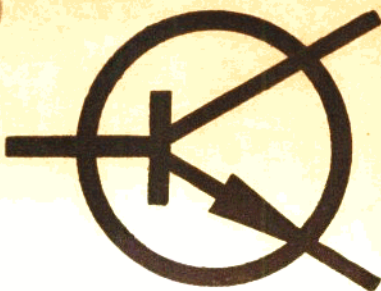


成都工学院图书馆

基本馆藏

386443



晶体管继电保护基础



00217
0141

北京电力工业局北京电力学校



晶体管继电保护基础

北京电力工业局北京电力学校

前 言

“革命就是解放生产力，革命就是促进生产力的发展。”

波澜壮阔的无产阶级文化大革命彻底摧垮了以叛徒、内奸、工贼刘少奇为首的资产阶级司令部，大大地解放了生产力，无限忠于毛主席的我国工人阶级，狠批刘贼竭力贩卖的“爬行主义”和“洋奴哲学”，怀着为伟大领袖毛主席争光，为伟大的社会主义祖国争光的雄心壮志，掀起了一个工业生产的新高潮，我国的科学技术正在赶上和超过世界先进水平，其中半导体电子工业也得到了飞速的发展。在电力工业中，半导体电子技术已经在继电保护、发电机超出力、提高自动化水平、节约厂用电等方面获得了日益广泛的推广和应用，并显示出了优越性。

为了贯彻执行毛主席“教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。”的伟大方针，适应电力工业飞跃发展的大好形势，普及半导体电子技术知识，培养工人电子技术队伍，交流应用电子技术的经验，进行无产阶级教育革命的探索试验，我们举办了两期工人电子技术学习班。本书就是在学习班教学实践的基础上，对学习班所用的“晶体管继电保护基础”讲义进行修改补充而成的。在内容上除讲述晶体管继电保护的基本原理外，还结合实际收集了经验交流部份的内容。适用于从事电力系统继电保护、电气运行方面工作的工人、工程技术人员及有关同志参考。

由于我们活学活用毛主席著作不够，业务水平较低，又缺乏经验，书中的错误和缺点一定不少，殷切希望广大工人、革命干部和革命知识分子提出批评指正。

北京电力工业局北京电力学校

一九七一年二月

毛 主 席 語 录

教育必須为无产階級政治服务，必須同生产劳动相結合。劳动人民要知識化，知識分子要劳动化。

鼓足干劲，力爭上游，多快好省地建設社会主义。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我們必須打破常規，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建設成为一个社会主义的現代化的強国。

社会的财富是工人、农民和劳动知識分子自己創造的。只要这些人掌握了自己的命运，又有一条馬克思列宁主义的路线，不是回避問題，而是用积极的态度去解决問題，任何人間的困难总是可以解决的。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

让哲学从哲学家的課堂上和书本里解放出来，变为群众手里的尖锐武器。

目 录

前言

第一章 晶体二极管和晶体三极管	1
第一节 晶体二极管	1
第二节 晶体三极管	7
第三节 三极管的基本电路和工作情况分析	14
第二章 晶体管保护装置的电压形成电路	19
第一节 小变压器的设计	19
第二节 晶体管继电保护装置中常见的几种电压形成回路	24
第三章 整流滤波电路	31
第四章 晶体管电流速断保护	39
第一节 触发器	39
第二节 晶体管电流速断保护原理及参数选择	43
第五章 晶体管定时限过流保护	46
第一节 晶体管时间元件	46
第二节 晶体管定时限过流保护	53
第三节 小电流接地系统的线路保护	55
第六章 晶体管自动重合闸装置	58
第一节 自动重合闸工作原理	58
第二节 简易自动重合闸装置	59
第七章 晶体管反时限保护	61
第一节 反时限保护的特点	61
第二节 晶体管反时限保护原理	62
第八章 稳压管和稳压电源	67
第一节 稳压二极管	67
第二节 用稳压二极管的稳压电路	69
第九章 晶体管继电保护的出口回路	74
第一节 单结晶体管	74
第二节 可控硅元件	76
第三节 出口回路	79
第十章 晶体管保护的逻辑电路	86
第一节 门电路	86
第二节 基本逻辑元件	89
第三节 晶体管保护和控制系统逻辑电路举例	91
第十一章 晶体管差动保护装置	95
第一节 电磁型差动保护存在的问题	95
第二节 差动保护的改进方向	96
第三节 晶体管变压器差动保护	96
第四节 晶体管母线保护	102

