

21世纪高职高专规划教材

电子信息工学结合模式系列教材

电子电路分析与制作

刘冬香 主 编
翁桂鹏 副主编
何丰如 主 审

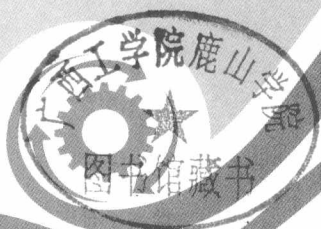
清华大学出版社

21世纪高职高专规划教材

电子信息工学结合模式系列教材

电子电路分析与制作

- 刘冬香 主 编
- 翁桂鹏 副主编
- 何丰如 主 审



d247194

广西工学院鹿山学院图书馆



d247194

清华大学出版社

北 京

内 容 简 介

全书内容共分为两部分：第一部分“模拟电子电路的分析与制作”，选取音频功放电路和带电源的函数发生器两个项目作为载体，通过对项目电路的分解、分析和制作调试，达到学习模拟电子电路的工作原理、分析方法、设计方法和调试方法的目的；第二部分“数字电子电路的分析与制作”，选取简单抢答器、数字钟和简易直流电压表三个项目作为载体，通过对项目电路的分解、分析、制作和调试，达到学习数字电子电路的工作原理、分析方法、设计方法和调试方法的目的，以设计为主。

每个项目都根据构成项目的实际电路，分解成多个学习任务；每个任务都通过“引导文”学习基本知识，通过“工作页”熟悉操作技能，知识以必需够用为度，注重技术，强调应用。

本书是根据应用电子技术专业的人才培养目标和应用电子技术专业《电子电路分析与制作》的课程标准编写的，适合作为高职院校应用电子技术专业和电气自动化技术专业的教材，也可以作为其他高等专科学校工科专业的参考教材。

本书封面贴有清华大学出版社防伪标签，无标签者不得销售。

版权所有，侵权必究。侵权举报电话：010-62782989 13701121933

图书在版编目(CIP)数据

电子电路分析与制作/刘冬香主编. —北京：清华大学出版社，2011.1

(21世纪高职高专规划教材. 电子信息工学结合模式系列教材)

ISBN 978-7-302-23544-6

I. ①电… II. ①刘… III. ①电子电路—电路分析 ②电子电路—制作 IV. ①TN710

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 158365 号

责任编辑：贺志洪

责任校对：李 梅

责任印制：王秀菊

出版发行：清华大学出版社

<http://www.tup.com.cn>

社 总 机：010-62770175

投稿与读者服务：010-62776969, c-service@tup.tsinghua.edu.cn

质 量 反 馈：010-62772015, zhiliang@tup.tsinghua.edu.cn

地 址：北京清华大学学研大厦 A 座

邮 编：100084

邮 购：010-62786544

印 装 者：北京嘉实印刷有限公司

经 销：全国新华书店

开 本：185×260 印 张：16.75 字 数：380 千字

版 次：2011 年 1 月第 1 版 印 次：2011 年 1 月第 1 次印刷

印 数：1~3000

定 价：29.00 元

产品编号：038483-01

本书是在高等职业教育经过近十年的发展与实践之后,对高等职业教育的培养目标有了比较深刻认识的情况下,结合教育部《关于全面提高高等职业教育教学质量的若干意见》(教高[2006]16号文)的精神,本着“以服务为宗旨、以就业为导向、以能力为本位”的指导思想,以项目为导向,采用任务驱动模式组织教学,专门为应用电子技术专业编写的。该教材特别适合在学中做,在做中学,以通俗易懂的语言让学生了解课程中的每一部分教学内容在实际应用中的“不可替代”性,从而促进学生学习电子电路的兴趣,工学结合,精讲多动,提高学生的动手能力和创造、创新能力。

本教材在如下方面体现出高职教育的特色:

(1) 教材的编写打破以往教材的“系统性”,合理选取5个项目,分解项目所包含的任务,围绕项目,在任务的驱动下,组织教学内容和相关的技能要求,将理论教学与实践教学融于一体,适合边教、边学、边做的教、学、做一体的教学方法。

