0$,使 $I_B = 0$,即发射区不发射载流子,此时集电极就不可能吸收到载流子而形成电流,故 $I_C = 0$ 。另外,若集电极没有反偏电压的作用,集电区吸收载流子的能力就很低,同样也不能形成集电极电流,因此也就没有电流放大能力。

(2) 三极管中各电流间的关系

根据基尔霍夫电流定律,三极管中的电流关系可表述如下:

$$I_C = \beta I_B$$

$$I_E = I_B + I_C = (1 + \beta) I_B$$

在三极管具备放大工作条件时,集电极电流 I_C 受控于基极电流 I_B 。

(3) 三极管的输入输出特性

三极管的输入特性曲线,具有类似二极管的非线性伏安特性。

三极管的输出特性曲线分三个区:放大区、截止区和饱和区。三极管工作在放大区时,具有电流放大特性。三极管进入饱和区和截止区时,处于开关工作状态,它在数字电路中有广泛的应用。

① 放大区:发射结正偏、集电结反偏。其特点是具有 $I_C = \beta I_B$ 的线性放大特性。

② 截止区:发射结反偏、集电结反偏。此时, $I_B = 0$, $I_C = 0$, $U_{CE} = U_{CC}$,集电极回路呈高阻状态。

③ 饱和区:发射结正偏、集电结正偏。此时 $U_{CE} \approx 0$, $I_C \neq \beta I_B$, I_B 对 I_C 失去控制能力,集电极与发射极间呈短路状态。

(4) 场效应晶体管

场效应管是另一种常用的半导体器件。场效应管有 P 沟道和 N 沟道两大类,但无论哪种型式,只有一种载流子导电,称为单极型器件。场效应管和晶闸管虽然控制原理不同,但电路组成形式极其相似,都可用来放大信号、产生振荡、或在电路中起开关作用。

场效应管有四种基本类型,分别为增强型 N 沟道场效应管、增强型 P 沟道场效应管、耗尽型 N 沟道场效应管和耗尽型 P 沟道场效应管。

三极管和场效应管比较有如下特点:

① 双极型三极管是电流控制器件,而场效应管是电压控制器件。

② 场效应管有很高的输入电阻,而双极型三极管的输入电阻则低得多。

③ 场效应管具有较好的温度稳定性、抗辐射特性和低噪声性能。而双极型三极管受外部辐射和温度的影响较大。

④ 场效应管源极和漏极的结构对称,使用时两极可以互换,增加了灵活性。双极型三极管由于结构上的原因,集电极和发射极不能互换使用等等。

3. 晶闸管

晶闸管是晶体闸流管的简称,又称做可控硅。晶闸管是一种可控的大功率半导体器件,它的出现使半导体器件从弱电领域进入了强电领域。它具有体积小、质量轻、效率高、动作迅速、维护简单、操作方便、寿命长等优点。目前被广泛地用于整流、逆变、调压、开关等几个方面。晶闸管的主要缺点是过载能力差、抗干扰能力差、控制比较复杂等。

(1) 晶闸管的工作原理

晶闸管是一种大功率半导体器件,主要用于可控整流电路,故又称可控硅。它由 PNP 四层半导体叠合而成,具有三个 PN 结。晶闸管有三个引出端,分别称为阳极(A)、阴极(K)和控制极(G)。

(2) 晶闸管有两个工作状态,即正向导通状态和正向阻断状态。

晶闸管导通的条件是：阳极与阴极之间加正向电压，即 $U_{AK} > 0$ ；控制极与阴极之间加正向电压，即 $U_{GK} > 0$ ；阳极电流大于擎住电流。三个条件缺一不可。

晶闸管阻断的条件是：通过晶闸管的电流小于维持电流，或阳极与阴极之间电压近似为零或使其反向，即 $U_{AK} < 0$ 。

三、习题详解

1-1 N 型半导体中的多数载流子是电子，P 型半导体中的多数载流子是空穴，能否说 N 型半导体带负电，P 型半导体带正电？为什么？

答 不能。因为不论是 N 型半导体还是 P 型半导体，虽然它们都有一种载流子占多数，整个晶体仍然不带电。但原子核外层电子和空穴的总带电量总是与原子核电量相等，极性相反，所以不能这样说。