第十二章	提高晶体管继电保护装置可靠性的一些措施	112
第一节	晶体管电路的温度补偿	112
第二节	晶体管电路的抗干扰措施	115

毛主席语录

理性认识依赖于感性认识，感性认识有待于发展到理性认识，这就是辩证唯物论的认识论。

第一章 晶体二极管和晶体三极管

二极管与三极管是晶体管继电保护电路中的最基本元件，在研究晶体管保护装置之前，先介绍一下二极管和三极管的工作原理和特性是完全必要的。

第一节 晶体二极管

毛主席教导说：“无论何人要认识什么事物，除了同那个事物接触，……，是没有法子解决的。”为了认识晶体二极管，我们必须接触它，变革它，先建立感性认识，然后再进一步认识它的本质，把对晶体二极管的认识从感性阶段提高到理性阶段。

一、晶体二极管的一般知识：

晶体二极管的外形如图1.1所示，它有两个极，一个阳极（正极），一个阴极（负极）。

晶体二极管的符号见图1.2。箭头表示电流容易通过的方向。

图1.3表示出晶体二极管两种不同的内部结构，点接触的两极接触面小，因而整流电流小，但因极间电容小，可用在高频（3兆周以上）线路中；面接触的两极接触面大，因而整流电流大，但因极间电容大，不能用在高频线路。

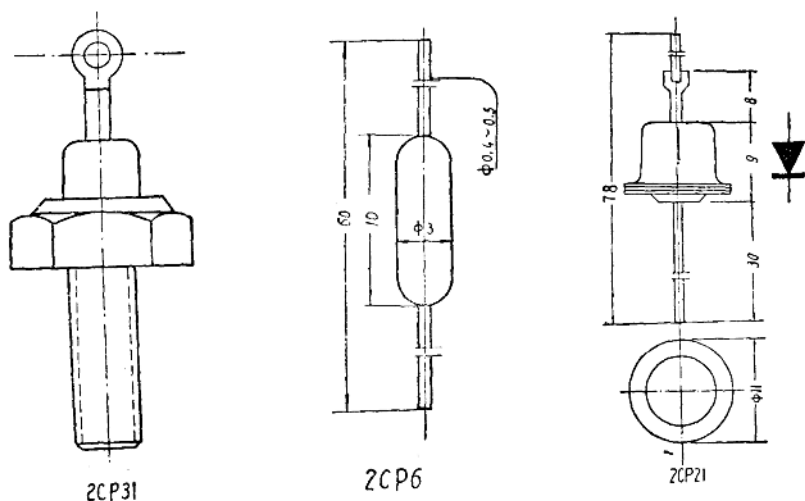


图 1.1 晶体二极管外形



图 1.2 晶体二极管的符号

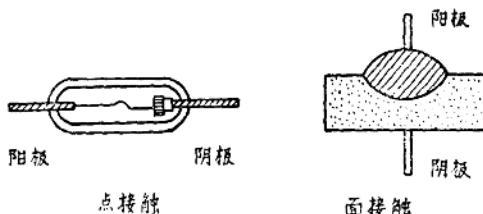


图 1.3 晶体二极管的结构

晶体二极管的半导体材料有硅和锗两种。

晶体二极管有单向导电的特性，可以用图1.4的实验来说明：

图1.4a中的二极管是正向接法，这时毫安表有一定读数，相反，如果把电源的极性调换一下，就成反向接法，如图1.4b所示，这时毫安表几乎没有读数。由此可见，晶体二极管正向接法电流容易通过，反向接法电流不易通过，也就是正向电阻小，反向电阻很大，这种特性称为单向导电特性。

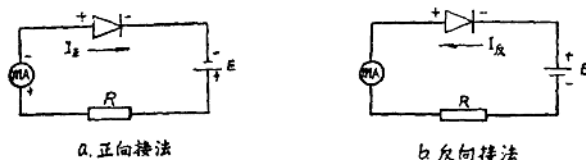


图 1.4 二极管的正向与反向接法

二极管为什么会具有单向导电的特性呢？毛主席教导我们：“唯物辩证法的宇宙观主张从事物的内部、从一事物对他事物的关系去研究事物的发展……”。晶体二极管所以有单向导电的作用，要从组成它的基本物质的性能谈起。

二、半导体 PN 结：

1. 半导体：

我们常用的铜、铝等内部自由电子很多，导电性能好，称为导体，而陶瓷、塑料、胶皮等几乎没有自由电子，基本上不导电称为绝缘体，而硅和锗等材料内部自由电子较少，它们的导电性能介于导体与绝缘体之间，称为半导体。

“成为我们认识事物的基础的东西，则是必须注意它的特殊点，……”半导体除导电性能与导体、绝缘体不同之外，还有一些特殊的“脾气”，例如：在纯半导体材料中掺入极少量的其它元素，它的导电性能就大大加强，利用这个特性我们可以制成不同类型的半导体。

我们以锗为例来具体说明半导体的上述特性，每个锗原子有32个电子，分四层，里三层的电子是稳定的，最外层的四个电子不稳定，它一定要与其它锗原子的外层电子两两结合，这样组成了锗晶体，如图1.5所示，在一般情况下，外层电子受到束缚，是稳定的。

