

汽车电子控制系统 原理与维修技术

张宪 编著

山东科学技术出版社



汽车电子控制系统原理 与维修技术

张 宪 编著

山东科学技术出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

汽车电子控制系统原理与维修技术/张宪编著—济南:
山东科学技术出版社, 1999. 1
ISBN 7-5331-2283-6

I. 汽… II. 张… III. 汽车-电子控制-自动化系统-
维修 IV. U463. 6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 20774 号

汽车电子控制系统原理与维修技术

张宪 编著

*

山东科学技术出版社出版
(济南市玉函路 16 号 邮编 250002)
山东科学技术出版社发行
(济南市玉函路 16 号 电话 2064651)
山东莒县印刷厂印刷

*

787mm×1092mm 16 开本 20 印张 420 千字

2000 年 4 月第 1 版第 2 次印刷

印数: 3 001 — 5 000

ISBN 7-5331-2283-6

U·54 定价: 34.00 元

前 言

随着汽车工业与电子工业的不断发展,在现代汽车中,电子技术的应用越来越多,汽车自动化程度越来越高。进入70年代后,由于微机在汽车上的应用,给汽车工业带来了划时代的变化,汽车电子技术有了更加惊人的发展,各种车用电控系统应运而生,并逐步发展成为微机集中控制系统。这就迫切要求汽车驾驶人员和汽车维修人员掌握现代汽车电子技术的基本知识及汽车电子设备结构、原理和维修知识。本书就是为了满足广大汽车驾驶员和维修人员的需要而编写的。

本书为使读者能用较短时间学习并掌握现代汽车电子技术及电子设备结构、原理和维修知识,力求做到内容先进,尽可能引入目前流行的现代汽车电子技术,突出实用性,列举了一些电子器件及传感技术在汽车中的应用实例,对各种电子元器件的功能、参数及检测作了系统介绍,尤其偏重电子控制系统的工作过程和维修。本书重点阐述了电控汽油喷射系统、防抱死制动系统、电控自动变速器及汽车信息显示系统等。限于篇幅,不可能囊括太多的电子设备结构、原理及维修。编写过程中,力求做到通俗易懂、实用性强,凡有电工基础的读者均可理解全部内容。

参加本书编审工作的还有王克才、王遂双、张淑敏、韩凯鸽、何宇斌、郭振武、张大鹏、王存胜,由王克才主审定稿。在本书编写过程中,得到济南军区运输部张振德、张汉民、陈汉春、李长胜、薛喜习、张勇、陈欣等有关领导大力支持;赵炳坤、张跃庆、张善鹏、曹先泰、李志宏、侯昭国、龙泗富、曲鹏程给予了具体指导和帮助,在此一并表示谢意。

由于编者水平所限,书中难免有错误和不当之处,敬请读者给予批评指正。

作 者

目 录

第一章 常用半导体器件的结构、原理与应用	1
第一节 半导体二极管及整流电路	1
第二节 稳压二极管及稳压电路	5
第三节 半导体三极管及放大电路	8
第四节 晶闸管和可控整流电路	17
第五节 显示器件的结构及检测	24
第六节 半导体分立元件型号与参数	27
第二章 常用集成电路的结构、原理与应用	34
第一节 集成运算放大器	34
第二节 集成电压比较器	37
第三节 集成直流稳压电源	39
第四节 集成采样保持电路	41
第五节 集成模拟开关	44
第六节 集成逻辑门电路	46
第七节 集成双稳态触发器	51
第八节 集成定时器	56
第九节 集成电路的结构及使用	59
第三章 常用电工仪器、仪表及电路元件	67
第一节 常用电工仪表基本知识	67
第二节 常用电工仪器仪表	69
第三节 常用电路元件	87
第四章 车用传感器的结构、原理与检测	93
第一节 空气流量传感器	95
第二节 曲轴位置传感器	109
第三节 氧传感器	115
第四节 温度传感器	118
第五节 进气歧管绝对压力传感器	119
第六节 爆震传感器	121
第七节 节气门位置传感器	125
第五章 汽车发动机电子控制燃油喷射系统原理与维修	128
第一节 电控燃油喷射系统的分类及组成	129
第二节 电控燃油喷射系统的工作原理	140
第三节 电控燃油喷射系统故障诊断	146
第四节 常见车型故障代码的读取方法	153
第五节 电控燃油喷射系统的常见故障与维修	176
第六章 汽车防抱死制动系统原理与维修	186

