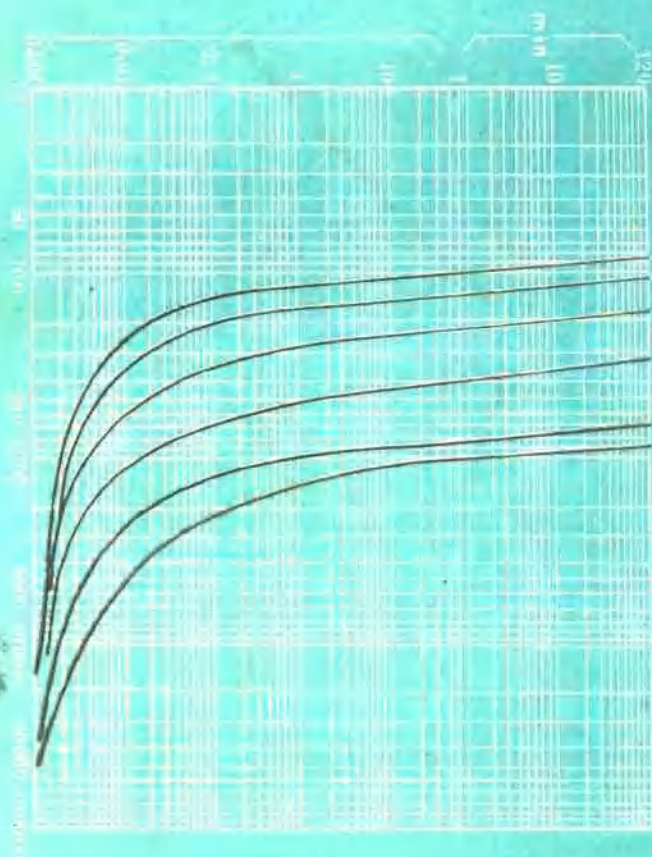


# 整流装置原理及其应用

王 永 起 编著



61  
大连理工大学出版社

# 整流装置原理及其应用

王永起 编著

大连理工大学出版社

(辽)新登字16号

## 内 容 提 要

目前,整流技术已在各方面得到普遍应用。本书结合实际运行需要,着重介绍可控硅整流装置;硅整流装置主要器件的构成原理;选择和使用方法;常用整流电路的原理;不同控制角度工作状况及电路的主要参数计算和应用方法;整流装置过电压、过电流保护。详述触发电路几个应用实例;几种整流电路接线组别变换方法及电路变换后的电量关系。着重叙述了整流装置的选择,及整流装置运行和常见故障分析方法。

本书列举了大量图表,内容通俗易懂,切合运行实际。不仅供从事整流工作的运行、生产、设计、维修人员参考,也可作为培训教材。

## 整流装置原理及其应用

Zhengliu Zhuangzhi Yuanli Jiqi Yingyong

王永起 编著

---

大连理工大学出版社出版发行 邮政编码:116024

大连文悦计算机排版公司

大连理工大学印刷厂印刷

---

开本:787×1092 1/16 印张:13 字数:300千字

1993年8月第1版 1993年8月第1次印刷

印数:0001—1000册

---

责任编辑:非文

封面设计:姜严军

责任校对:寸 土

---

ISBN 7-5611-0823-0/TM·3 定价:12.00元  
3.00元

## 前 言

随着电子工业的迅速发展,可控和不可控整流装置得到日益广泛的应用。为了在广大工人中普及这方面知识,根据需要编写了《整流装置原理及其应用》一书奉献给广大读者。

该书扼要地叙述了几种常用整流电路工作过程和计算方法;几种整流电路接线组别变换的经济效益;保护环节原理和应用方法;对变流装置的选择、安装、调试、试运行,和一些常见故障现象作了简单介绍和分析。可供从事变流技术工人阅读并作为参考之用。

此书形成得到各级领导及同志们大力支持和帮助。书稿由东北工学院自控系蒋凤之、王立平老师进行审查,提出修改意见。西安整流器研究所张石安工程师,沈阳机电公司肖耀东、沈阳真空技术研究所张贵祥老师都对此稿提出了宝贵的评审和修改意见。此书在出版时承蒙辽宁工运学院党委书记李凡同志的亲切关怀和帮助,该院勾尚友副教授并为此书做了部分修改,谨此致以衷心的感谢。

书稿原为厂内工人业余培训教材,现经修改正式出版。由于作者学识浅薄,学习和实践变流技术的时间比较短,技术水平比较低,错误难免,望读者批评指正。

作 者  
1991 年 10 月

# 目 录

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 第一章 整流电路基础.....              | 1  |
| 第一节 硅整流元件.....               | 1  |
| 第二节 晶体三极管.....               | 5  |
| 第三节 可控硅整流元件 .....            | 11 |
| 第四节 整流电路基本概念 .....           | 19 |
| 第五节 整流器直流输出电压调节原理 .....      | 22 |
| 第二章 整流电路 .....               | 29 |
| 第一节 三相半波整流电路 .....           | 29 |
| 第二节 三相半波零式可控整流电路 .....       | 31 |
| 第三节 带有续流二极管的三相半波可控整流电路 ..... | 38 |
| 第四节 三相桥式整流电路 .....           | 39 |
| 第五节 三相桥式半控整流电路 .....         | 47 |
| 第六节 六相半波整流电路 .....           | 55 |
| 第七节 六相半波可控整流电路 .....         | 57 |
| 第八节 双反星带平衡电抗器的整流电路 .....     | 61 |
| 第九节 带有平衡电抗器的双反星可控整流电路 .....  | 65 |
| 第十节 各种整流电路参数表 .....          | 68 |
| 第三章 整流电路的计算及各部器件的选择.....     | 76 |
| 第一节 整流电路各部电压的计算 .....        | 76 |
| 第二节 整流元件的选择 .....            | 82 |
| 第三节 整流变压器 .....              | 88 |
| 第四章 整流器及整流变压器结线的变换 .....     | 95 |
| 第一节 变换整流器及整流变压器结线的意义 .....   | 95 |

