

第八篇 电子技术与林业机械常用电器设备

第一章 电子技术基础及其应用

第一节 二极管和整流电路

一、半导体

物体的导电性可分为导体与绝缘体，其导电能力的大小，通常用 $R=\rho \cdot L/S$ 表示。

R —电阻（欧姆）；

S —导线截面积（厘米²）；

ρ —电阻率（欧姆·厘米）；

L —导体长度（厘米）。

金属导体的电阻率很小，约 10^{-6} — 10^{-3} 欧姆·厘米。绝缘体电阻率很大，约 10^8 — 10^{18} 欧姆·厘米以上。还有大量的物体介于 10^{-3} — 10^8 欧姆·厘米范围内，如锗、硅及一些金属氧化物、硫化物等，称为半导体。导体、绝缘体、半导体的导电特性差别很大，其根本原因，在于其原子结构的不同。纯净半导体材料（即本征半导体）硅单晶导电能力很差，但若掺入亿分之一的硼电阻率就会

下降到原来的千分之一。俗称为掺杂。若硅中掺入五价的磷（P），则成为N型半导体（电子型），它主要靠电子导电，若掺入微量三价的硼（B），则成为P型半导体（空穴型），它主要靠空穴导电。其电子、空穴数量还与温度、光照、辐射等因素有关，见图8—1—1和图8—1—2。

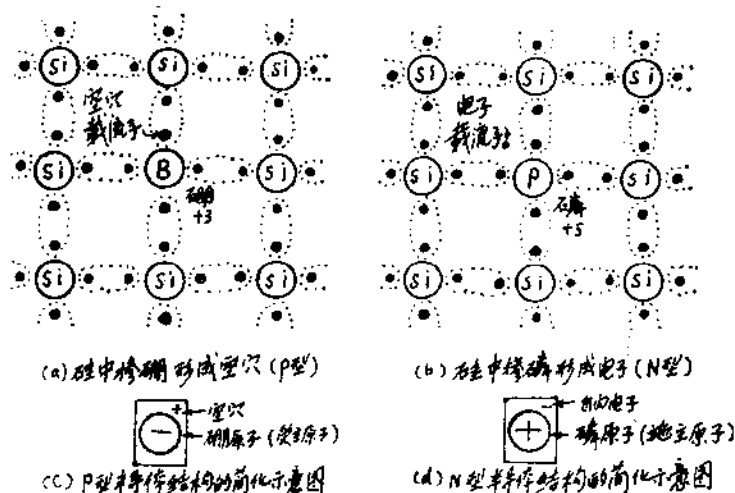


图8—1—1 硅单晶掺杂示意图

通过一定工艺，使一块半导体的一部分成为P型，另一部分成为N型，其P—N

交界处就叫PN结，由于交界处载流子的扩散和漂移运动，当其处于动态平衡时，就形成一个空间电荷区，N边带正电与P边带负电的势垒。空间电荷区载流子极少，也称为耗尽区或阻挡层。若将半导体置于电路中，P区接正电极，N区接负电极，则称为正向偏置或正向接法。这时势垒变窄，电流顺利通过PN结；若反接则势垒变宽，PN结上基本没有电流通过。

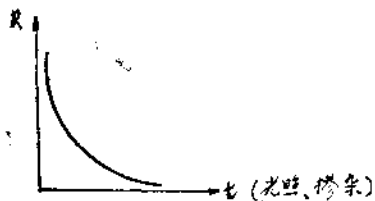


图8—1—2

半导体温升、光照掺杂与R的关系

K—玻尔兹曼常数, $K=1.38 \times 10^{-23} \text{J/K}$;

T—PN结的绝对温度。当室温为 25°C 时, $T=298\text{K}$ 。

因为: $\frac{KT}{q} = 0.026\text{V} = 26\text{mV}$

所以: $I = I_s (e^{\frac{V}{26}} - 1)$

式中: V以mV为单位。

二、二极管构成

由一个PN结、外壳、引线组合而成。P区引出线叫阳极(正极)。N区引出线叫阴极(负极)。箭头表示电流流通方向, 极性若接反可认为电流不通, 见图8—1—3。

晶体二极管按用途分, 主要有整流、开关、稳压、检波、光电、发光、变容、微波二极管等; 按结构分, 有点接触型和面接触型两种; 按材料分有硅、锗、砷化镓二极管等(图8—1—4图8—1—5)。