1-2 扩散电流是由什么载流子运动而形成的？漂移电流又是由什么载流子在何种作用下而形成的？

答 扩散电流是由多数载流子运动而形成的；漂移电流是由少数载流子运动形成的。

1-3 把一个 PN 结接成图 1-1 所示的电路，试说明这三种情况下电流表的读数有什么不同？为什么？

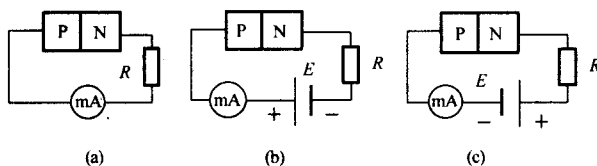


图 1-1 题 1-3 图

答 (a) 电流表无读数。因为电路中无电源，PN 结本身不导电。

(b) 电流表读数 $\frac{E}{R}$ 。因为 PN 结正向导通，结压降近似为零。

(c) 电流表读数很小或为零。因为 PN 结反向截止，电路不通。

1-4 图 1-2(a) 是输入电压 u_i 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 和二极管理 V 上电压 u_V 的波形，并用基尔霍夫电压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。

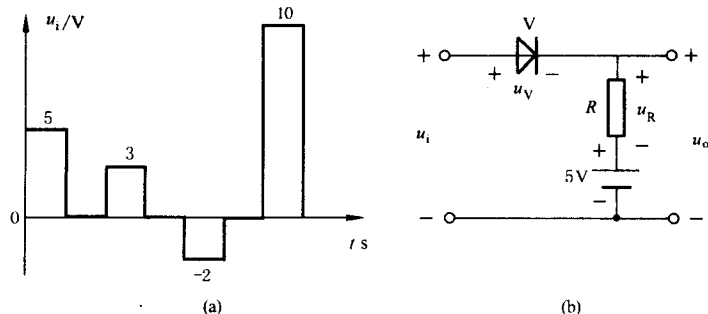


图 1-2 题 1-4 图

解

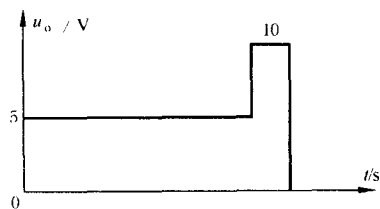


图 1-3 题 1-4 图

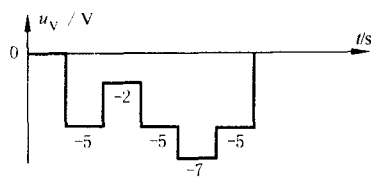


图 1-4 题 1-4 图



图 1-5 题 1-4 图

1-5 在图 1-6 的各电路图中, $E=5\text{V}$, $u_i=10\sin\omega t(\text{V})$, 二极管的正向压降可忽略不计, 试分别画出输出电压 u_o 的波形。

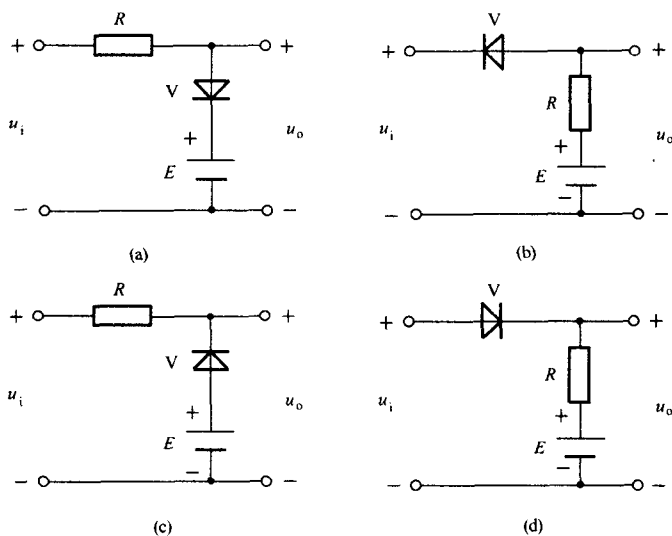
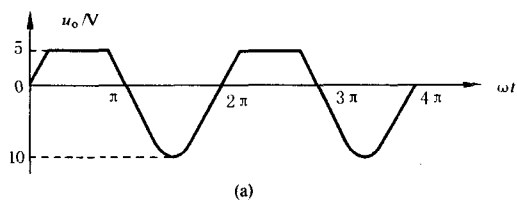
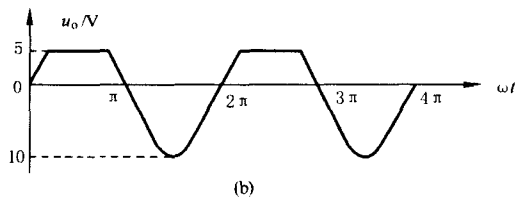