|                   |                                    |     |
|-------------------|------------------------------------|-----|
| 第二节               | 双反星带平衡电抗器整流电路变压器结线组别及整流电路的变换 ..... | 96  |
| 第三节               | 三相桥式整流变压器结线组别的变换 .....             | 107 |
| 第四节               | 改变整流变压器结线组别的方法 .....               | 108 |
| 第五节               | 改结线后整流变压器试验运行 .....                | 109 |
| 第五章 整流装置的保护 ..... |                                    | 110 |
| 第一节               | 整流器交流侧过电压保护 .....                  | 110 |
| 第二节               | 换相过电压保护 .....                      | 122 |
| 第三节               | 整流装置交流侧过电流保护 .....                 | 125 |
| 第四节               | 直流侧故障过电流保护 .....                   | 131 |
| 第五节               | 过电流保护器件的组合方案 .....                 | 152 |
| 第六章 可控硅触发电路 ..... |                                    | 156 |
| 第一节               | 对触发电路的要求 .....                     | 156 |
| 第二节               | 可控硅触发电路的组成 .....                   | 157 |
| 第三节               | 触发电路与主回路电源的同步问题 .....              | 159 |
| 第四节               | 脉冲变压器 .....                        | 160 |
| 第五节               | 触发电路分析 .....                       | 162 |
| 第七章 整流装置的应用 ..... |                                    | 177 |
| 第一节               | 整流装置的选择 .....                      | 177 |
| 第二节               | 整流装置的运行 .....                      | 185 |
| 参考文献 .....        |                                    | 201 |

# 第一章 整流电路基础

## 第一节 硅整流元件

大功率硅整流装置可分为硅整流器和可控硅整流器两大类。可控硅整流装置主要是由整流变压器、平波电抗器、可控硅、硅整流管、快速熔断器等器件组成主电路。用晶体三极管等元件构成控制电路。在可控整流电路中起不同的作用。为了便于分析和了解可控整流电路的工作原理,简单介绍硅整流管、可控硅整流管、晶体三极管等元件的基本特性、结构、工作原理及使用方法。

### (一) 硅整流管构成原理

硅整流管是单向导电的大功率半导体器件。是由半导体PN结加电极引线 and 外壳封装制成的。P端引线为该整流元件的正极(或称阳极)。N端引线为该整流元件的负极(或称阴极)。由两个电极构成的硅元件称为“二极管”。二极管在电路中的符号如图1-1所示。

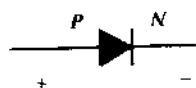


图 1-1

半导体二极管有“点接触型”、“面接触型”两种。点接触型接触面积小,通过电流较小,只有几十毫安。其PN结的电容小,适用于高频、检波和脉冲技术。面接触型接触面积大,可通过几十毫安至几百安的电,适应做整流元件。其PN结起整流作用,可称为整流结。

半导体二极管具备单方向导电的特性,具有理想开关和电气阀作用。大功率硅整流管,具有整流效率高、体积小、安装维护方便、运行可靠等优点。在整流装置中已得到广泛应用。

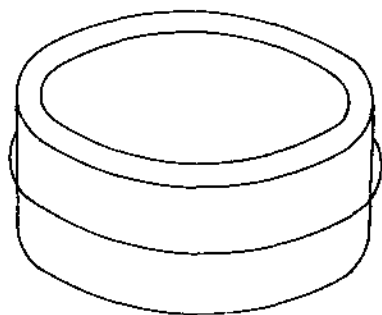


图 1-2 平板压接式硅二极管

大功率硅二极管外型结构有平极压接式和螺栓式两种。平极压接式外型如图1-2所示。是由整流结、冷却水夹套和出线连接小母线构成。结面厚的一面母线为阳极母线,薄的一面为阴极母线。压接式两极出线连接母线,用连杆螺丝与整流结压接。螺栓式外型如图1-3所示。螺栓型硅元件正极那端是软连接线。

硅整流元件冷却方式分为风冷和水冷两种。200A以上的二极管大都采用平板压接水冷式。

## (二) 硅二极管正反向伏安特性

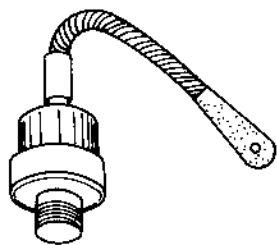


图 1-3 二极管外型

PN 结运动规律反映到外电路就是电流和电压的关系。说明二极管电流与外电压关系的曲线叫做二极管的“伏安特性曲线”。分析硅元件的伏安特性曲线，有助于对硅元件的整流性能作基本的定量分析。下面做一简单测试，观察电流与电压的互相关系。图 1-4 是测试电路。图中  $D$  是待测二极管， $A$  是电流表， $V$  是电压表， $R$  是限流电阻， $E$  是可调直流电源。

正向特性：可调电源为零时，二极管两端的电压、电流均为零。调节电源  $E$ ，给二极管  $D$  逐渐加正向电压  $V$ （此时电压值小于  $0.6V$ 、电流也很小），随电压的逐渐增加，电流随之增加，但电流随电压变化不是成正比的。这是由于此时外加电压较小，还不能抵消内部电场对载流子扩散运动造成的阻力。载流子扩散量很小，正向电流也很小，二极管的电阻较大。这一段称为“死区”。硅管死区在  $0 \sim 0.6V$  之间。