第一节	ABS 系统概述	186
第二节	ABS 系统的电子控制单元	190
第三节	车轮速度传感器	192
第四节	制动压力调节器	195
第五节	ABS 系统的结构与工作原理	198
第六节	ABS 系统的组成及故障诊断实例	201
第七节	ABS 系统的检修	209
第七章	电子控制自动变速器原理与维修	215
第一节	电子控制自动变速器的组成及功用	215
第二节	电子控制机械变速器的组成及功用	221
第三节	丰田汽车 A304E 型电子控制自动变速器	226
第四节	电子控制自动变速器的故障诊断与排除	230
第八章	汽车信息显示系统	239
第一节	汽车传统仪表	239
第二节	汽车信息显示系统	245
第三节	汽车电子仪表	248
第九章	汽车电器设备线路	252
第一节	电路控制与保护装置	252
第二节	全车线路	256
第三节	全车线路检查	258
第十章	汽车电气系统故障诊断与检修实例	262
第一节	电源电路故障诊断及排除实例	262
第二节	发电机与调节器故障诊断及排除实例	264
第三节	起动系故障诊断及排除实例	267
第四节	点火系故障诊断及排除实例	269
第五节	发动机电控系统故障诊断及排除实例	272
第六节	照明设备与信号装置故障诊断及排除实例	282
第七节	信息与监测系统故障诊断及排除实例	286
第八节	汽车空调装置故障诊断及排除实例	288
第九节	汽车辅助电器故障诊断及排除实例	292
附录	典型汽车电路	296

第一章 常用半导体器件的结构、原理与应用

第一代电子器件（电子管）问世于 20 世纪初，30 年代达到了鼎盛时期，它们的诞生和发展，使电子技术作为一门新的学科而兴起；第二代电子器件（晶体管）出现于 40 年代末，它以体积小、重量轻、功耗低、寿命长、可靠性高等优点得到迅速发展；第三代电子器件（集成电路）诞生于 50 年代末，它的出现，促进了微型计算机（含单板机、单片机）的普及和应用，冲击着传统的工业社会 and 产业结构，敲开了信息社会的大门，标志着电子技术进入了微电子技术时代。

对于电子器件（半导体二极管、三极管，场效应管，集成电路等）主要应掌握其外部特性（即伏安特性、输入输出特性以及它们的主要参数或技术指标等）以及使用方法，而勿需过分地深究其内部机理。在处理电子器件与电路的关系上，以电子电路原理的分析和实际应用为主，讨论器件的目的在于将其应用于电路。

第一节 半导体二极管及整流电路

一、基本结构

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，在二者的交界面上就形成一个 PN 结，它具有单向导电性。半导体二极管的管芯就是一个 PN 结。在管芯两侧的半导体上分别引出电极引线，其正极（阳极）由 P 区引出，负极（阴极）由 N 区引出，用管壳封装后就制成二极管。

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，如图 1—1 所示。点接触型二极管的 PN 结结面积小，不能通过较大电流，但高频性能好，一般适用于高频或小功率电路。面接触型二极管的 PN 结结面积大，允许通过的电流大，

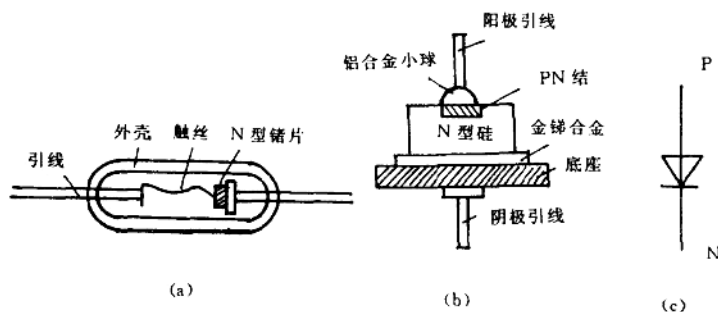


图 1—1 半导体二极管

(a) 点接触型 (b) 面接触型 (c) 表示符号

但工作频率低，多用于整流电路。

二、伏安特性

半导体二极管的伏安特性曲线如图 1—2 所示。它是二极管端电压和通过二极管的电流之间的关系曲线。

1. 正向特性

对应于图 1—2 的第一象限，为其正向特性。此时加于二极管的正向电压虽然不大，但相对而言流过管子的电流却较大，也就是说管子呈现的正向电阻很小。硅管的正向导通电压降约 0.7V，锗管约 0.3V。

从特性曲线上可见，在正向特性的起始部分，正向电流几乎为 0，只有在电压超过一定值后，电流才急剧上升，好像有一个门坎，此电压值称为死区电压（或称门坎电压）。硅管的死区电压为 0.5~0.6V；锗管的死区电压为 0.1~0.2V。

2. 反向特性

对应于特性曲线的第三象限，为二极管的反向特性区。

由图可见，在反向电压的一定范围内，反向电流值不大，此电流的大小说明了管子单向导电性的好坏。一般硅管的反向电流在 1 微安到几十微安，而锗管则可达几百微安，这个反向电流随温度升高而增加。