(2) 以人才培养方案为根据,以培养职业岗位群的综合能力为目标,以实用的电子产品或与电子产品的开发、设计、生产与维修的工作过程密切相关的项目为载体,强化应用,所有项目都经过实践检验,全都能够实现。

(3) 教材以项目为导向,以任务为驱动,每个任务都通过“引导文”和“工作页”的形式,编写相应的知识和技能要求,着重把握两度:一是理论知识以必需够用为度,注重技术,强调应用;二是内容选取以围绕完成项目的完整工作过程为度,使分散的内容具有针对性,突出应用性和综合性。

(4) 可操作性强。该教材的实践项目不仅实用性强,而且可操作性强。通过编者的教学实践表明,高职学生都能够在教师的指导下,很好地完成各项的电路设计与制作工作,并使之实现相应的电路功能。

全书分两部分:第一部分“模拟电子电路的分析与制作”,选取音频功放电路和带电源的函数发生器两个项目作为载体;第二部分“数字电子电路的分析与制作”,选取简单抢答器、数字钟和简易直流电压表3个项目作为载体,通过对项目电路的分解、分析、制作和调试,达到学习模拟

电子电路的工作原理、分析方法、设计方法和调试方法的目的,模拟电子电路以分析为主,数字电子电路以设计为主。

本教材由广州铁路职业技术学院刘冬香主编,并编写项目2和项目3,广州铁路职业技术学院翁桂鹏老师担任副主编,并编写项目1,申利民老师编写项目4,福州电大孔祝英老师编写项目5,广东理工职业学院何丰如教授担任主审,何丰如教授在百忙之中对全部书稿进行了详细的审阅,并提出了许多宝贵意见。本书编写过程中还得到了广州铁路职业技术学院申利民老师的帮助,在此表示衷心的感谢。

本书是根据应用电子技术专业的人才培养目标和应用电子技术专业《电子电路分析与制作》的课程标准编写的,适合作为高职院校应用电子技术专业和电气自动化技术专业的教材,也可作为其他高等专科学校工科专业的参考教材。

由于编者水平有限,书中难免有疏漏之处,殷切希望使用本教材的师生和读者批评指正。

编 者

2010年11月

第一部分 模拟电子电路的分析与制作

项目1 音频功放电路的分析与制作	3
任务 1.1 电子元器件的辨识	3
任务 1.2 共发射极放大电路的制作	17
任务 1.3 共集电极放大电路的制作	30
任务 1.4 负反馈电路的分析	37
任务 1.5 差动放大电路的制作	45
任务 1.6 功放电路的制作	51
任务 1.7 电路制作及调试的要求和方法	61
项目2 带电源的函数发生器的分析与制作	68
任务 2.1 集成运放的线性应用	68
任务 2.2 正弦波发生器的制作	81
任务 2.3 三角波和方波的制作	90
任务 2.4 电源电路的制作	101
任务 2.5 带电源的函数发生器的制作与调试	113

第二部分 数字电子电路的分析与制作

项目3 抢答器的设计制作	119
任务 3.1 逻辑门电路的基本应用	119
任务 3.2 简单抢答器的设计与实现	137
任务 3.3 编码、译码和显示的实现	160
任务 3.4 带显示的抢答器的制作与调试	172
任务 3.5 两个 1 位十进制数的加法显示电路的实现	174

项目4 数字钟电路的设计制作	188
任务 4.1 触发器的基本应用	188
任务 4.2 计数器的设计与实现	199
任务 4.3 秒信号产生电路的设计与制作	220
任务 4.4 数字钟的制作与调试	234
项目5 直流电压表的设计制作	237
任务 5.1 D/A 转换器的转换原理和集成芯片的应用	237
任务 5.2 A/D 转换器的转换原理和集成芯片的应用	244
任务 5.3 简易数字电压表的制作与调试	255
参考文献	261

第一部分

模拟电子电路的 分析与制作



音频功放电路的分析与制作

项目 1 选择分立元器件音频功放电路作为载体,通过对音频功放电路的分解、分析、制作和调试,达到学习模拟电子电路常用单元电路;掌握电路分析方法、设计方法、调试方法的目的。