调节电源  $E$ ，提高二极管  $D$  的端电压。外加电压超过死区时，外加电压作用抵消内部电场载流子扩散的阻力，二极管电阻变的很小，正向电流迅速增加。这时二极管伏安特性曲线很陡，近似上升直线。而管压降随电流变化很小。这个电压称为二极管的电压或正向压降。特性曲线如图 1-5 中上部所示。硅整流管在正向电压下导通，有正向电流通过也有一定阻力，它随管子的材料和温度不同而变化。硅整流管正向压降大约在  $0.7 \sim 0.8V$  左右。通过硅元件的电流值乘以管压降就是硅元件的功率损耗。功率损耗大二极管发热，通过二极管的电流不可无限度增大。电流过大会使 PN 结烧坏。

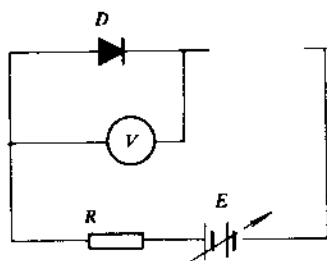


图 1-4 二极管测试电路

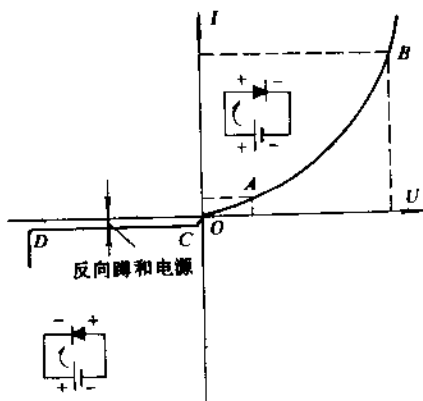


图 1-5 晶体二极管的伏安特性曲线

反向特性：把电源的极性反接，对二极管加反向电压。这时二极管处于截止状态，有很小的反向电流流过，调节电压  $E$  使硅元件反向电压逐渐增高，此时反向电流几乎保持不变。因为反向电流是少数载流子形成的。少数载流子有限，容易达到饱和。所以反向电压增加时，也不能使载流子数目增加，反向电流几乎不变，被称为反向饱和电流。如图 2-5 左下部所示。特性曲线的平直部分靠近横坐标，说明反向漏电流很小。当温度升高



时, 半导体内部的分子热运动加剧, 产生更多的电子与空穴参与导电, 使电流增加。

调节电源  $E$ , 使反向电压增加到一定数值时, 外电场把半导体内部被束缚的电子强行拉出来, 反向电流突然剧增。这个现象叫二极管反向击穿。达到反向击穿时对应的电压叫反向击穿电压。产生反向击穿的原因是少数载流子在 PN 结中受强电压的作用产生高速运动, 能量很大。它们将 PN 结中其它被束缚的电子撞击出来, 被撞击出来的电子高速运动, 再撞击其它被束缚的电子, 使反向电流急剧增加, 这种现象叫“雪崩击穿”。

二极管击穿后失去单向导电特性。图 1-5 左下部的特性曲线就是二极管反向电流与电压的关系曲线。

利用反向击穿时二极管两端电压基本不随电流的变化而变这一特性, 可以制成稳压管。

通过测试和分析硅整流管伏安特性, 可以得如下结论:

1. 二极管具有单方向导电特性, 反向连接时近似于截止。
2. 二极管的正向特性和反向特性都是非线性的。所以二极管是属非线性元件。
3. 二极管正向压降很小。只有 0.7V 左右。
4. 二极管承受反向电压, 没达到击穿电压时, 反向电流大小与所加电压无关。超过反向击穿电压时, 管子被击穿。由于硅元件的加工工艺不同, 同一型号规格的硅元件也稍有差异, 通常正向特性差异较小, 反向特性差异较大。

从上述结论可以看出, 二极管在电路中有以下四个主要作用:

1. 整流作用, 硅整流管具有单向导电的特性, 能把交流电变为脉动直流电。
2. 二极管在电路中可以作为开关使用。正向电压导通, 反向电压截止, 相当电路中的开关和阀门。
3. 作为某些电路的输入端保护, 组成限幅电路。把输入波形中过高的一部分削掉, 不使输入过载。
4. 具有钳位作用。组成二极管钳位电路, 把信号稳定在某一个固定的电平上。

### (三) 二极管的主要额定参数

1. 最大正向电流: 指长期运行硅二极管允许通过的最大正向平均电流 (是指在保证冷却的条件下)。二极管通过电流, 管结超过额定的电流时, PN 结会因温度过高而烧毁。使用时正向电流不应超过所规定的最大正向电流。大功率二极管有冷却装置。如散热片、风冷或水冷装置。在无冷却装置条件下使用时, 电流不能超过额定电流的  $\frac{1}{5}$ 。

2. 最大反向电压: 指二极管正常工作所能承受的最大反向峰值电压。加在二极管上的反向峰值电压超过此值时, 二极管将反向击穿。击穿后的二极管单相导电性能被破坏, 失去整流作用。二极管承受的最大反向电压不应超过击穿电压。

3. 反向电流: 指二极管加最高反向电压时的反向电流值。此值越小越好, 反向电流大说明管子不好。硅管的反向电流约在 1 微安到几十微安 (大功率二极管也有高达几十毫安), 锗管可达几百微安, 在高温下还要大。