3. 反向击穿

在反向电压加大到一定值后，反向电流就会急剧增加，这就叫二极管的反向击穿。这一数值的反向电压就称为反向击穿电压。此时，二极管失去单向导电性，意味着二极管的损坏。

三、主要参数

1. 额定整流电流 I_F

指二极管长期运行时允许流过的最大正向平均电流，其大小由 PN 结的面积和散热条件决定。目前大功率整流二极管的 I_F 值可达 1000A。

2. 最大反向工作电压 U_R

二极管运行时允许承受的最大反向电压。为避免二极管反向击穿，通常手册上给出的最高反向工作电压为击穿电压的一半，以确保二极管的安全运行。目前最高的反向工作电压值可达几千伏。

3. 反向电流 I_R

是指在室温下二极管尚未击穿时的反向电流的大小。其值愈小，二极管的单向导电性愈好。环境温度对 I_R 的影响较大，即温度上升，反向电流会急剧增加。

4. 最高工作频率 f_M

由于 PN 结具有电离效应，当工作频率超过某一限度时，它的单向导电性将变差。点接触式二极管的 f_M 值较高，在 100MHz 以上。用作整流的面接触型管则较低，为几千 Hz。

二极管还有一些其它参数，如二极管的电阻、最高结温等，在半导体器件手册中都可以查到。

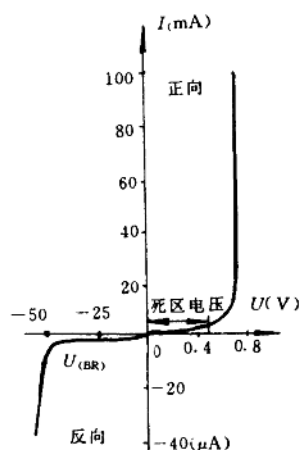


图 1—2 二极管的伏安特性曲线

四、二极管的选择

在选择二极管的类型时,要从实际工作需要出发。选择二极管的一般原则是:若要求二极管导通后的正向电压降小,工作时平均电流小而信号频率较高,则应选用点接触型锗管;若要求工作时的平均电流大,反向电流小,反向电压高且热稳定性较好,应选用面接触型硅管为宜。

然后,根据实际电路的技术要求,估算二极管应具有的参数,并考虑适当的富裕量,查手册确定管子的型号。

五、二极管的检测

在使用二极管时,必须注意它的极性不能接错,否则电路就不能正常工作。在使用中,有的二极管已在管壳标有极性记号,但有的就没有任何标志,因此就需用简易的测量法把它的正负极判别出来,并能判别管子的好坏。

1. 用一般万用表测试

通常是用万用表测量二极管的正反向电阻来确定其好坏和极性。一般万用表的电阻档,实际是由电流表,电池和一个内电阻串联而成的电路,如图 1—3 所示。两个测试笔间的电压极性,正好同万用表的两个接线柱的标号“+”、“-”相反,即负测试笔带正电,正测试笔带负电。

测试时,一般选用万用表的 $R \times 100$ 档或 $R \times 1k$ 档。当红、黑表笔分别接二极管的两极时,若万用表指示的电阻值比较小(通常在 $100 \sim 1000\Omega$),而将红、黑表笔所接电极交换后,所指示电阻值又大于几百 $k\Omega$,则说明此二极管单向导电性较好,这时红表笔接的是二极管的正极,黑表笔接的是负极。

如果在测试过程中,交换表笔所接管极,所测阻值都很大,甚至为 ∞ ,则表示管子内部已经断路;反之,若交换表笔所接管极,测出的电阻均很小,甚至为 0,则表示管子内部已经短路,这两种情况都说明管子已经损坏。

2. 用数字万用表来判别二极管

测试时,将测试档置于测二极管档,红表笔接 Ω 插孔,黑表笔接 COM 插孔。然后将两表笔接被测二极管的两引出极,当显示 $0.150 \sim 0.300$ (所测二极管为锗管) 或 $0.550 \sim 0.700$ (所测二极管为硅管) 时,说明此二极管正常,此时红表笔接的是二极管正极、黑表笔接的是负极。测试时,若液晶显示为 1,则交换红黑表笔接法,若能显示上述读数范围者、就可按上述结论去确定二极管的材料与引出极性;若交换后电表指示仍为 1,则说明此二极管已损坏。

六、二极管整流电路

二极管整流电路是利用二极管的单向导电性,将正弦交流电压转换成单方向脉动的直流电压。在整流过程中由于加到电路上的电压幅值一般比二极管的正向压降大得多,因而可用理想二极管的特性来简化分析,即认为整流元件的正向压降为 0,反向电阻为无穷大,并且可以不考虑变压器内部压降等影响。