一、学习目标

1. 理解二极管、三极管等常用器件的工作原理和特性,掌握二极管、三极管的应用。
2. 掌握常用模拟电子单元电路的分析方法。
3. 运用模拟电路的相关知识设计制作音频功放电路。
4. 掌握功放电路的分析和调试方法。

二、项目要求

1. 在万能板上制作音频功放电路。
2. 电源可用实验室电源,不必重新制作。
3. 布线要紧凑美观、要预留外接信号和电源的接线柱。
4. 电路参数如下:
 - (1) 电源电压 $\pm 15\text{V}$,最大不失真功率 $P_o \geq 8\text{W}$;
 - (2) 频率响应 $80\text{Hz} \sim 15\text{kHz}$;
 - (3) 适用于话筒输入和线路输入(其中话筒输入信号为 $3 \sim 5\text{mV}$ 、线路输入信号为 $100 \sim 200\text{mV}$,所以线路输入采用衰减电路。

三、任务分解

- 任务 1.1 电子元器件的辨识
- 任务 1.2 共发射极放大电路的制作
- 任务 1.3 共集电极放大电路的制作
- 任务 1.4 负反馈电路的分析
- 任务 1.5 差动放大电路的制作
- 任务 1.6 功放电路的制作
- 任务 1.7 电路制作及调试的要求和方法

7 个任务构成了项目 1 的内容,对每一个任务,采用引导文、工作页的形式,根据建构主义的思想从实际操作中建构理论知识的认知,从而使自身得到知识和技能的发展,旨在引导学生在做中学,在学中做,教、学、做一体完成。

任务 1.1 电子元器件的辨识



常用的电子元器件除了在电路分析课程里学习过的电阻、电容、电感等之外,通过任

务 1 的实践操作主要掌握二极管和三极管器件的符号、特性、性能辨识、应用等知识。

【仿真电路】

仿真电路如图 1-1-1 所示。

【仿真结论】

二极管具有单向导电性。

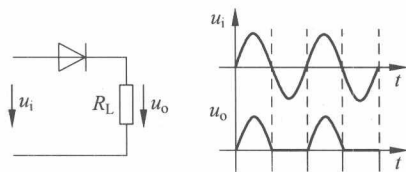


图 1-1-1 仿真电路

一、二极管

1. 二极管的结构、符号和型号

二极管是半导体二极管的简称。半导体二极管是由一个 PN 结封装制成的器件,按所用材料的不同分硅管和锗管两种,按结构分点接触型、面接触型和平面型三类,如图 1-1-2 所示。点接触型二极管因结面积小,不能通过较大电流,但结电容小,适宜在高频下工作,常用于高频检波、变频,有时也用做小电流整流,常用的型号有 2AP1~2AP7;面接触型因结面积较大,允许通过较大的电流和具有较大的功率容量,适用于作整流器件,其结电容较大,一般适合在较低的频率下工作,常用的型号有 2CP33 等;平面型二极管采用光刻、扩散的工艺制成,常用于数字电路。

二极管的电气图形符号如图 1-1-3 所示。

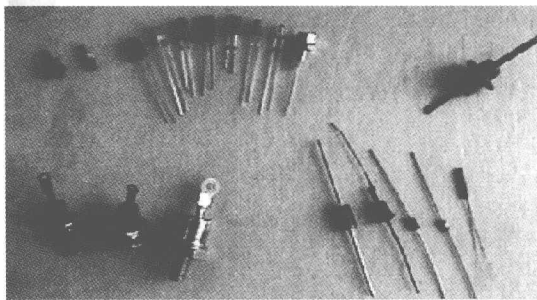


图 1-1-2 二极管的实物图片

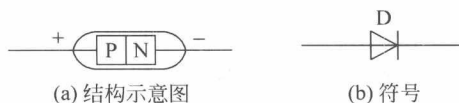


图 1-1-3 二极管的结构和符号

2. 二极管的伏安特性

二极管的伏安特性是指二极管两端的电压和流过二极管的电流的关系曲线,它是二极管应用的理论根据。二极管的伏安特性可用逐点扫描法或用专用的晶体管特性图示仪直接测得。图 1-1-4 所示为二极管的伏安特性曲线。