4. 最高使用温度: 指二极管长期运行所允许的温度。

除上述参数外, 还有最高工作频率, 最大瞬时电流等参数。以上参数都标在出厂合

格证上。有的电流、电压标在元件上。例如：2CZ—800/1600，是大功率整流硅二极管。在保证冷却条件下，容许额定工作电流为 800A，最高反向峰值电压为 1600V。

#### (四) 二极管型号意义

二极管型号由四部分组成。第一部分用数字表示电极数。如用“2”表示二极管。第二部分用汉语拼音字母表示材料，A 表示锗材料，C 表示 N 型硅材料。第三部分用汉语拼音字母表示类型。P 表示普通管，Z 表示整流管。第四部分表示序号和某些性能参数差别，分子表示电流，分母表示反向电压额定值。图 1-6 以 2CZ 二极管型号为例具体说明。

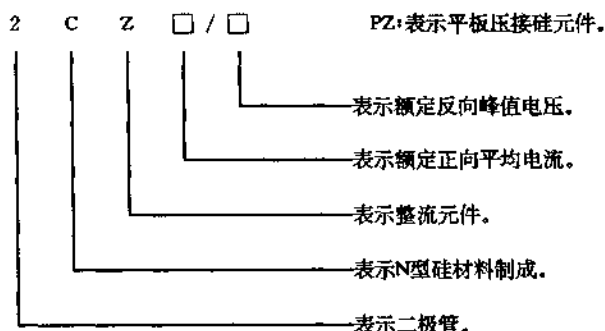


图 1-6

#### (五) 半导体二极管性能和极性简易测量方法

用万用表的欧姆档测量二极管的极性，判断二极管的好坏。二极管一般在管壳上用符号—▶—标记。如无标记或标记抹掉，根据半导体二极管正向电阻小，反向电阻大这一特性测量。万用表欧姆档实质是一个表头串联电池的电流表。正表笔接在电池负极上，负表笔接在电池正极上。二极管正向连接导通时有电流流过。两表笔分别接二极管的两极，如指示电阻值很小（一般在  $100\Omega \sim 1000\Omega$  之间）。接负表笔那个极则是正极（阳极），接正表笔那个极则为负极（阴极）。如图 1-6 所示。

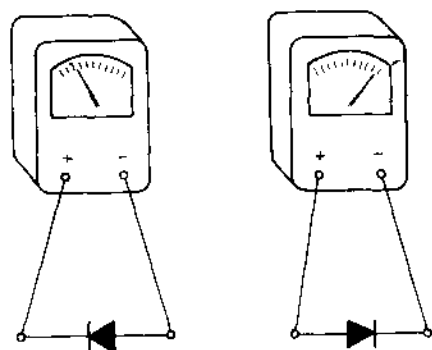


图 1-7

将两表笔对调，测二极管两极。如电阻值在几百  $K\Omega$  以上，说明二极管单向导电性能很好。如果正反向测量电阻值都小，说明此管的 PN 结已损坏，失去单向导电能力。如果正反向测量的电阻值都很大，表明此二极管内部已断路，不能继续使用。正反向电阻相差越大越好，如相差不多说明性能不好。

测量时对耐压低、容量小的二极管不能用  $R \times 10K$  档和  $R \times 1$  档。 $R \times 10K$  档电池电压较高，一般在 15V—22.5V 之间，此值可能超过最大反向电压较低的二极管。 $R \times 1$  档内电阻很小，只有  $12 \sim 24\Omega$ 。用此档与二极管正向连接时电流较大，容易损坏电流容量小的二极管。

使用二极管注意事项:

1. 连接极性必须正确。
2. 二极管的正向平均电流和反向峰值电压不得超过允许值。使用时应留有余量。
3. 焊接时要保证焊点可靠,焊点距离管壳不小于 10mm,焊接时间不超过 5s。引线弯曲处离管壳不小于 5mm。

## 第二节 晶体三极管

### (一) 晶体三极管的结构

晶体三极管是由两个 PN 结组成:发射结和收集结。从结构形式分,三极管分为 PNP 型和 NPN 型两种。这两种结构的三极管在电路符号如 1-8 图所示。

PNP 型和 NPN 型三极管工作原理基本相同。它们各有两个 PN 结。有三个区:发射区、基区和集电区。中间薄层是基区,引出的电极叫基极,用 b 来表示。集电区引出的电极叫集电极,用 c 表示。发射区引出的电极叫发射极,用 e 表示。

发射极的作用与电子管的阴极相似,集电极的作用与电子管的屏极相似,基极的作用与电子管的栅极相似,用以控制集电极的电流变化。

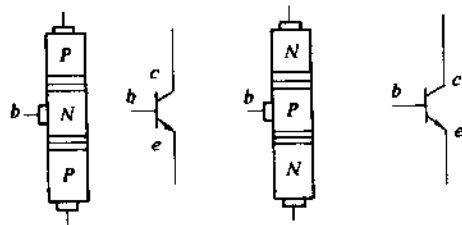


图 1-8 PNP 型和 NPN 型三极管工艺原理

从晶体管的结构看出,如晶体管发射极或集电极引线断了,利用它的一个 PN 结,可以把它当做二极管使用。如基极引线断了,发射极与集电极之间不能当作二极管使用。因两 PN 结是反串的。

晶体三极管是组成晶体管电路的基本元件之一。三极管按用途种类分有高频管、低频管、大功率管、小功率管等。晶体管在不同的电路,不同的接线方式及工作条件下可起到不同作用。