然而，这种稳定“只是暂时的和相对的情形”，电子有热运动，在受外界条件影响时（如温度升高），就有少量的电子克服束缚力，跑了出来。这些跑出来的电子就是自由电子（带负电），留下的空位子，叫做“空穴”，空穴是带正电的。

如果我们在锗中加入极少量的铟，铟最外层的电子是三个，它也与锗的最外层电子两两结合，由于铟的最外层比锗少一个电子，所以就出现了空穴（如图1.6），这种多空穴的半导体称为P型半导体。

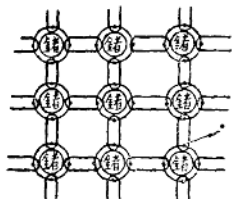


图 1.5 锗晶体

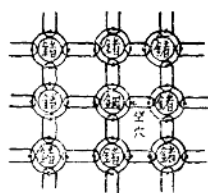


图 1.6 P型锗

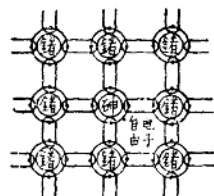


图 1.7 N型锗

如果我们在锗里加入极少量的另一种元素砷，砷最外层的电子是五个，它也要与锗最外层的电子两两结合，由于砷的最外层比锗多一个电子，所以就出现了自由电子（如图1.7），这种多自由电子的半导体叫做N型半导体。

不论是P型还是N型半导体，整个晶体还是中性不带电的，因为原子核带的正电荷等于外层电子所带负电荷的总数。

因为锗原子最外层的电子是不稳定的，在受外界影响时，会有少量电子跑出来成为自由电子，同时也相应的出现一些空穴，因此在P型半导体中除多量的空穴以外还有少量的自由电子，而在N型半导体中除多量的自由电子以外，还有少量的空穴，我们把多量的自由电子或空穴叫做多数载流子，把少量的空穴或自由电子叫做少数载流子，P型半导体的多数载流子是空穴，少数载流子是自由电子，而N型半导体的多数载流子是自由电子，少数载流子是空穴（如图1.8所示）。

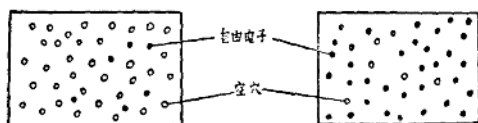


图 1.8 半导体中的多数载流子与少数载流子

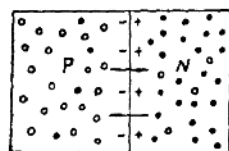


图 1.9 半导体PN结

2. PN结:

我们把P型半导体和N型半导体结合在一起就形成了一个PN结。这两方面“一面互相对立，一面又互相关联、互相贯通、互相渗透、互相依赖，……”因为N型半导体多自由电子，P型半导体多空穴，当它们结合时多数载流子要互相扩散，N型的自由电子向P型扩散，结果N型的边缘因为少自由电子而带正电；P型的空穴向N型扩散，结果P型的边缘因为少空穴而带负电。于是在P、N的接触面上就形成了一个电位壁垒见图1.9。

这两个区域多数载流子的扩散会不会永远进行下去呢？不会的，电位壁垒的形成对扩散产生了阻碍作用。P型边缘带负电后就对电子产生排斥作用，而N型边缘带正电后就对空穴有排斥作用，因此扩散就愈来愈困难了。电位壁垒达到一定的强度，扩散就停止了。

三、二极管的特性:

二极管的特性曲线（伏安特性）表示通过管子的电流和加在管子上的电压的关系，如

图1.10a。图1.10b是测二极管特性的接线

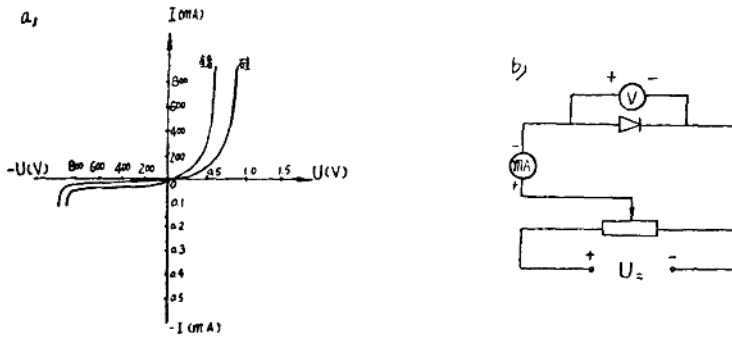


图 1.10 二极管特性曲线

了解半导体 PN 结之后，我们就可以从理论上解释二极管的特性了，二极管实质上就是一个半导体PN结，它的阳极是从P型半导体引出的，阴极是从N型半导体引出的。

1. 正向特性：

在正向接法时，如图 1.11，电源极性与 电位壁垒极性相反，使电位壁垒减弱，两个区域的多数载流子可以继续扩散，形成电流。

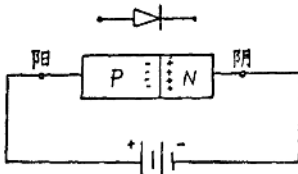


图 1.11 PN结正向接法

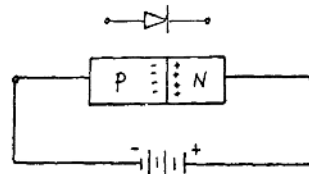


图 1.12 PN结反向接法

从图1.10可以看出，在正向特性上很小的电压（0.5—1伏）就可以引起很大的电流，而且随着电压的增大、电位壁垒越弱，电流也越大。

2. 反向特性：

PN 结在反向接法时，电源极性与电位壁垒极性相同，使电位壁垒加强，多数载流子更不易扩散，只有少数载流子在电源作用下形成很小的反向电流，由图 1.10 反向特性可以看出在电压很低时，电压增加，参加导电的少数载流子增加，反向电流也增加；电压到一定值时所有少数载流子全参加导电了，反向电流不再随电压增加而增加，基本上保持不变，这个反向电流仍然很小以微安计，如图1.10所示；当电压继续升高到达击穿电压时，电流急剧增加，PN 结被击穿。

不同半导体材料的二极管，特性也是不同的，硅二极管的正向压降大一些（0.5—1伏左右），反向电流较小（几个微安）；锗二极管的正向压降较小（0.5 伏以下），反向电流大一些（几十到几百微安）。

3. 温度影响：

在不同温度下，二极管的特性有显著的变化。温度升高时，在同样电压下，电流增加，当温度下降时，正向反向电流都减小。这是由于温度升高，分子热运动加强，跑出的

自由电子和留下的空穴也越多，少数载流子和多数载流子都增多(前者增加比例大,后者增加比例小)，因此在同样电压下正向电流和反向电流都随温度升高而增加，而且反向电流受温度影响比正向电流大。当温度降低时，情况相反，如图1.13所示。

五、晶体二极管的参数及测试：

“读书是学习，使用也是学习，而且是最重要的学习。”二极管在继电保护中应用很广，可以用来整流、稳压、温度补偿、隔离和起保护作用等，下面介绍使用二极管时的一些有关问题。

1. 几个主要的电参数：

最大反向电压 U_{RM} ：工作时的最高电压应小于二极管的最大反向电压，否则二极管会被击穿。

最大整流电流 I_{OM} ：长期使用时，二极管允许通过的最大正向电流，如果工作电流超过此数值，时间长了就会烧坏二极管。

最大反向电流 I_R ：加最大反向电压时的反向电流，此数值越小，说明反向电阻越大，单向导电性能也越好。

在继电保护中最常用的晶体二极管是2CP10~20的，它们的工作电流都是5~100mA，最大反向电流(100℃)都不大于5μA，最大整流电流时的正向压降不大于1.5V，不同序号的最大反向电压如下：

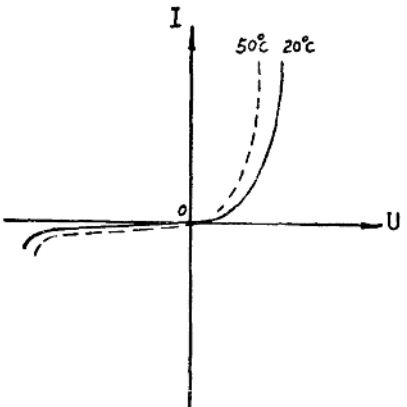


图 1.13 温度对特性的影响

型 号	2CP										
	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
最大反向电压 (伏)	25	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600

常用锗管的型号是2AP，它们的参数列在下表：

参 数	符 号	单 位	测 试 条 件	型 号 2AP						
				11	12	13	14	15	16	17
最大整流电流	I_{OM}	mA		≤25	≤40	≤20	≤30	≤30	≤20	≤15
最大反向电压	U_{RM}	V		≤10	≤10	≤30	≤30	≤30	≤50	≤100
正向电流	I_F	mA	正向电压为1伏	≥10	≥90	≥10	≥30	≥60	≥30	≥10
反向电流	I_R	μA	反向电压分别为 10, 10, 30, 30, 50, 100V	≤250	≤250	≤250	≤250	≤250	≤250	≤250

参 数	符 号	单 位	测 试 条 件	型 号 2AP							
				21	22	23	24	25	26	27	28
最大整流电流	I_{OM}	mA		50	16	25	16	16	16	8	16
最大反向电压	U_{RM}	V		<10	<30	<40	<50	<50	<100	<150	<100
反向击穿电压	V_B	V		<15	<45	<60	<100	<100	<150	<200	<150
正向电流	I_F	mA	正向电压为1V	>50	5~10	>10	2~5	5~10	5~10	2~10	2~5
反向电流	I_R	μA	反向电压分别为 7, 10, 30, 50, 50, 100, 150, 100V	250	100	250	250	250	250	250	250