现对该曲线进行分段说明。

(1) 正向特性

OA 段: 常称为“死区”。表示由于起始部分正向电压较小,正向电流也非常小,几乎为零,OA 段的电压称为死区电压或门槛电压 U_T ,其大小随管子的材料和温度的不同而改变,一般取硅管为 0.5V,锗管为 0.2V。

AB 段: 称为正向导通区。表示外加电压越过死区电压后,随着电压增大,正向电流急速增大,二极管正常导通后管子两端的正向压降很小,且几乎不随电流而改变,一般取

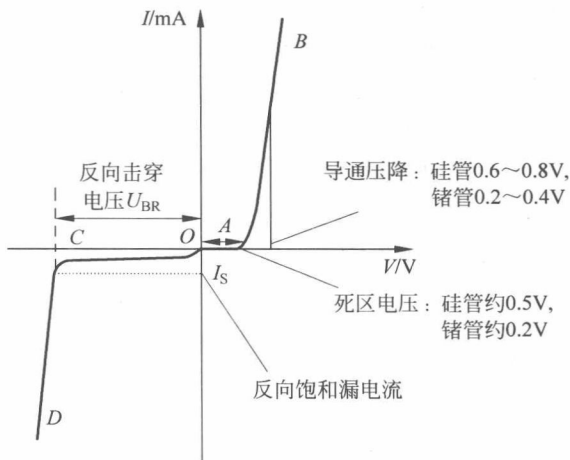


图 1-1-4 二极管的伏安特性

硅管为 0.7V, 锗管为 0.3V。

(2) 反向特性

OC 段: 称为反向截止区。表示反向电压增加时, 反向电流 I_S 很小且几乎不变, 小功率硅管 I_S 小于 $1\mu\text{A}$, 锗管 I_S 在几微安到几十微安, 通常都可忽略, 但 I_S 受温度影响大, 实验证明, 温度每升高 10°C 时, I_S 将增大一倍。

CD 段: 称为反向击穿区。表示反向电压增大到超过某一值时, 反向电流急剧增大, 这一现象称为反向击穿, 反向击穿时所加的电压称为反向击穿电压, 记为 U_{BR} , 反向击穿电流过大会使普通二极管烧坏, 称为击穿短路。

3. 二极管的主要参数

电子器件的参数是其特性的定量描述, 也是实际工作中根据要求选用器件的主要依据。二极管的主要参数有以下几个。

(1) 最大整流电流 I_F : 指二极管长期安全使用时, 允许通过管子的最大正平均电流。 I_F 的数值由二极管允许的温升所限定。使用时, 二极管的平均电流不得超过此值, 否则, 管子将可能因过热而损坏。

(2) 最大反向工作电压 U_R 和反向击穿电压 U_{BR} : 指工作时加在二极管两端的电压不得超过 U_R , 否则二极管可能被击穿。一般的, 为了留有余地, U_R 通常取反向击穿电压 U_{BR} 的一半。

(3) 反向电流 I_S : 指在室温条件下, 二极管两端加上规定的反向电压时, 流过管子的反向电流值。 I_S 越小, 管子的单向导电性越好。值得注意的是, I_S 受环境温度的影响较大, 在使用二极管时, 要注意温度的影响。

(4) 直流电阻 R_D 和交流电阻 r_D 。

① 直流电阻 R_D : 指二极管两端所加的电压 U_D 与流过管子的直流电流 I_D 的比值, 用公式表示为

$$R_D = \frac{U_D}{I_D}$$

二极管两端所加正向电压和流过二极管的直流电流,在二极管的伏安特性曲线上找到相应的一点 Q ,该点称为静态工作点。如图 1-1-5 中, R_D 实际上是原点 O 与 Q 点连线的斜率的倒数,从图中可以看出, Q 点位置越高,斜率越大,直流电阻越小。二极管的正向直流电阻随着 I_D 的增大而减小。而由于二极管的反向电流很小,所以反向电阻很大。一般二极管的正向电阻约在几十欧到几千欧之间,反向直流电阻大于几千欧到几百千欧。