图 1-6 题 1-5 图

解

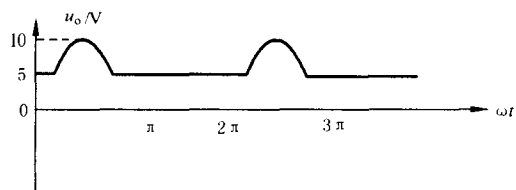


(a)

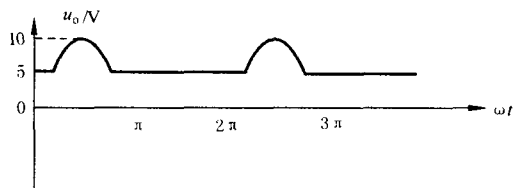


(b)

图 1-7 题 1-5 解图



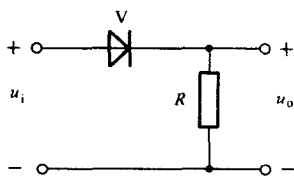
(c)



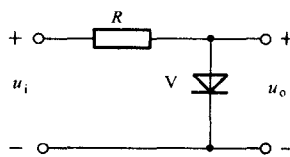
(d)

续图 1-7

1-6 在图 1-8 所示的两个电路中,已知 $u_i = 30\sin\omega t$ (V),二极管的正向压降可忽略不计,试分别画出输出电压 u_o 的波形。



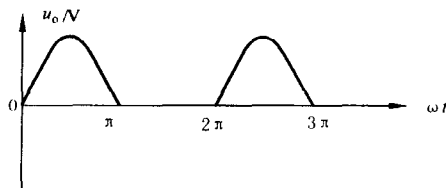
(a)



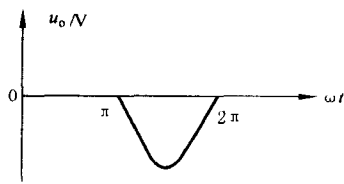
(b)

图 1-8 题 1-6 图

解



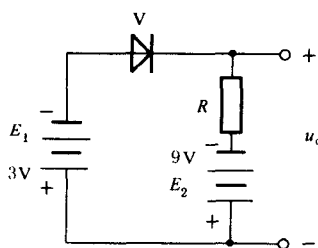
(a)



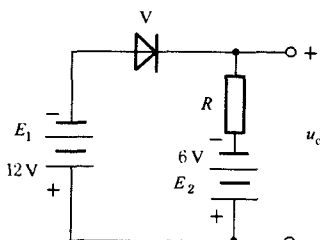
(b)

图 1-9 题 1-6 解图

1-7 在图 1-10 所示各电路中,二极管为理想二极管,判断各图二极管的工作状态并求 u_o 。

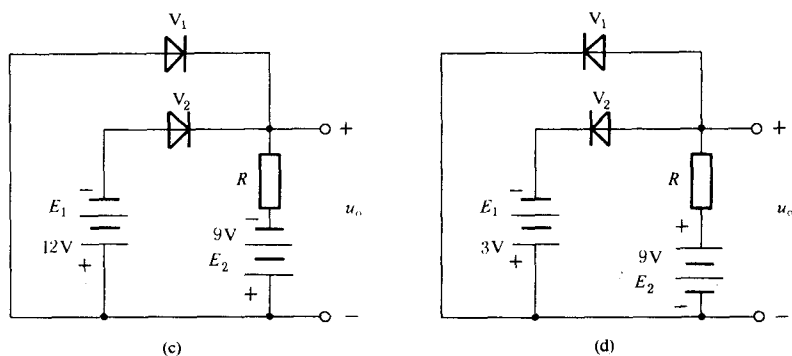


(a)