点接触型由于触丝很细, PN结接触面很小, 容许通过的电流小, 但其极间电容也很小, (约1PF), 工作频率可以很高。它适用于小电流整流和射频(RF)检波, 常用的有2AP系列。

面接触型二极管, 如图8—1—5, PN结接触面积大, 因而容许通过较大电流。但极间电容也较大(约15—20PF), 工作频率较低, 因此它只适用于整流。常用的有2CP系列, 用于较小功率的整流; 而2CZ系列, 则用于中等或大功率整流。大容量的二极管, 一般都带有散热片。

小功率二极管容量为几十毫安, 中功率二极管为几百毫

安, PN结的电压—电流方程式为:

$$I = I_s (e^{\frac{qV}{kT}} - 1)$$

式中: I—流过PN结的电流, I为正值时表示从P区流向N区;

V—加于PN结上的电压, 正向偏置时 $V > 0$, 反向偏置时 $V < 0$;

I_s —PN结的反向饱和电流;

q—电子电荷量, $q=1.60 \times 10^{-19}$

库伦;

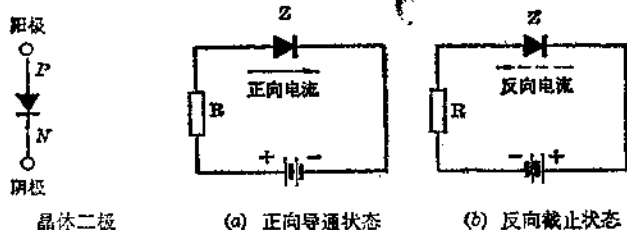


图8—1—3 二极管单向导电性

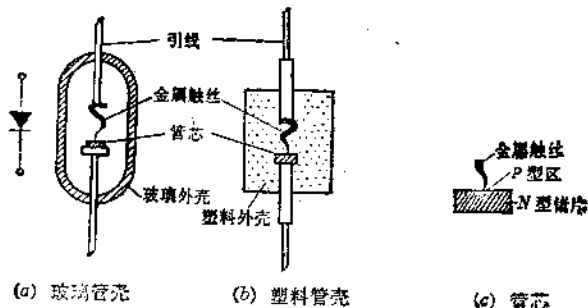
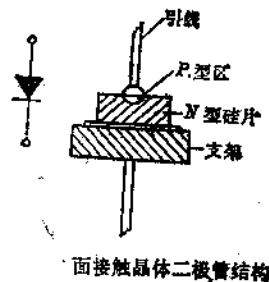