2. 测极性:

用万用表测二极管的电阻是最简便的方法。把万用表放在欧姆挡, 如读数在几百欧之内, 则万用表负端子(即电池的正极)所接的是阳极, 另一极就是阴极, 如读数为几百千欧以上, 则万用表负端子所接的是阴极, 另一极就是阳极。

3. 测正反向电阻:

正向电阻越小, 反向电阻越大, 说明二极管单向导电性能越好, 在使用之前一般都在常温、高温、低温之下测正反向电阻, 高低温的温度标准没有统一规定, 可根据保护装置使用环境的实际可能温度来确定, 但要留一定余度, 有的定为高温60℃, 低温-30℃。

常温下二极管正向电阻一般在5~6K之间, 电阻值偏离太远的二极管应除去不用, 同时, 在高低温下的电阻值与常温数值相差太多的也应除去不用, 否则, 在高低温的条件下, 二极管单向导电性能变化很大, 该通的可能不通, 该断的可能不断, 如有的管子常温电阻7.4K Ω , 低温61K Ω , 有的常温电阻12K Ω , 低温增为100K Ω , 甚至有的在低温下不通。这样可能使继电保护误动或拒动。

用万用表测二极管要注意:

(1) 最好用同一块表的同一档测量, 因为同一个管子用不同的表或用同一块表的不同档, 测出的阻值也是不一样的(最好用M-500型万用表)。

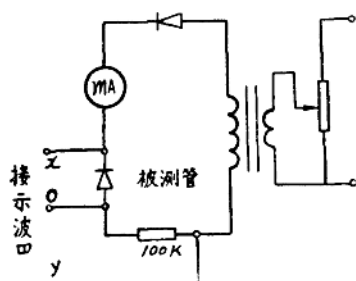


图 1.14 用示波器测试二极管

(2) 不要用“ $\Omega \times 1$ ”和“ $\Omega \times 10K$ ”档,

用前者在正向时可能因电流太大把管子烧坏, 用后者在反向时电压较高可能把管子击穿。

4. 用示波器测二极管的反向特性:

接线如图1.14, Ox 接示波器水平输入, Oy 接示波器垂直输入。

先利用已知信号调好示波器的水平和垂直“增益”, 确定示波管上每一格代表多少电压(伏)和电流(微安), “增益”调好后不能再动。

然后用调压器升压, 直到示波管上的反向特性曲线开始拐弯时为止, 根据横轴长度可算出反向最大电压, 根据纵轴长度可算出最大反向电流。

第二节 晶体三极管

毛主席说“人们的认识，不论对于自然界方面，对于社会方面，也都是一步一步地由低级向高级发展，即由浅入深，由片面到更多的方面。”在比较深入的了解了晶体二极管和半导体PN结的基础上，我们可以继续认识另一个重要的半导体元件——晶体三极管。

一、晶体三极管的结构及特性：

晶体三极管由两个PN结组成，有PNP型（两块P型半导体中间夹一块N型半导体）和NPN型（两块N型半导体中间夹一块P型半导体）两种形式。锗管大多做成PNP型的，硅管大多做成NPN型的，在半导体继电保护中硅三极管的应用越来越比锗管广泛。

三极管有三个极，从中间半导体上引出的是基极（符号是 b ），从两边半导体上分别引出发射极（符号是 e ）和集电极（符号是 c ）如图1.15a。发射极与基极形成的PN结称为发射结，集电极与基极形成的PN结称为集电结。图1.15b是结构图，三极管的表示符号如图1.16所示。

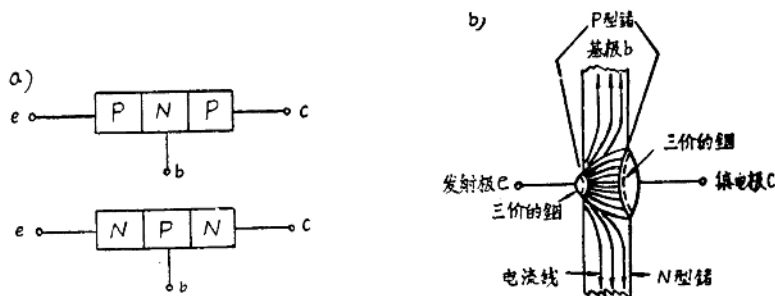


图 1.15 三极管结构示意图

“一切真知都是从直接经验发源的。”我们先通过一些实验来观察三极管接入电路后的一些现象和特性。

1. 三极管的放大作用：

图1.17是三极管共射极接线（输入回路是 $E_b \rightarrow R_b \rightarrow b \rightarrow e \rightarrow E_b -$ ，输出回路是 $E_c \rightarrow R_c \rightarrow c \rightarrow e \rightarrow E_c -$ ，两回路共用发射极，称为共射极接线，这种接线用的最多，此外还有