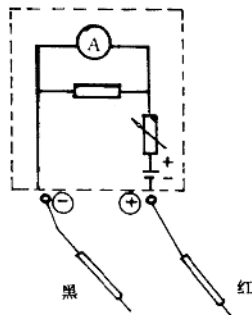


图 1—3 万用表电阻档的内部电路示意图

1. 整流电路的技术指标

(1) 衡量整流电路工作性能的参数:

输出电压的平均值 U_L ——反映整流电路将交流电压转换成直流电压的能力。

脉动系数 S ——说明整流电路输出电压中交流成分的大小, 是用来衡量整流电路输出电压平滑程度的指标。

(2) 为选择整流二极管所需的参数:

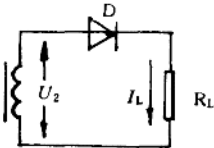
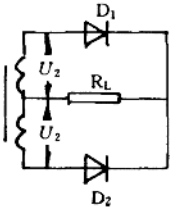
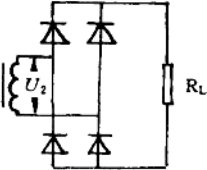
I_D ——流过管子的正向平均电流。

U_R ——管子所承受的最大反向电压。

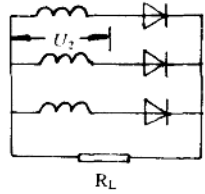
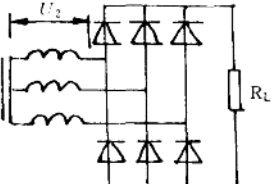
2. 各种整流电路的性能比较

在小功率整流电路中, 常见有单相半波、单相全波和桥式整流电路。由于半波整流的输出电压交流分量较大, 因此很少采用。两管全波整流需要副边有中心抽头的变压器, 以及反向峰值电压较高的二极管, 在实际电路上使用也不多。目前最广泛使用的是桥式整流电路。当要求输出功率较大时 (如车用), 则采用三相整流电路。表 1-1 为各种整流电路的性能比较。

表 1-1 各种整流电路性能比较

电 路 形 式	输出电压 平均值 U_L (V)	整流元件中 电流平均值 I_D (A)	元件承受最高 反向电压 (V)	变压器副边 电流有效值 I_2 (A)
单相半波 	$0.45U_2$	I_L	$\sqrt{2}U_2$	$1.57I_L$
单相全波 	$0.9U_2$	$\frac{1}{2}I_L$	$2\sqrt{2}U_2$	$0.79I_L$
单相桥式 	$0.9U_2$	$\frac{1}{2}I_L$	$\sqrt{2}U_2$	$1.11I_L$

(续表)

电 路 形 式	输出电压 平均值 U_L (V)	整流元件中 电流平均值 I_D (A)	元件承受最高 反向电压 (V)	变压器副边 电流有效值 I_2 (A)
	$1.17U_2$	$\frac{1}{3}I_L$	$\sqrt{2} \sqrt{3} U_2$	$0.57I_L$
	$2.34U_2$	$\frac{1}{3}I_L$	$\sqrt{2} \sqrt{3} U_2$	$0.82I_L$

第二节 稳压二极管及稳压电路

稳压二极管(又称稳压管)是一种特殊的面接触型硅二极管。由于它有稳定电压的作用,经常应用在稳压设备和一些电子电路中。

一、稳压管的伏安特性

稳压管是利用PN结的反向击穿特性所具有的稳压性能而做成的。图1—4是硅稳压管的伏安特性和图形符号。稳压二极管的特性曲线与普通二极管基本相似,只是反向特性曲线比较陡些。

稳压管与普通二极管不同的是,在反向击穿的情况下,普通二极管会损坏,而稳压管却工作在反向击穿状态。由于采用特殊的制造工艺,这种击穿是可逆的。即只要流过稳压管的电流小于其最大允许电流,或者功率不超过其最大耗散功率,当外加电压去除后,管子的击穿即可恢复。因此,在实际使用时,都在电路中串入适当的限流电阻予以保护。