- (1) 用晶体三极管的电流放大作用,把微弱信号放大成足够大的控制信号。
- (2) 能提高放大管带负载的能力。
- (3) 改变基极电流,便可改变晶体三极管的放大能力,管压降随之改变,在电路中起可变电阻作用。
- (4) 改变控制信号,使晶体管工作在截止和饱和区,控制晶体管的全导通和截止,起开关作用。

### (二) 晶体三极管的放大原理

晶体三极管的基本作用是放大。把微弱的电信号送入由三极管组成的放大电路中,转换成具有一定幅度的输出信号。用图 1-9 说明晶体三极管的放大原理。整个电路分为两个回路,由电源  $E_b$ 、基极 b 和集电极 c 构成的集电极回路,是输出回路。由  $E_b$ 、发射极 e 和

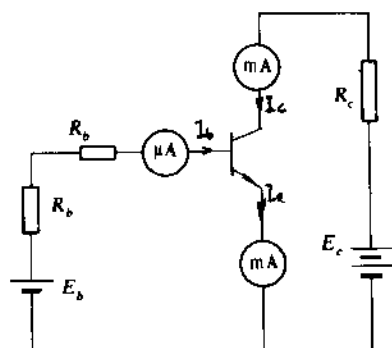


图 1-9 三极管放大原理

和电流方向不同。

|             |      |      |      |      |      |
|-------------|------|------|------|------|------|
| 发射极电流 $I_e$ | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    |
| 集电极电流 $I_c$ | 0.96 | 1.91 | 2.86 | 3.81 | 4.76 |
| 基极电流 $I_b$  | 0.04 | 0.09 | 0.14 | 0.19 | 0.24 |

图 1-10

在输入回路中接入一个交变信号电压  $e(t)$ ，集电极是输出端，发射极是输出和输入的共同端。交变信号电压变化，引起输入电流的变化，并引起输出电流的变化。因加在发射结的电压是变化的，流过结面的电流也随之改变。基极电流少量的变化能引起集电极电流较大的变化。随基极电流变化的集电极电流，相对应的随之变化，流过负载时，负载两端产生一个与输入信号相似，但幅值不同的交变电压降。这个电压比输入信号电压大的多，这是三极管的电压放大原理与作用。以上分析是一只晶体三极管组成的单级放大电路，能把输入信号放大几十倍。如需较高的放大倍数，可采用多级放大，把几个放大级串联在一起，输入信号将被逐级放大。以至放大几千倍，或更高。

基极电流微小的变化，引起较大的集电极电流变化。这就是晶体三极管的电流放大作用。

### (三) 晶体管输入特性与输出特性

晶体三极管各电极的电压和电流具有一定相互关系。用晶体三极管伏安特性这一概念，能全面地反映各电极电压与电流之间关系。实际上是 PN 结性能的外部表现。将三极管电极上的电压与电极上相应的电流关系画成曲线，即伏安特性曲线。常用的是输入特性曲线和输出特性曲线。

晶体三极管输入特性和输出特性，可用图 1-11 所示的电路进行测试。调节  $R_{W1}$  可以改变基极电流  $I_b$  和电压  $V_{be}$ 。调节  $R_{W2}$ ，可以改变电流  $I_c$  和电压  $V_{ce}$ 。晶体三极管是一个整体，输入回路和输出回路互相联系互相影响。图 1-11 这种连接，称为共发射极连接，在放大电路中应用较广。以共发射极电路为例，讨论分析输入和输出特性曲线。

输入特性曲线：输入特性曲线展示了晶体三极管输入回路发射极和基极之间的电压  $V_{be}$ ，与它所产生的基极电流  $I_b$  之间的关系。

基极 b 构成的发射极回路，是输入回路。调节  $R_b$  的阻值，便可改变基极电流  $I_b$ 。发射极电流  $I_e$ 、集电极电流  $I_c$  也随之变化。从图 1-10 中可知：很小的基极电流变化对应较大集电极电流变化。基极电流从 0.04mA 变到 0.09mA，增加了 0.05mA。而集电极电流从 0.96mA 增加到 1.91mA，增加了 0.95mA。基极电流微小的变化 (0.05mA)，引起了集电极电流较大的变化 (0.95mA)。这就是三极管的电流放大作用。两种结构的晶体三极管放大原理是一样的，只是在连接时，电压极性和电流方向不同。

调节  $R_{W2}$  使  $V_{ce}=0$ ，相当于发射极和集电极被短路。如图 1-11 所示。 $I_b$  与  $V_{be}$  的关系实际上可以看作是集电结和发射结，两个正向的 PN 结并联起来展示的伏安特性。调节  $R_{W2}$  使  $|V_{ce}| > |V_{be}|$  时，集电结就有反向电压作用。集电结吸引电子的能力增强，使由发射区进入基极的电子更多地流向集电极，即  $|I_c|$  增大对于相同的  $|V_{be}|$  流向基极电流  $I_b$  变小，使特性曲线右移。

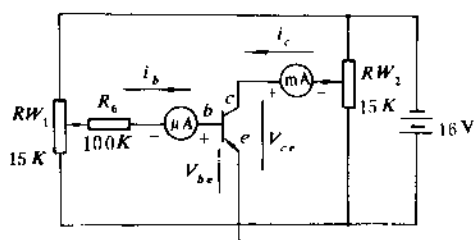


图 1-11 三极管特性测试电路

当  $|V_{ce}| > |V_{be}|$  并超过一定值时，如  $|V_{be}|$  不变，发射极流过基极的电流一定， $|V_{ce}|$  已足够大，通过基极的电流除一小部分形成基极电流外，大部分通过集电极。每改变基极电源  $E_b$  或限流电阻  $R_1$ ，可以得出一组相应的  $V_{be}$  和  $I_b$  的数据。将所得的数据分别在  $I_b$  与  $V_{be}$  的直角坐标上点出来，连成曲线如图 1-12 所示，就是输入特性曲线。如  $|V_{ce}|$  再增加，不能使  $|I_b|$  明显减小，特性曲线很接近。当发射结外加正向电压  $V_{be}$  比较小时，基极电流  $I_b$  很小，近似于零。这是因为  $V_{be}$  较小，不能使发射结内电场削弱，这段区域是晶体三极管特性的死区。硅管的死区在 0.6V 左右。