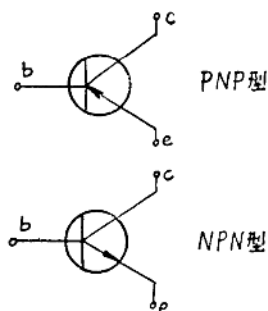


图 1.16 三极管的符号

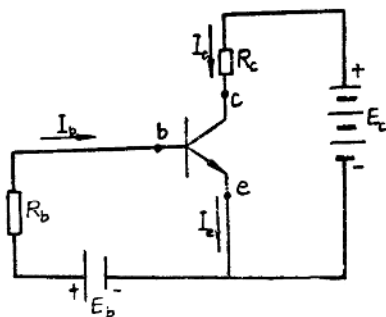


图 1.17 共射极接线

共基极接线和共集电极接线)，各处电流方向如图， I_c 是集电极电流， I_b 是基极电流， I_e 是发射极电流，我们先来观察三极管的放大作用，为此先测几个电流值并列在下表中：

$I_b (\mu A)$	20	40	60	-----
$I_c (mA)$	3	6	9	-----
$I_e (mA)$	3.02	6.04	9.06	-----

可以看出输入电流 I_b 变化 $20 \mu A$ ，而输出电流 I_c 变化 $3000 \mu A$ ，即输入电流有很小的变化，输出电流就有很大的变化，因此，通过基极电流很小的变化可以控制集电极电流很大的变化，这种作用称为放大作用，我们用 β （贝他）表示三极管电流放大倍数

$$\beta = \frac{\Delta I_c (\text{输出电流 } I_c \text{ 变化量})}{\Delta I_b (\text{输入电流 } I_b \text{ 变化量})}$$

在上例中， $\Delta I_b = 20 \mu A$ ， $\Delta I_c = 3000 \mu A$ ，

$$\beta = \frac{3000}{20} = 150$$

同样，输出电压变化量被输入电压变化量除，叫做三极管的电压放大倍数。输出功率变化量被输入功率变化量除，叫做三极管的功率放大倍数。

为什么三极管有控制和放大的作用呢？

毛主席说：“事物发展的根本原因，不是在外部的而是事物的内部，在于事物内部的矛盾性。”又说：“唯物辩证法认为外因是变化的条件，内因是变化的根据，外因通过内因而起作用。”三极管内因是什么？外因是什么？外因怎样通过内因而起作用？解决了这些问题，我们对三极管的认识也就随着深入了。

我们以NPN型三极管为例，从内部结构和外部接线两方面进行研究：

三极管的内部结构是两块N型半导体夹一块P型半导体，组成两个PN结，而中间的P型半导体做的很薄只有几微米，这就是决定三极管特性的内因和根据。

三极管的外部接线如图1.18（共射极接线），发射结是正向接法，集电结是反向接法，这就是决定三极管特性的外因和条件。

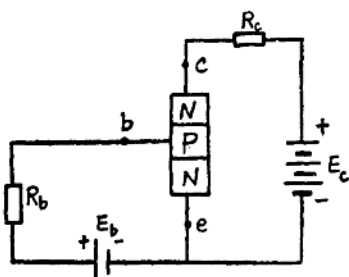


图 1.18 三极管结构与接线

三极管的外因是怎样通过内因起作用而使三极管有放大作用的呢？

集电结的反向接法可以使基极区的自由电子（少数载流子）到达集电极，而发射结的正向接法可以使发射极的自由电子（多数载流子）顺利地进入基极区，保证有源源不断的大量自由电子供给基极区，因为基极区只有几微米厚，所以从发射极来的自由电子绝大部分进入集电极，只有一小部分在基极区被空穴复合，基极电流微小的变化对发射极发射电子的数量有很大影响，因而

使发射极和集电极的电流发生很大变化，这样，外部接线通过内部结构发挥作用使三极管能够起放大作用。

2. 三极管的特性：

三极管的特性可用输入特性曲线和输出特性曲线来表示，输入特性表示基极、发射极

间电压 U_{be} 与基极电流 I_b 之间的关系，输出特性表示集电极发射极之间的电压 U_{ce} 与输出电流 i_c 的关系，图 1.19 就是测三极管输入特性和输出特性的接线。