从稳压管的伏安特性可知,当工作在击穿电压以下时,反向电流很小,但当电压达到击穿值后,反向电流就急剧增加,而实际上此时

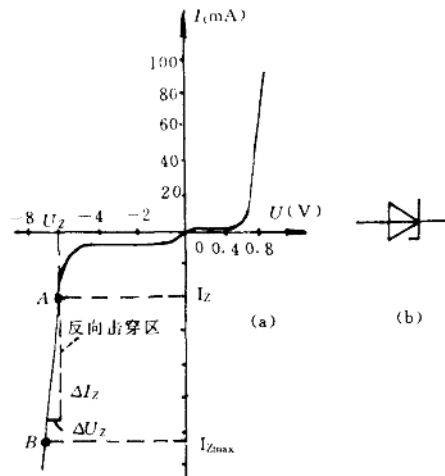


图1—4 稳压二极管的伏安特性和图形符号
(a) 伏安特性 (b) 符号

稳压管两端电压几乎恒定，这一特性就能起到稳定电压的作用。

由于硅管的热稳定性比锗管好，因此一般都用硅管做稳压二极管。例如 2CW 型或 2DW 型都是硅稳压二极管。

二、主要参数

1. 稳定电压 U_Z

稳定电压就是稳压二极管在正常工作时，管子两端的反向电压值。因工艺方面的原因，同一型号的稳压管其稳压值的分散性也很大。例如 2CW14 型稳压管的稳定电压为 6~7.5V。但对每个管子而言，它的 U_Z 则是一个确定的数值，使用时最好能实际测试一下。

2. 稳定电流 I_Z 和最大稳定电流 I_{Zmax}

稳压管的工作电压等于其稳定电压 U_Z 时的工作电流称为稳定电流。管子使用时不得超过的电流称为最大稳定电流 I_{Zmax} 。

3. 电压温度系数 α

电压温度系数是说明稳压值受温度变化影响的系数。

稳定电压 U_Z 高于 7V 的稳压管具有正温度系数， U_Z 低于 4V 的稳压管具有负温度系数， U_Z 在 4~7V 之间的稳压管其温度系数最小。因此，若要求稳压管的温度稳定性较高时，可选用 $U_Z=6V$ 左右的稳压管，或选用具有温度补偿的稳压管，如 2DW7 型（图 1—5 所示）。它是将两个稳定电压 U_Z 相同的管子反向串联而成。使用时，处于反向工作的稳压管具有正温度系数，处于正向工作的稳压管（此时是普通二极管）具有负温度系数，二者互相补偿，使温度系数 α 最小。



图 1—5 有温度补偿的稳压管

4. 最大耗散功率 P_{ZM}

指消耗在管子内部的最大功率。若使用中超过这个功率，管子就要损坏。最大耗散功率 $P_{ZM}=U_Z \cdot I_{Zmax}$ 。

5. 动态电阻 r_Z

动态电阻是稳压管稳压性能的质量指标。在稳压范围内， $r_Z=\Delta U_Z/\Delta I_Z$ ，工作电流越大， r_Z 越小，一般 r_Z 在 10Ω 左右。

三、稳压管的选择

稳压管的最主要的用途是稳定电压。在精度要求不高、电流变化范围不大的情况下，可选与需要的稳压值最为接近的稳压管直接同负载并联。通常在稳压、稳流系统中作为基准电源，也有在集成运放中作为直流电平移动用。

稳压管的缺点是噪声系数较高。

四、稳压管的检测

一般使用万用表的低电阻档（ $R \times 1k\Omega$ 以下）测量稳压管正、反向电阻，其阻值应和普通二极管一样。即正向电阻一般应在几十至几百 Ω 之间。反向电阻接近 ∞ 。

若要测量其稳压值，必须使管子进入反向击穿状态，则电源电压要大于被测管的稳定电压 U_Z 。因此，必须使用万用表的高电阻档，例如 $R \times 10k\Omega$ 档。这时表内电池是 10V 以上的高压电池，例如 500 型是 10.5V，108—1T 型是 15V。

当万用表量程置于高电阻档后，测其反向电阻（方法同上），若实测时阻值为 R_z ，则

$$U_z = E_g \cdot R_z / (R_z + nR_0)$$

式中的 n 是所用电阻档的倍率数, 如所用万用表最高电阻档是 $R \times 10k\Omega$, 即 $n = 10000$; R_0 是万用表中心阻值 (即表盘上电阻刻度中心所标的数值)。例如 500 型是 10Ω , 108—1T 型是 12Ω ; E_g 是所用万用表最高档的电池电压值。

例如, 用 108—1T 型万用表测一只 2CW14 型稳压二极管。108—1T 型万用表 $R_0 = 12\Omega$, 最高电阻档 $R \times 10k\Omega$ 档, 使用 15V 高压电池, $E_g = 15V$, 实测反向电阻为 $95k\Omega$, 则

$$U_z = 15 \times 95 \times 10^3 / (95 \times 10^3 + 10^4 \times 12) = 6.63 (V)$$

查稳压二极管手册, 2CW14 型稳压管的稳定电压 $U_z = 6 \sim 7.5V$, 可见上述测量还是比较精确的。

如果实测阻值 R_z 非常大 (接近 ∞), 表示被测管 $U_z > E_g$, 无法将稳压管击穿。如果实测时阻值 R_z 极小, 接近 0 或者只有几 Ω , 则可能是表笔接反了。这时, 只要将表笔互换就可以了。