(b)

图 1-10 题 1-7 图



续图 1-10

- 解 (a) 二极管导通。 $u_o = -3\text{V}$
 (b) 二极管截止。 $u_o = -6\text{V}$
 (c) 二极管 V_1 导通, 二极管 V_2 截止。 $u_o = 0$
 (d) 二极管 V_1 截止, 二极管 V_2 导通。 $u_o = -3\text{V}$

1-8 在图 1-11 中, 设稳压管 V_{Z1} 和 V_{Z2} 的稳压值分别为 5V 和 10V , 求各电路的输出电压。

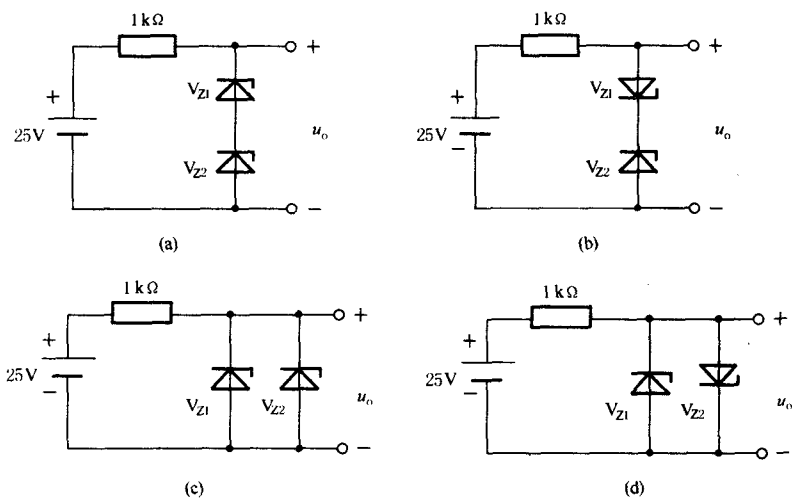


图 1-11 题 1-8 图

- 解 (a) 15V (b) 10V (c) 5V (d) 0V

1-9 在图 1-12 中, 试求下列几种情况下输出端 Y 的电位 U_Y 、及各元件 (R 、 V_A 、 V_B) 中通过的电流: (1) $U_A = U_B = 0\text{V}$; (2) $U_A = +3\text{V}$, $U_B = 0\text{V}$; (3) $U_A = U_B = +3\text{V}$ 。二极管的正向压降可忽略不计。

- 解 (1) $U_Y = 12\text{V}$
 $I_R = I_{V_A} = I_{V_B} = 0\text{A}$
 (2) $U_Y = 12\text{V}$
 $I_R = I_{V_A} = I_{V_B} = 0\text{A}$
 (3) $U_Y = 12\text{V}$
 $I_R = I_{V_A} = I_{V_B} = 0\text{A}$

1-10 在图 1-13 中。试求下列几种情况下输出端电位 U_Y 及各元件中通过的电流：
 (1) $U_A = +10V, U_B = 0V$; (2) $U_A = +6V, U_B = +5.8V$; (3) $U_A = U_B = +5V$ 。设二极管的正向电阻为零, 反向电阻为无穷大。

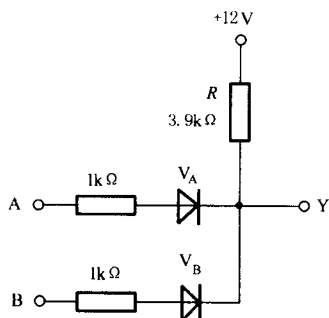


图 1-12 题 1-9 图

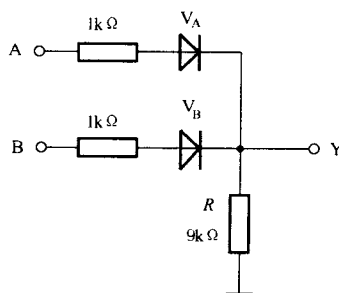


图 1-13 题 1-10 图

解 (1) 二极管 V_A 导通。二极管 V_B 截止。

$$U_Y = U_A \times \frac{9}{1+9} = 10 \times \frac{9}{10} = 9V$$

$$I_A = I_R = \frac{U_A}{(1+9) \times 10^3} = \frac{10}{10 \times 10^3} = 1 \times 10^{-3} A$$