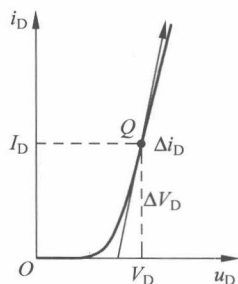


图 1-1-5 二极管的静态电阻和动态电阻

因此,二极管的直流电阻具有非线性的特性,用万用表的欧姆挡测得正向或反向电阻为在一定工作点下的直流电阻。不同的欧姆挡,测得的阻值不同。

② 交流电阻 r_D 。二极管在工作点 Q 附近的电压微小变化量与相应的电流的微小变化量的比值,用公式表示为

$$r_D = \frac{\Delta u_D}{\Delta i_D}$$

由于正向电压与正向电流不是线性的关系,不同的工作点具有不同的交流电阻。求 Q 点的交流电阻时,先在图 1-1-5 中通过 Q 点对特性曲线做切线,交流电阻是该切线斜率的倒数。

可以看出,在工作点 Q 处,二极管的静态电阻大而动态电阻小。

4. 二极管的检测

用万用表欧姆挡检测二极管的极性和性能的好坏时,万用表一定要使用 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 挡,注意万用表的黑笔棒对应于表内电池的正极,而红笔棒对应于表内电池的负极。

二极管加正偏电压时导通,呈现的电阻阻值较小;二极管加反偏电压时截止,呈现的电阻阻值较大。

5. 二极管的应用

利用二极管的单向导电性,可实现整流、限幅、钳位、检波、保护、开关等。

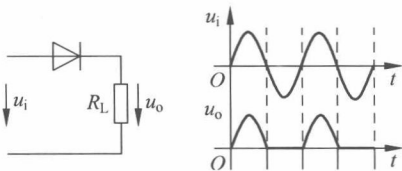


图 1-1-6 二极管半波整流电路

(1) 二极管半波整流电路。整流电路是利用二极管的单向导电作用,将交流电变成直流电的电路。如图 1-1-6 所示,由于二极管的单向导电性,输入为正弦交流电,输出为脉动直流电,二极管具有整流的作用,关于二极管整流电路,将在任务 2.4 中做较详细的说明。

(2) 限幅电路。限幅电路是限制输出信号幅度的电路,如图 1-1-7 所示。如图所示, $u_i > E$ 时,二极管因承受正向电压而导通, $u_o = E$, 当 $u_i < E$ 时,二极管承受反向电压而截止 $u_o = u_i$ 。

(3) 钳位电路。钳位电路是使输出电位钳制在某一数值上保持不变的电路。如

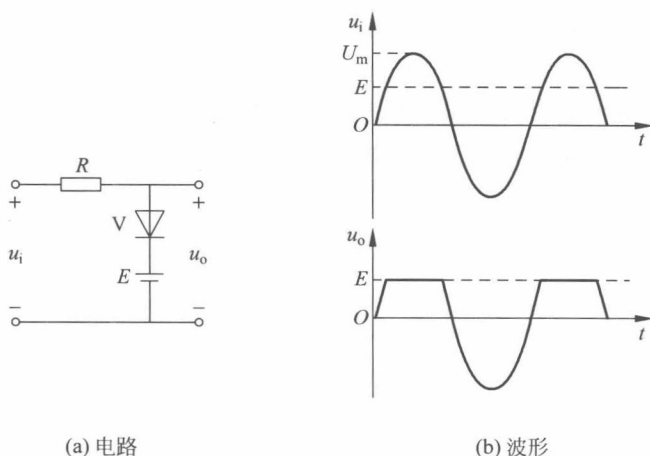


图 1-1-7 单向限幅电路

图 1-1-8 所示,设二极管为理想元器件,当输入 $U_A = U_B = 3\text{V}$ 时,二极管 V_1, V_2 加正偏电压导通,输出被钳制在 U_A 和 U_B 上,即 $U_F = 3\text{V}$; 当 $U_A = 0\text{V}, U_B = 3\text{V}$, 则 V_1 导通,输出被钳制在 $U_F = U_A = 0\text{V}$, V_2 加反偏电压截止。