五、稳压管稳压电路

交流电压经过整流滤波后, 所得到的直流电压虽然脉动程度已经很小, 但当电网电压波动或负载变化时, 其直流电压的大小也将随之发生变化, 从而影响电子设备和测量仪器的正常工作。为此, 常在整流滤波电路之后加一级直流稳压电路。

最简单的硅稳压管并联型稳压电路如图 1—6 所示。 R_L 为负载电阻, 稳压管 D_z 与 R_L 并联, 限流电阻 R 与 D_z 配合起稳压作用。稳压电路的输入电压 U_i 是由整流滤波电路提供的直流电压, 输出电压 U_o 即稳压管的稳定电压。

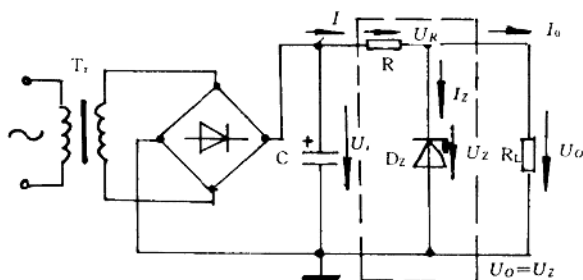
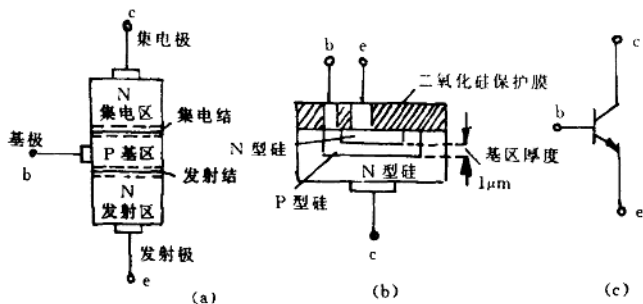
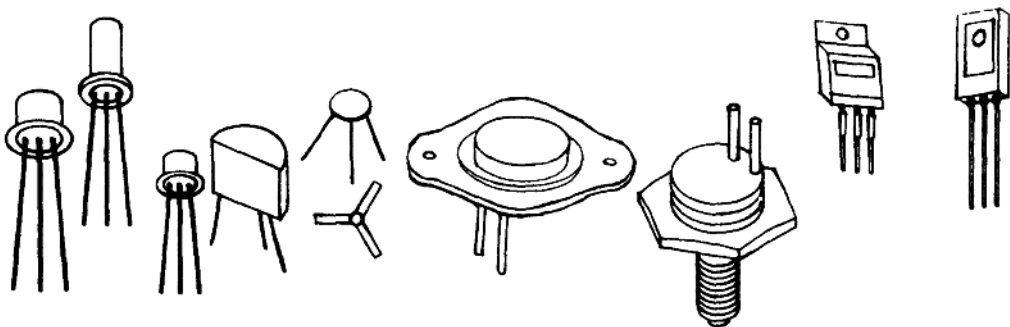


图 1—6 稳压管稳压电路

稳压电路的工作原理如下: 当交流电源电压增加而使输入电压 U_i 增加时, 负载电压 U_o 也增加, 即 U_z 增加。但 U_z 稍有增加时, 稳压管的电流 I_z 就显著增加, 因此 R 上的压降增加, 以抵偿 U_i 的增加, 使负载电压 $U_o = U_i - U_R$ 保持近似不变。反之, 当电网电压降低时, 通过稳压管与电阻 R 的调节作用, 将使电阻 R 上的压降减小, 仍然保持负载电压 U_o 近似不变。

当电源电压 U_i 保持不变而负载电流变化引起负载电压 U_o 改变时, 上述稳压电路仍能起到稳压的作用。例如, 当负载电流增大时, 电阻 R 上的压降增大, 负载电压 U_o 因而下降, 只要 U_o 下降一点, 稳压管电流就显著减小, 使通过电阻 R 的电流和电阻上的压降保持近似不变, 因此负载电压 U_o 也就近似稳定不变。当负载电流减小时, 稳压过程相反。

$$\begin{cases} U_z = U_0 \\ I_{z\max} = (1.5 \sim 3) I_{0\max} \\ U_i = (2 \sim 3) U_0 \end{cases}$$