$$I_B = 0A$$

(2) 二极管 V_A, V_B 都导通。

等效电路为图 1-14。

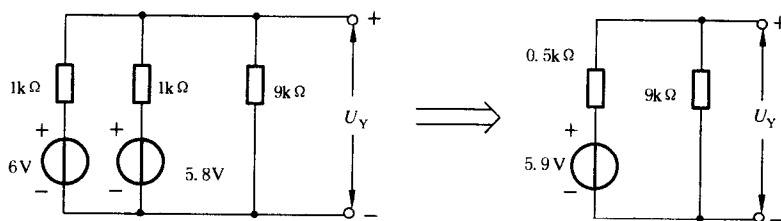


图 1-14 题 1-10(2)图

$$U_Y = 5.9 \times \frac{9}{9+0.5} = 5.59V$$

$$I_R = \frac{5.59}{9 \times 10^3} = 0.62mA$$

$$I_A = \frac{6-5.59}{1 \times 10^3} = 0.41mA$$

$$I_B = \frac{5.8-5.59}{1 \times 10^3} = 0.21mA$$

(3) 二极管 V_A, V_B 都导通。

等效电路为图 1-15。

$$U_Y = 5 \times \frac{9}{9+0.5} = 4.74V$$

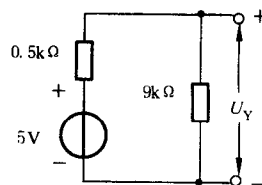


图 1-15 题 1-10(3)图

$$I_R = \frac{4.74}{9 \times 10^3} = 0.53 \text{mA}$$

$$I_A = I_B = \frac{5 - 4.74}{1 \times 10^3} = 0.26 \text{mA}$$

1-11 晶闸管导通的条件是什么？导通时，流过它的电流由什么决定？阻断时，承受的电压大小由什么决定？

答 晶闸管导通条件：阳极和阴极之间加正向电压，控制极和阴极之间加正向电压，阳极电流大于擎住电流。

晶闸管导通时，流过的电流由控制极电流决定；阻断时，承受的电压大小由阳极和阴极之间加的电压决定。

1-12 晶闸管导通后，为什么控制极就失去控制作用？在什么条件下晶闸管才能由导通转变为截止？

答 在控制极正向电压作用下，产生控制极电流，经过几毫秒时间后，在两晶体管之间形成强烈的正反馈。使得晶闸管导通后，即使去掉控制极与阴极间的正向电压，仍然保持继续导通，当阳极电流减小到擎住电流以下时；或将阳极电源断开；或在阳极和阴极间加一个反向电压时，晶闸管由导通转为截止。

1-13 图 1-16 为两个 N 沟道场效应晶体管的输出特性曲线。试指出管子的类型；若是耗尽型的，试指出其夹断电压 $U_{GS(off)}$ 的数值和原始漏极电流的值；若是增强型的，试指出其开启电压 $U_{GS(th)}$ 的数值。

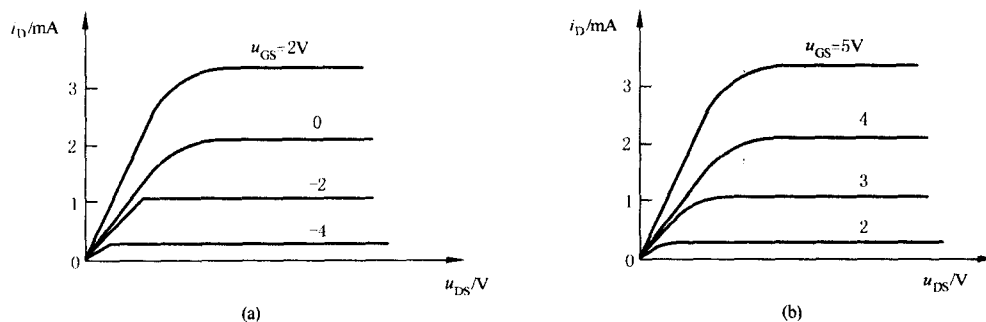


图 1-16 题 1-13 图

解 (a) 耗尽型场效应晶体管

夹断电压 $U_{GS(off)} = -5\text{V}$

原始漏极电流 $I_D = 2\text{mA}$

(b) 增强型场效应晶体管

开启电压 $U_{GS(th)} = 2\text{V}$

1-14 测得工作在放大电路中的几个晶体管的三个电极对地电位为 U_1 、 U_2 、 U_3 ，对应数值分别为：

(1) $U_1 = 3.5\text{V}$, $U_2 = 2.8\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$