输入特性曲线有以下特点：① 基极电流  $I_b$  与发射结电压  $V_{be}$  的变化关系是非线性的，与二极管的正向伏安特性相似。基极和发射极相当于一只加正向电压的二极管。它不同于二极管的地方是  $V_{be}$  值不变，在  $V_{ce}=0$  时， $I_b$  最大。当  $V_{ce}$  逐步增大时，进入基区的电子也越来越多地被增大。② 特性曲线有一段“死区”。锗管为 0.15~0.2V，硅管为 0.6V 左右。

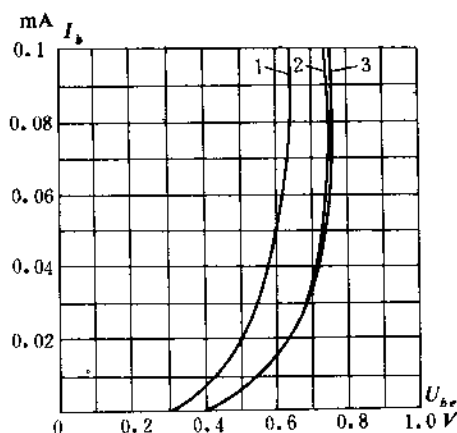


图 1-12 硅管 3DG8A 的输入特性曲线

晶体管正常工作时基极电压很小。锗管一般在 0.2~0.3V 左右，硅管 0.6~0.7V。如  $V_{be}$  过大会使基极电流过大而烧坏。

输出特性曲线：共发射极接法的输出特性曲线是指基极电流  $I_b$  一定时，发射极、集电极间电压  $V_{ce}$  与集电极电流  $I_c$  之间的关系曲线。图 1-13a 是输出特性关系曲线，它反应了  $I_b$ 、 $I_c$  及  $V_{ce}$  三者之间的关系。先调节  $R_{W1}$  使  $I_b$  为一固定值，然后调节  $R_{W2}$ ，可以分别测得在不同的  $V_{ce}$  下的集电极电流  $I_c$  数值。对于不同的  $I_b$  值可作出不同的曲线。图 1-13a 是 3DG8A 输出特性曲线。从曲线可以直接反映电流放大倍数的大小。晶体三极管是非线性元件，工作在各区域的放大倍数  $\beta$  值不同，特性曲线的中间区域距离均匀。

从输出、输入特性可知集电极电流  $I_c$  主要被基极电流  $I_b$  控制。通过调节  $I_b$  大小改变  $R_{W1}$  值， $I_b$  增大， $I_c$  按比例增加，同一个  $V_{ce}$  值， $I_b$  不同，得出不同的  $I_c$  值。

晶体管不同的连接方式得出的特性曲线不同。共基极连接和共集电极连接的特性曲线，与共发射极连接的特性曲线各不相同。前两种连接方式不经常应用，在此不作分析。

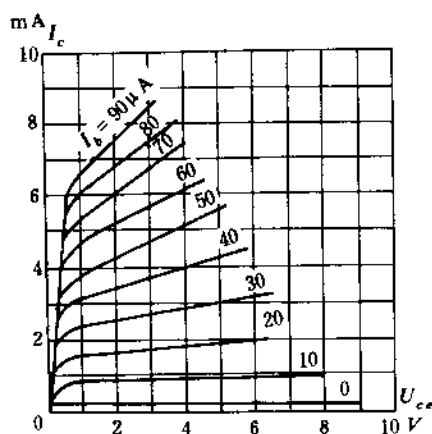


图 1-13a 硅管 3DC8A 的输出特性曲线

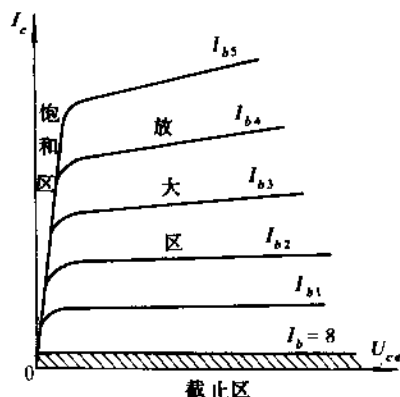


图 1-13b 输出特性上的三个区域

从晶体三极管的输出特性把它的工作状态可以分为三个区域：即截止区、放大区、饱和区。

**截止区：** $I_b=0$  曲线以下的区域。这个区域的  $I_b < 0$ 。晶体管发射结、集电结处于反向偏置，承受较高的电压，发射区基本没有电子注入基区，集电极电流近似于零。三极管失去放大能力，集电极与发射极间相当于开路。此时流过管子的电流就是穿透电流。要使晶体三极管工作在截止区的条件是：集电结和发射结处于反向偏置。

**放大区：**当  $V_{be} > 0$ ，集电结加一定的反向电压，发射区的电子大部分流入集电极，基极电流  $I_b$  与集电极电流  $I_c$  近似地成线性比例关系。 $I_b$  很小的变化可以引起  $I_c$  较大的变化。在这个区域内，晶体三极管能充分发挥电流放大作用。放大区介于截止区和饱和区之间。使晶体三极管工作在放大区的条件是：发射结正向偏置，集电结反向偏置。