的。发射区和基区之间的 PN 结，称为发射结。集电区和基区之间的 PN 结，称为集电结。
PNP 型三极管的结构如图 1—9 所示。

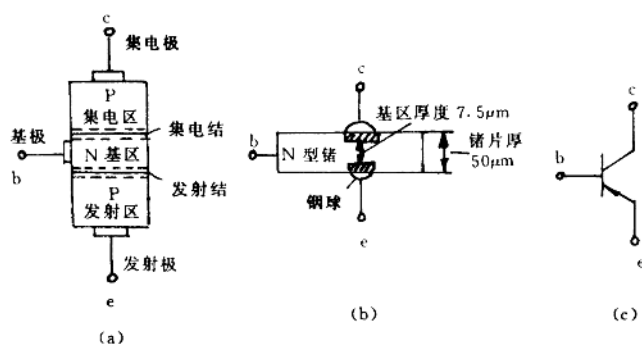


图 1—9 PNP 型三极管结构及符号

二、半导体三极管的特性

三极管的特性曲线是用来表示三极管各个电极上的电压和电流之间关系的曲线。它反映出三极管的基本性能，是分析放大电路的基本依据。三极管有 2 个 PN 结和 3 个电极，因此它的各极间的电压和电流关系要比二极管复杂得多。当应用三极管构成放大电路时，必须遵循的偏置方式是 be 之间的 PN 结处于正向偏置，而 bc 之间的 PN 结必须处于反向偏置。三极管各极之间电流关系为

$$I_e = I_b + I_c$$

由于 I_b 很小， I_c 就非常接近 I_e ，通常 I_c/I_b 的比值用 β 表示，其值在 20~150 之间，故可通过 I_b 的微小变化使得 I_c 有较大变化，这就是晶体管的放大原理。

1. 输入特性曲线

输入特性曲线是指当集电极—发射极电压 U_{CE} 为常数时，输入回路（基极电路）中基极电流 I_B 与基射极电压 U_{BE} 之间的关系曲线，即

$$I_B = f(U_{BE}) \mid U_{CE} = \text{常数}$$

测试输入特性和输出特性的实验电路如图 1—10 所示。实验电路中，用的是 NPN 型硅管 3DG6。

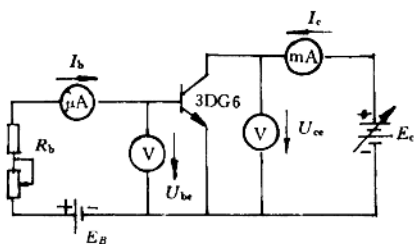


图 1—10 测量晶体管特性的实验电路

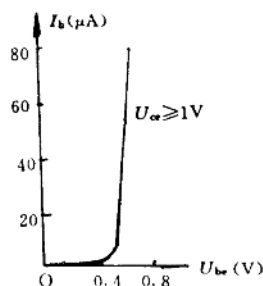


图 1—11 3DG6 晶体管的输入特性曲线

对硅管, 当 $U_{ce} \geq 1V$ 时, 集电结已反向偏置, 如果此时再增大 U_{ce} , 只要 U_{be} 保持不变, $U_{ce} > 1V$ 后的输入特性曲线基本上是重合的。所以, 通常只画出 $U_{ce} \geq 1V$ 的一条输入特性曲线。如图 1-11 所示。由图可见输入特性有如下几个特点:

(1) 输入特性就是发射结的正向特性, 与二极管伏安特性的正向特性相似。

(2) 晶体管输入特性也有一段死区。只有在发射结外加电压 U_{be} 大于死区电压时, 晶体管才会出现 I_b 。硅管的死区电压约为 $0.5V$, 锗管的死区电压约为 $0.2V$ 。

(3) 晶体管开始导通时, 电流增加缓慢, 但电压 U_{be} 略微升一点, 电流就猛增, 特性就近似直线上升。

2. 输出特性曲线

输出特性曲线是指当基极电流 I_b 为常数时, 输出回路(集电极电路)中集电极电流 I_c 和集电极—发射极电压 U_{ce} 之间的关系, 即

$$I_c = f(U_{ce}) |_{I_b = \text{常数}}$$

测试时, 在不同的 I_b 下, 可得出不同的曲线, 所以晶体管的输出特性曲线是一簇曲线, 如图 1-12 所示。由图可见, 输出特性有如下几个特点:

(1) 当 $U_{ce} = 0$ 时, $I_c = 0$, 即曲线通过坐标原点。

(2) 当 U_{ce} 为某一数值时, 若 $I_b = 0$, 则 $I_c = I_{ceo} \approx 0$, 说明当三极管的基极开路时, 集电极和发射极之间加电压, 在集电极电路中只有一个很小的电流 I_{ceo} 通过, 此电流称为穿透电流。

(3) 若 I_b 固定为某值, 在 U_{ce} 超过一定数值(约 $1V$) 以后, I_c 不再随 U_{ce} 增高而明显地增加, 具有恒流特性, 相当于曲线的平坦部分。