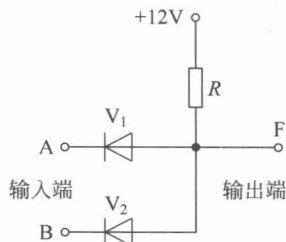
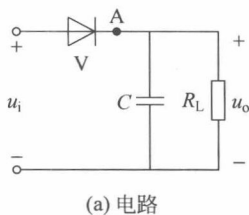
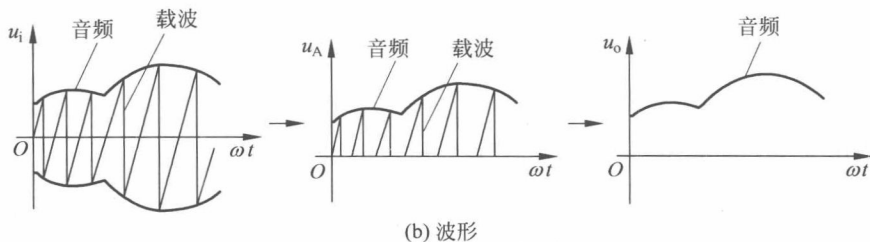


图 1-1-8 钳位电路(与门)

(4) 检波电路。检波电路是把信号从已调波中检出来的电路,如图 1-1-9 所示。调幅信号加到检波二极管 V 的正极,利用信号的幅度使检波二极管导通,其中的高频载波信号通过接在检波电路输出端的高频滤波电容 C ,被滤波到地端,这样在检波二极管负载电阻 R_L 上得到正半周信号的包络。



(a) 电路



(b) 波形

图 1-1-9 检波电路

6. 其他二极管

(1) 发光二极管。发光二极管的符号如图 1-1-10(a)所示。它是一种将电能直接转

换成光能的固体器件,简称 LED (Light Emitting Diode)。发光二极管在正向导通时,发出一定波长的可见光。光的波长不同,颜色也不同。常见的 LED 有红、绿、黄等颜色。发光二极管的驱动电压低、工作电流小,具有很强的抗振动和抗冲击能力。由于发光二极管体积小、可靠性高、耗电省、寿命长,被广泛用于环保发光源及信号指示等电路中,如 LED 光源、电源通断指示电路、七段数码等都是发光二极管。

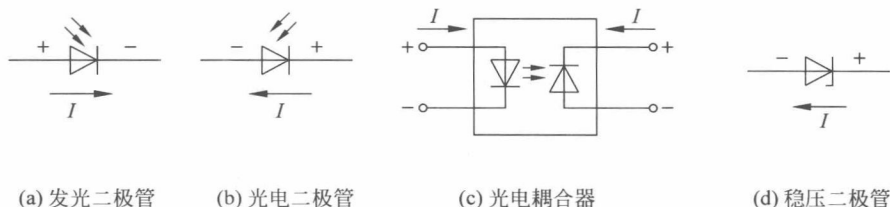


图 1-1-10 特殊二极管符号及电流方向

(2) 光电二极管。光电二极管如图 1-1-10(b)所示。它工作在反偏状态,它的管壳上有一个玻璃窗口,以便接受光照。在外加反偏压作用下,光电二极管光照增强时,反向电流增加。

光电二极管的检测方法和普通二极管一样,通常正向电阻为几千欧,反向电阻为无穷大,否则光电二极管质量变差或损坏。当受到光线照射时,反向电阻显著变化,正向电阻不变。

(3) 光电耦合器。如果把发光二极管和光电二极管组合构成二极管型光电耦合器件,如图 1-1-10(c)所示。光电耦合器常在输入输出地端分离的电路中使用。

(4) 稳压二极管。稳压二极管如图 1-1-10(d)所示,它具有稳定电压的作用,工作在反向击穿区。

① 稳压管的主要参数有:

- 稳定电压 U_Z 。稳压管在正常工作时管子的反向端电压,一般为 $3 \sim 25\text{V}$,高的可达 200V 。
- 稳定电流 I_Z 。稳定电流 I_Z 是指稳压管工作至稳压状态时流过的电流。当稳压管稳定电流小于最小稳定电流 $I_{Z\min}$ 时,没有稳定作用;大于最大稳定电流 $I_{Z\max}$ 时,管子因过流而损坏。正常工作电流 I_Z 取 $I_{Z\min} \sim I_{Z\max}$ 间某个值。
- 动态电阻 r_Z 。稳压管端电压的变化量 ΔU_Z 与对应电流变化量 ΔI_Z 之比,即 $r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z}$,其值为几欧至十几欧。

② 稳压二极管的应用。稳压二极管用来构成的稳压电路,如图 1-1-11 所示。

u_i 是不稳定的可变直流电压,希望得到稳定的电压 u_o ,故在两者之间加稳压电路。它由限流电阻 R 和稳压管 D_Z 构成, R_L 是负载电阻。若已知稳压二极管的 $U_{DZ} = 6.3\text{V}$,则负载输出的电压 $u_o = 6.3\text{V}$,可见输出电压完全依赖于稳压管的稳定电压。

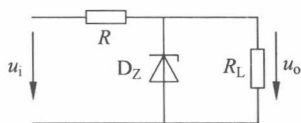


图 1-1-11 简单稳压电路

二、三极管

1. 三极管的结构和符号

(1) 三极管的结构及特点。三极管是由两个 PN 结三层半导体组成的器件如图 1-1-12 所示。三层半导体可以排成两种不同的组合,如图 1-1-13 所示。三层半导体分别称发射区、基区和集电区,从各区引出的电极则称发射极(E)、基极(B)和集电极(C),发射区与基区之间 PN 结称为发射结;基区和集电区之间 PN 结称为集电结。

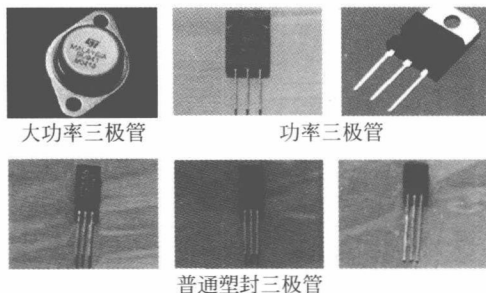


图 1-1-12 三极管的外形图

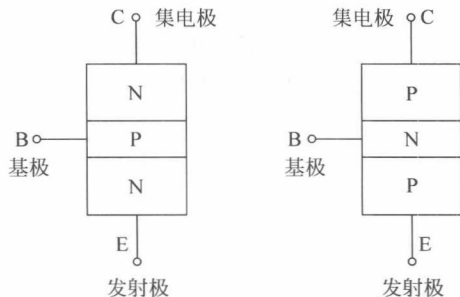


图 1-1-13 三极管的结构图

三极管在制造过程中应满足其内部结构的特点是:发射区的掺杂浓度很高,注入基区的载流子数目很多;基区的掺杂浓度很低,而且做得很薄,使载流子在基区的复合少;集电结的面积很大,便于收集载流子。

(2) 三极管的图形符号。三极管分为 NPN 型和 PNP 型两类,符号如图 1-1-14 所示,注意,三极管符号中带箭头的电极为发射极,其箭头的方向表示电流的流向。从结构特点可知发射极的电流最大,发射极电流的流向确定后其他两极的电流流向也就确定了。