(2) $U_1 = 3\text{V}$, $U_2 = 2.8\text{V}$, $U_3 = 6\text{V}$

(3) $U_1 = 6\text{V}$, $U_2 = 11.3\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$

(4) $U_1 = 6\text{V}$, $U_2 = 11.8\text{V}$, $U_3 = 12\text{V}$

判断它们是 PNP 型还是 NPN 型？是硅管还是锗管？同时确定三个电极 e, b, c。

解 (1) NPN 型硅晶体三极管。

1—b, 2—e, 3—c。

(2) NPN 型锗晶体三极管。

1—b, 2—e, 3—c。

(3) PNP 型硅晶体三极管。

1—c, 2—b, 3—e。

(4) PNP 型锗晶体三极管。

1—c, 2—b, 3—e。

1-15 试判断图 1-17 中各电路能否放大交流信号,为什么?

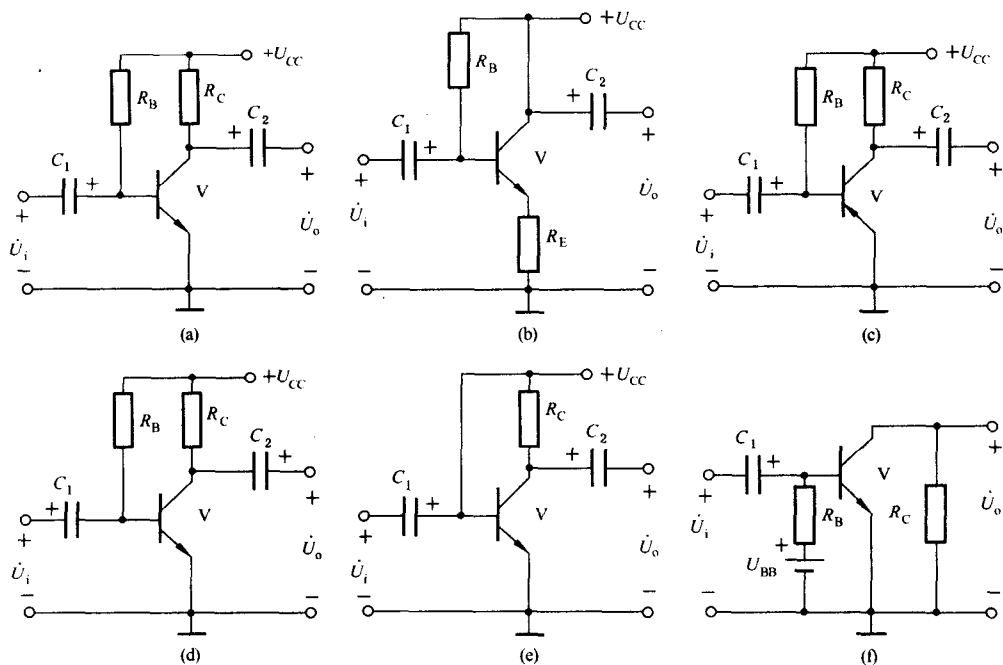


图 1-17 题 1-15 图

解 (a) 可以放大交流信号。

(b) 不能放大交流信号。因为电路中没有直流负载电阻。

(c) 不能放大交流信号。因为三极管是 PNP 型的,直流电源应为 $-U_{CC}$ 。同时电容极性应该外为正。

(d) 不能放大交流信号。因为隔直电容极性反了。

(e) 不能放大交流信号。因为电路没有分压电阻 R_B 。

(f) 不能放大交流信号。因为电路没有直流偏置。

四、自测题及参考答案

1-1 本征半导体掺入五价元素后成为()。

A 本征半导体 B N 型半导体 C P 型半导体

1-2 N 型半导体的多数载流子是()。