**饱和区：**如增大  $I_b$ ，集电极电流  $I_c$  不再增大，这种状态称为晶体管工作的饱和状态。三极管工作在饱和区域的条件是集电结和发射结都处于正向偏置，相当于开关接通状态。工作在饱和区的晶体三极管无放大作用。

把晶体三极管用于触发电路中作开关使用时，只要使晶体管交替地工作于截止区和饱和区，就可起开关作用。

输出特性的三个区域如图 1-13b 所示。

#### (四) 晶体三极管的主要参数

除用晶体管的特性曲线作为判断晶体管主要性能的依据，表征适应范围外，实际使用时可以用晶体管主要参数选择晶体管。

(1) 电流放大系数：电流放大系数这个参数能表示晶体管电流放大的能力，电流放大系数分为交流放大系数和直流放大系数。

直流电流放大系数  $h_{FE}$ ，是指集电极电压  $V_{ce}$  和集电极电流为规定值时，集电极电流与基极电流的比值。

$$h_{FE} = \frac{I_c}{I_b}$$

(静态电流放大倍数)

电流放大系数用“ $\beta$ ”表示。它是指三极管的集电极、发射极电压  $V_{ce}$  不变时集电极电流变化量  $\Delta I_c$ ，与基极电流变化量  $\Delta I_b$  的比值。

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b}$$

(动态电流放大倍数)

集电极反向截止电流，是在发射极开路，集电结加上反向电压时，流经集电结的反向电流，叫集电极的反向饱和电流，用  $I_{co}$  表示。在集电极反向电压作用下，少数载流子形成的电流一般很小。

穿透电流  $I_{ce0}$ ：基极开路时，集电结上加反向偏压，发射结加正向电压时集电极的电流。穿透电流  $I_{ce0}$  和集电极反向截止电流  $I_{co}$  之间的关系可表示为  $I_{ce0} = (1 + \beta) I_{co}$ 。穿透电流是衡量晶体三极管质量的一个标准， $I_{ce0}$  越小，管性能越稳定。当穿透电流逐渐增大时，意味着该三极管已面临损坏，需要更换。

频率参数：是表征三极管对外界输入信号反应快慢的参数。对外界信号反应越快，频率特性愈好，可以在较高的频率范围内工作。

三极管的极限参数：是保证晶体管正常工作时某些最大允许值，超过这些值会损坏晶体管或使电路工作不正常。这些参数主要有三个：

(1) 集电极最大允许电流  $I_{cm}$ ：是指集电极电流  $I_c$ 。超过一定值后，晶体管的参数发生变化，电流放大系数  $\beta$  下降到原来数值二分之一时的集电极电流，称为集电极最大允许电流。参数变化不超过规定允许值时不致损坏晶体管，但使  $\beta$  值变小。

(2) 集电极、发射极反向击穿电压  $BV_{ceo}$ ：在基极开路条件下，加于集电极和发射极最大允许电压，使用时如果  $V_{ce} > BV_{ceo}$ ，将产生很大的  $I_c$  或  $I_e$  时，这种现象叫击穿。

(3) 集电极最大允许耗散功率  $P_{cm}$ ：在电路中集电结处于反向连接，电阻很大，当有集电极电流通过时，集电结产生热量，集电结所消耗的最大功率  $P_m$  越大，结温越高，温度升到一定值时，晶体管将不能正常工作，以致损坏。

晶体管的参数与工作点位置，温度，频率有着一定的关系。晶体管的制造工艺控制较难，同型号元件特性和参数差异较大。在设计电路及选择元件时，应根据具体情况对所用管子的参数进行适当选择。

### (五) 晶体三极管放大电路的三种基本接法

任何放大电路都是由输入回路和输出回路构成。应该有两只管脚作信号的输入端，同时应该有两只管脚做信号的输出端。半导体三极管只有三个电极，相当于有三个电流。三极管用在电路中，输出端和输入端必然有一极是公共端。这公共端是某一极，则称为共某极电路。如以发射极作为放大器的输入回路和输出回路