2. 三极管的电流放大作用

(1) 三极管电流放大的外部条件。发射结加正向电压(一般小于 1V),集电结加反向电压(一般为几伏到几十伏)。

(2) 电流放大原理(以 NPN 为例)。如图 1-1-15 所示,在发射结正向偏置的作用下,发射区中高掺杂的电子越过 PN 结,到达基区。

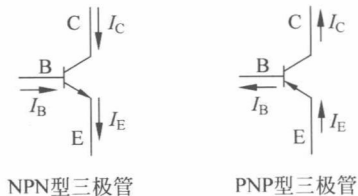


图 1-1-14 三极管的图形符号

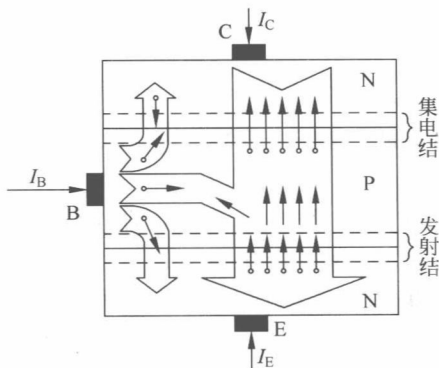


图 1-1-15 三极管的放大原理

到达基区的电子在浓度差的作用下,一是继续向集电区扩散,一是会遇到基区的载流子空穴,从而与之复合。而基极接电源的正极,将拉走电子形成新的空穴补充基区被复合的空穴,形成基极电流。

达到集电区边缘的电子在集电结的反向偏置的作用下,越过集电结,并被集电极的电源所收集,形成集电极电流。

可以看出:发射区的载流子在基区进行分配,与基区的少量的空穴复合形成小电流(I_B),而大部分为集电极所收集形成大电流(I_C),两者的比例是由三极管的结构决定的,是一个常数,称为电流放大系数,用符号 β 来表示。

3. 三极管的电流控制关系

从上面的分析可以看出:

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

$$I_E = I_C + I_B$$

4. 三极管的特性和参数

三极管的特性曲线是指其各极电压与电流之间的关系。以共发射极接法为例,有输入特性曲线和输出特性曲线两种。这两种特性可用图 1-1-16 的电路进行测试。

(1) 输入特性曲线。输入特性曲线是指 U_{CE} 为一定值时,加在三极管的基极和发射极之间的电压 U_{BE} 与它所产生的基极电流 I_B 之间的关系,图 1-1-17 为三极管的输入特性曲线。

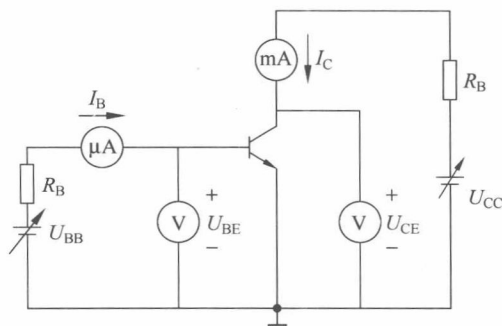


图 1-1-16 三极管输入/输出特性的测试电路

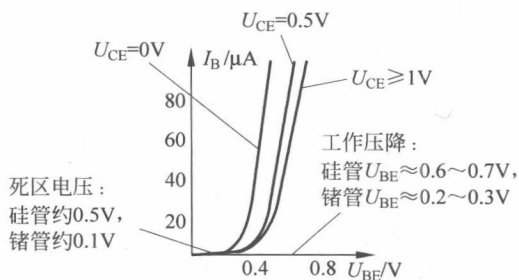


图 1-1-17 三极管的输入特性曲线

① $U_{CE}=0V$ 时,相当于集电极和发射极短路,此时的输入回路相当于两个正向的二极管并联,三极管的输入特性曲线与二极管的正向伏安特性相似,如图 1-1-17 中 $U_{CE}=0V$ 的曲线。

② 调节 U_{CC} 使 $U_{CE}=0.5V$ 时,曲线向右移,从图中可以看到,相同 U_{BE} 的情况下, U_{CE} 大的 I_B 显著减小。这是因为 U_{CE} 产生的集电结电场,拉走基区的大部分电子,形成集电极电流,从而使基极电流减小,因而输入特性曲线右移。而当 $U_{CE} \geq 1V$ 时,电场已足够强,此时再增加 U_{CE} 的值,由于基区载流子数目的有限性, I_B 已不能再明显得减小了。因此, $U_{CE} \geq 1V$ 的输入曲线是一条具有实际意义的输入特性曲线。