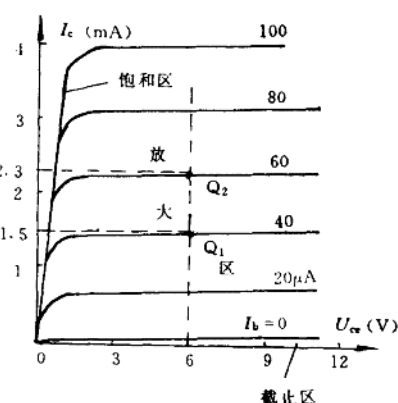


图 1-12 3DG6 晶体管的输出特性曲线

(4) 当 I_b 增大时, 相应的 I_c 也增大, 曲线上移, 而且 I_c 比 I_b 增加得多, 这就是晶体管的电流放大作用。

(5) 通常把晶体管的输出特性曲线分为三个工作区:

放大区——输出特性曲线的近于水平部分是放大区。这个区域的特点是发射结正向偏置, 集电结反向偏置。即对 NPN 型管而言, 应使 $U_{be} > 0$, $U_{bc} < 0$ 。此时电流 I_b 对 I_c 有控制作用。

截止区—— $I_b = 0$ 的曲线以下的区域称为截止区。 $I_b = 0$ 时, $I_c = I_{ceo}$ 。对 NPN 型硅管而言, 当 $U_{be} < 0.5V$ 时, 即已开始截止, 但是为了截止可靠, 常使 $U_{be} \leq 0$ 。截止时集电结也处于反向偏置, 三极管无放大作用。

饱和区——饱和时, 三极管的发射结和集电结都处于正向偏置。通常规定, 当 $U_{ce} < U_{be}$ 时, 认为三极管已饱和。饱和区在特性曲线比较接近纵坐标而 I_c 近乎直线上升的左侧部分。此时, 即使 I_b 增加, I_c 也几乎不增加, 从而三极管失去了放大作用。

为了实现三极管的放大作用, 应该使三极管工作在放大区。截止区和饱和区在电子技术中也有着其它重要的功用, 如三极管的开关作用就是工作在截止区和饱和区。

三、主要参数

三极管的参数是用来说明管子的性能和适用范围的，这些参数也是设计电路、选用三极管的依据。三极管的参数很多，这里只介绍最主要的几个。

1. 电流放大系数

(1) 在静态（无输入信号）时，集电极电流 I_c （输出电流）与基极电流 I_b （输入电流）的比值称为共发射极静态电流（直流）放大系数，记作 β 。

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

(2) 在动态（有输入信号）时，集电极的电流变化量 ΔI_c 与基极电流的变化量 ΔI_b 之比称为晶体管的动态电流（交流）放大系数，记作 β 。

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

虽然动态电流放大系数 β 与静态电流放大系数 β 的含义不同，但是因为通常两者数值相近，所以在近似估算时可以不作严格的区分。

2. 极间反向电流

(1) 集—基极反向截止电流 I_{cbo} ：是指发射极开路时，集电结在反向电压的作用下而形成的反向电流。通常在室温下，小功率硅管的 I_{cbo} 小于 $1\mu A$ ，而小功率锗管约为 $10\mu A$ 。

(2) 集—射极反向截止电流 I_{ceo} ：是当 $I_b = 0$ （将基极开路），集电结处于反向偏置和发射结处于正向偏置时的集电极电流。又因为它好像是从集电极直接穿透晶体管而到达发射极的，所以又称为穿透电流。通常 I_{ceo} 是 I_{cbo} 的 $(1+\beta)$ 倍。从 I_{ceo} 的大小可以判别三极管的工作稳定性。

3. 极限参数

(1) 集电极电流的最大允许值 I_{cmax} ：集电极电流 I_c 超过一定值时，晶体管的 β 值要下降。当 β 值下降到正常数值的三分之二时的集电极电流，称为集电极最大允许电流 I_{cmax} 。当 I_c 超过 I_{cmax} 时并不一定会使管子损坏，但超过太多，可能烧坏三极管。

(2) 集—射极反向击穿电压 BU_{ceo} ：指基极开路时，集电极与发射极间所能承受的最大反向电压。在使用时集电极电源电压应低于这个电压值，集电极与发射极之间的实际电压若超过 BU_{ceo} ，管子就会击穿而损坏。三极管在高温下，它的击穿电压 BU_{ceo} 还会降低。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{cmax} ：由于集电极电流流过集电结时会消耗功率而产生热量，使三极管的温度升高。所以根据管子允许的最高温度定出了最大允许耗散功率 P_{cmax} 。在使用时若超过此值会导致管子烧毁，即：

$$P_{cmax} = I_c U_{ce}$$

可在晶体管的输出特性曲线上作出 P_{cmax} 曲线，它是一条双曲线。

三极管还有其它参数，使用时，可根据需要查阅有关手册。

四、半导体三极管的选择

在维修电子设备时，若遇到三极管损坏，需要用同样规格、相同型号的三极管进行更换，或采用相近性能参数的三极管进行代用。在更换或代用晶体管时，应注意以下各项。