的公共端(地端)，这种接法称共发射极放大电路。共集电极和共基极电路构成与上相同。晶体三极管做放大器时，只有以上三种基本接法。三种接法如图 1-15 所示。

电路连接方式不同，电流和电压方向也不同，规定电流以流向电极的方向为正方向。

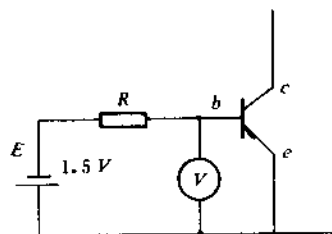


图 1-14

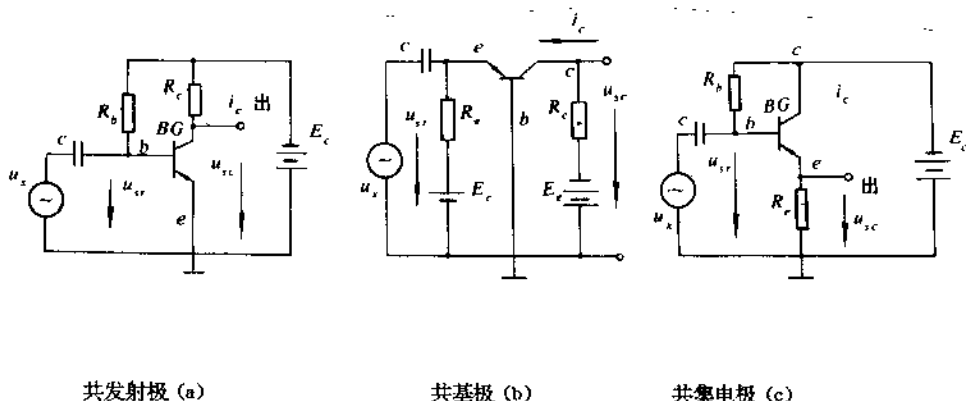


图 1-15 晶体管三种基本放大电路

电压对公共点来讲，上正下负为电压正方向。如实际电压与规定方向相反则取负号。公共点也叫参考点。

共发射极电路如图 1-15a 所示。共发射极电路应用较广。它具备以下几个特点：

- (1) 电流放大倍数高。一般多用于晶体管放大器多级放大的中间级和低频放大电路。
- (2) 输入电压和输出电压的相位相反相差  $180^\circ$ 。
- (3) 输入阻抗中。
- (4) 高频特性比共基极差。

共基极放大电路：图 1-15b 所示。 $\Delta I_b$  是输入电流， $\Delta I_c$  是输出电流。共基极放大电路具备以下几个特点：

- (1) 交流输入电压和交流输出电压同相位。
- (2) 电流放大倍数小于 1，电压放大倍数较大，要求负载电阻大。
- (3) 输入阻抗小，输出阻抗大。
- (4) 频率特性好，截止频率较高，适用于高频率电路，稳定性较好。

共集电极电路：这种电路又称“射极输出器”如图 1-15c 所示，输出端是从发射极取出。有以下几个特点：

- (1) 输入交流电压和输出交流电压相位相同。
- (2) 电流放大倍数小于 1，电压放大倍数大于 1。
- (3) 输入阻抗很大，输出阻抗小，输出电流大。

(4) 高频特性好，稳定性好。常用于输入、输出阻抗变换。同一晶体管由于连接方式不同，放大特性也完全不同。以上三种电路共基极电路优点少，在多极放大器中，使用很不经济。共集电极电路作为放大器用也不经济，只在一些特殊的场合，如前置放大级和输出功率级中得到应用。共发射极电路电流放大倍数高，比较经济，应用较广。

## (六) 半导体三极管的命名方法

在晶体三极管的管壳上标有管子的型号和色点。三极管的用途和种类较多，型号也不同。掌握三极管的命名方法，根据型号大致知道管子的特性及用途。半导体三极管的型号由四部分组成。用图 1-16 说明。



| 第一部分      |     | 第二部分           |            | 第三部分        |             | 第四部分    |                              |
|-----------|-----|----------------|------------|-------------|-------------|---------|------------------------------|
| 用字母表示电极数目 |     | 用汉语拼音字母表示材料和极性 |            | 用汉语拼音字母表示类型 |             | 用数字表示序号 |                              |
| 序号        | 意义  | 序号             | 意义         | 符号          | 意义          | 符号      | 意义                           |
| 2         | 二极管 | A              | 二 N 型锗材料   | P           | 普 通 管       | 1       | 表示产品序号同<br>于区别同类型不<br>同规格的产品 |
| 3         | 三极管 | B              | 二 P 型锗材料   | W           | 稳 压 管       | 2       |                              |
|           |     | C              | 二 N 型硅材料   | Z           | 整 流 管       | 3       |                              |
|           |     | D              | 二 P 型硅材料   | U           | 光 电 管       | 1       |                              |
|           |     | A              | 三 PNP 型锗材料 | K           | 开 关 管       | 1       |                              |
|           |     | B              | 三 NPN 型锗材料 | a           | 低 频 小 功 率   | 1       |                              |
|           |     | C              | 三 PNP 型硅材料 | G           | 高 频 小 功 率   |         |                              |
|           |     | D              | 三 NPN 型硅材料 | D           | 低 频 大 功 率   |         |                              |
|           |     |                |            | A           | 高 频 大 功 率   |         |                              |
|           |     |                |            | T           | 可 控 硅 整 流 器 |         |                              |

图 1-16

### (七) 使用晶体三极管注意事项

- (1) 使用三极管时不得使参数达到和超过极限值。
- (2) 焊接应使用低熔点焊料，焊接点和管间距离不应小于 10mm，焊接时间不应超过 2s。并应使焊接点到管壳间有散热条件。
- (3) 管引线的弯曲处距离管壳不应小于 10mm。
- (4) 元件接入电路时，首先要判别清楚极性。接入顺序是先接基极，然后接发射极，最后接集电极。拆下时顺序相反。在集电极、发射极之间有电压时，不得断开基极引线，以免过电压损坏管子。
- (5) 要把元件固定好，以免振动时发生短路或接触不良。
- (6) 晶体管不要装在发热元件附近。
- (7) 功率管应安装有效的散热片。
- (8) 晶体管带电工作时，最好不用万用表的欧姆档直接测量。欧姆档的两表笔间有直流电压，会影响电路的工作状态及损坏元件，或损坏万用表。

## 第三节 可控硅整流元件

可控硅是一种大功率半导体器件，也可称硅晶体闸流管。晶闸管又分普通晶闸管，双向晶闸管，可关断晶闸管和逆导通晶闸管。

可控硅具备重量轻、体积小、效率高、寿命长、无噪声、无磨损、维护简单、控制灵活等优点。可控硅还可以通过串联、并联组成理想电压容量和电流容量的整流器，逆变器用于交直流调速系统。随着可控硅技术的发展，可控硅在生产中已得到广泛应用。

### (一) 可控硅整流元件的结构

可控硅是由管心、底座和引线按一定方式连接在一起构成的。它有三个电极。管芯