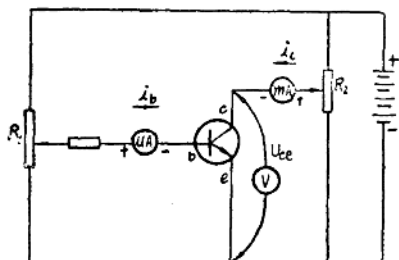


图 1.19 测三极管输入输出特性

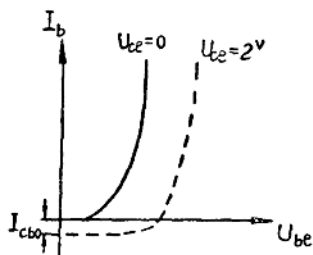


图 1.20 三极管输入特性曲线

(1) 输入特性:

先使 $U_{ce}=0$ ，改变 R_1 动端测出一系列的 U_{be} 和 i_b ，可画出 $U_{ce}=0$ 时的输入特性曲线，用同样的方法可测出在不同 U_{ce} 值时的输入特性曲线，如图 1.20。

$U_{ce}=0$ ，相当 $C \cdot e$ 两点连在一起，这时的电路可以看作是 be 之间接了两个正向二极管（一个是发射结，一个是集电结），见图 1.21，因此输入特性曲线的形状与二极管正向特性相似。

在 $U_{ce} \neq 0$ ， $U_{be}=0$ 时，集电结加的是反向电压，少数载流子在 U_{ce} 作用下会形成一个反向饱和电流，用 I_{cbo} 表示（与规定 i_b 方向相反，所以为负），因此需待 U_{be} 增至一定数值（硅管 $0.5-0.7V$ ，锗管 $0.1-0.2V$ ）时方开始有基极电流（见图 1.20 虚线）。

(2) 输出特性:

先使 $i_b=0$ ，改变图 1.19 中 R_2 动点，测出一系列的 U_{ce} 和 i_c ，可画出 $i_b=0$ 时的输出特性曲线，用同样方法可测出在不同 i_b 时的输出特性曲线，如图 1.22。

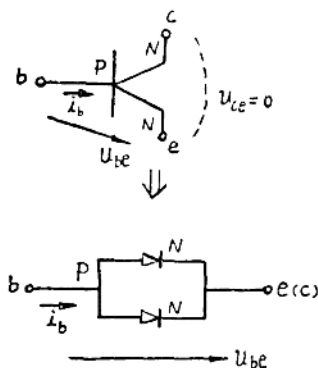


图 1.21 输入特性解释

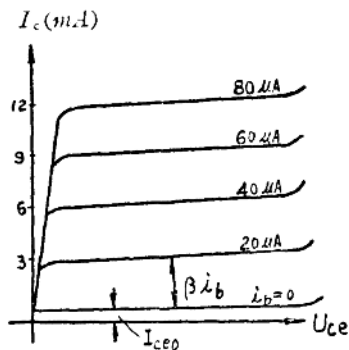


图 1.22 三极管输出特性曲线

$i_b=0$ 时， i_c 并不为 0，而是有一定数值，这电流称为穿透电流，用 I_{ceo} 表示

$$i_b=0 \text{ 时 } i_c=I_{ceo}$$

$$i_b \text{ 增加时, } \Delta i_b \approx i_b - 0 = i_b$$

$$\Delta i_c = \beta \cdot \Delta i_b = \beta i_b$$

$$\therefore i_c = I_{ce0} + \Delta i_c = I_{ce0} + \beta i_b$$

集电极电流通过两个PN结，集电结是反向的，发射结是正向的，因此 U_{ce} 的绝大部分是加在集电结上的，输出特性表示 i_c 与 U_{ce} 的关系，所以它的形状与集电结反向特性曲线相似。

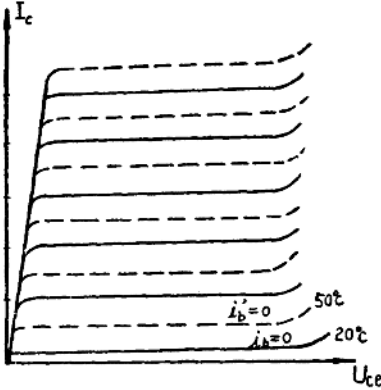


图 1.23 温度对特性影响

三极管的输出特性受温度影响较大，见图 1.23。当温度升高时，三极管的穿透电流 I_{ce0} 增加， $i_b = 0$ 的这条曲线就上移，而 $i_c = I_{ce0} + \beta i_b$ ，所以输出特性曲线整个就上移了。

二、三极管的主要参数：

“对情况和问题一定要注意到它们的数量方面，要有基本的数量的分析。”要正确使用三极管，必须首先了解它的主要参数，并结合继电保护的需要建立起必要的数量概念。

1. 电流放大倍数 $\beta = \frac{\Delta i_c}{\Delta i_b}$ ，继电保护中对 β

要求不太高，一般在 30~50 倍就行了，有特殊要求的地方可能大一些。

2. 集电结反向饱和电流 I_{cbo} 和穿透电流 I_{ce0} ，发射极开路，在集电结加反向电压，产生的反向饱和电流就是 I_{cbo} （如图 1.24）， I_{cbo} 受温度影响较大，温度每升高 1°C，锗管 I_{cbo} 增加 10%，硅管 I_{cbo} 增加 7.5%，锗管的 I_{cbo} 应在几个到十几个微安，硅管的 I_{cbo} 应小于 1 微安。

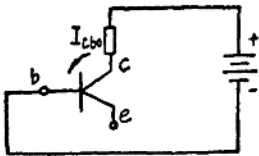


图 1.24 集电结反向饱和电流

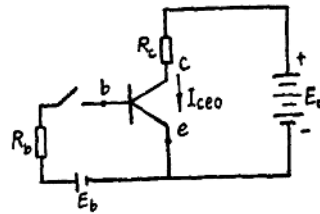


图 1.25 穿透电流

共射极接线，基极开路 ($i_b = 0$) 时集电极电流就是穿透电流 I_{ce0} ，此电流是 I_{cbo} 引起的，而 I_{cbo} 由发射极供给，经放大后，由发射极供给两个电流，即 $I_{cbo} + \beta I_{cbo}$ ，可以证明： $I_{ce0} = (1 + \beta) I_{cbo}$ ， I_{cbo} 受温度影响大， I_{ce0} 受温度影响更大，它的变化会引起三极管特性的变化，所以在保护装置中应该注意 I_{cbo} 的存在，特别是锗管，否则三极管的特性会随温度变化而改变，影响保护装置的工作。

3. 集电极允许最大电流 I_{CM} ：使用时集电极电流不能超过 I_{CM} ，否则可能把三极管烧坏。

4. 发射极与基极间最大反向电压 U_{ebo} ：即允许加在发射结的最大反向电压，超过该电压值，会使三极管击穿（例如 3DG6， $U_{ebo} = 4V$ ，3AG6， $U_{ebo} \geq 0.5V$ ）。

5. 集电极与发射极间最大允许电压 U_{CEM} ：实际上就是允许加在集电结上的最大反向电压，使用时的 U_{CE} 不能超过三极管的 U_{CEM} ，否则集电结反向电流急剧增加甚至击穿集电结。

6. 最大集电极功率损耗 P_{CM} ：集电结反向电阻很大，集电极电流通过时就会损耗一部分功率，产生热量使集电结温度升高， I_{CBO} 也随之增加，损耗功率太大时，可能使管子损坏，因此使用时三极管的 $U_{CE} \times i_C$ 不能超过 P_{CM} ，我们把 $U_{CE} \times i_C = P_{CM}$ 的各点连成一条曲线（有的手册上绘出这条线），如图 1.26 所示。在曲线右上方工作时， $U_{CE} \times i_C > P_{CM}$ ，工作不安全，在曲线左下方工作时 $U_{CE} \times i_C < P_{CM}$ ，同时，还要保证 $i_C < I_{CM}$ ， $U_{CE} < U_{CEM}$ ，才是安全的（图 1.28 阴影部分）。

P_{CM} 与环境温度有关，因此三极管对工作环境的温度是有限制的，锗管上限约为 70°C ，硅管上限约为 150°C 。

继电器保护常用三极管的 P_{CM} 一般在 $100 \sim 150$ 毫瓦，有的在 250 毫瓦。

下表列出继电器保护常用的几种三极管的主要参数：

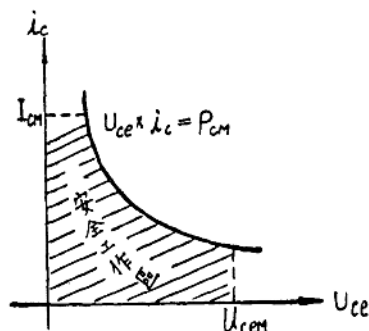


图 1.26 安全工作区图示

3AX1~5 低频小功率管

参 数	单 位	测 试 条 件	型 号 3AX				
			1	2	3	4	5
I_{CBO}	μA	$U_{CB} = -5V$	≤ 30	≤ 15	≤ 15	≤ 15	≤ 15
I_{CM}	mA		10	10	10	10	10
U_{CEM}	V	$i_C = -1mA$	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10	≥ 10
P_{CM}	mW		150	150	150	150	150

3AX31 低频小功率管

参 数	单 位	测 试 条 件	型 号 3AX31				
			A	B	C	D	E
I_{CBO}	μA	$U_{CS} = -6V$	≤ 20	≤ 10	≤ 6	≤ 12	≤ 12
I_{CM}	mA	D·E两种 $U_{CE} = -2V$ 其他 $U_{CE} = -1V$	125	125	125	30	30
U_{CEM}	V	$I_C = -2mA$	≥ 12	≥ 18	≥ 25	≥ 12	≥ 12
P_{CM}	mW		125	125	125	100	100