图8—1—4 点接触型晶体二极管结构



面接触晶体二极管结构

图8—1—5

面接触晶体二极管结构

安，大功率二极管为几安至几百安。

面结型二极管是用硅片制成，即使温度变化大，特性也不恶化，且反向耐压高，整流特性良好，正向压降小，反向电流也很小。

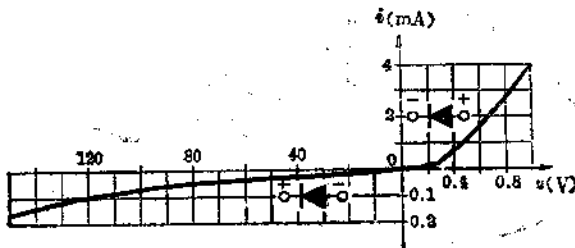


图8—1—6 2AP27型锗二极管伏安特性

三、晶体二极管的伏安特性

如图8—1—6及图8—1—7，伏安特性是表示二极管两端电压和流过二极管电流之间的关系。

以图8—1—7为例，正向时两端电压不到一伏，而电流可达400毫安；反向时两端电压小于100伏时，反向电流很小，超过110伏，反向电流就急剧增加，叫做击穿。

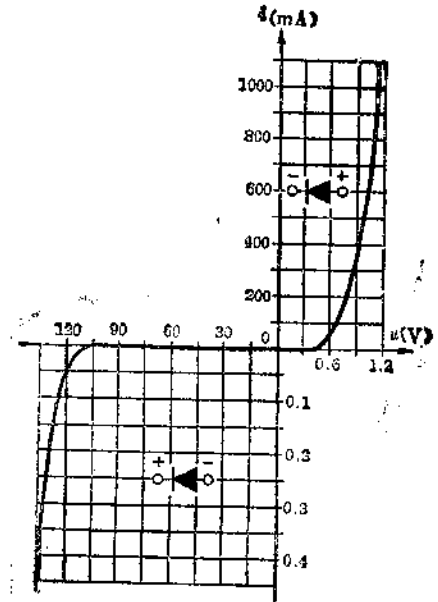


图8—1—7

2CP33A硅二极管伏安特性

四、二极管的主要参数及术语

- 1.最大整流电流 I_{OM} ，使用时不能超过这个最大值，否则将损坏二极管。
- 2.反向电流 I_R ，反向电流大，说明单向导电性能差，一般硅管约在 $1\mu A$ 到几 μA （个别大功率管也有几十毫安的），锗管则可达几百 μA ，在高温下还要大若干倍。通常指最高反向工作电压下的 I_R 。
- 3.反向击穿电压 V_B ，一般给出的最高反向工作电压通常是击穿电压的一半，为防止反向击穿而损坏，必须注意这个极限值。
- 4.最高反向工作电压 V_R ，二极管反向工作电压最大允许值。
- 5.正向压降 V_F ，二极管流过一定直流电时的直流压降。一般锗二极管为 $0.3-0.5$ 伏；硅二极管为 $0.7-1$ 伏。
- 6.最高工作频率 f_{max} ，在规定条件下，二极管能正常工作的最高频率。

五、2CZ系列大功率硅整流元件

2CZ系列硅整流元件外形见图8—1—8。

2CZ系列硅管的分类、分级、分组见图8—1—8及附表一~三。

图8—1—8型号说明如下：

元件的参数见图8—1—8附表，特性曲线参看图8—1—9和图8—1—10。

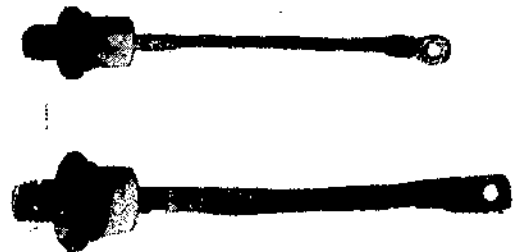


图8—1—8

2CZ系列大功率硅整流元件外形图

附表一 2CZ 系列大功率整流元件的分级

级 别	0.3	0.5	1	1.5	2	2.5
额定反向峰值电压 VRM (伏)	30	50	100	150	200	250
级 别	3	3.5	4	4.5	5	5.5
额定反向峰值电压 VRM (伏)	300	350	400	450	500	550
级 别	6	7	8	9	10	
额定反向峰值电压 VRM	600	700	800	900	1000	

附表二 2CZ硅整流元件的分组

系 列	正向平均压降 VF (伏)				
	A组	B组	C组	D组	E组
2CZ0.5~1			0.4~0.55		
2CZ5~2CZ50	≤ 0.45	0.45~0.5	0.5~0.55	0.55~0.6	0.6~0.65
2CZ100~2CZ200	≤ 0.6	0.6~0.65	0.65~0.6	0.6~0.65	0.65~0.7

附表三 2CZ硅整流元件的分类

系 列	反向平均漏电流 IR (毫安)				
	I类	II类	III类	IV类	V类
2CZ0.5~1			0.005~0.25		
2CZ5	≤ 0.1	0.1~0.4	0.4~0.8	0.8~1.2	1.2~2
2CZ10	≤ 0.2	0.2~0.8	0.8~1.6	1.6~2.4	2.4~4
2CZ30~2CZ50	≤ 0.5	0.5~2	2~4	4~8	8~10
2CZ100	≤ 0.75	0.75~3	3~6	6~9	9~15
2CZ200	≤ 1	1~4	4~8	8~12	12~20

2 C Z

表示元件的额定反向峰值电压 (伏)

表示元件的额定正向平均电流 (安)

表示整流元件

表示由N型硅材料制成

表示元件有两个电极

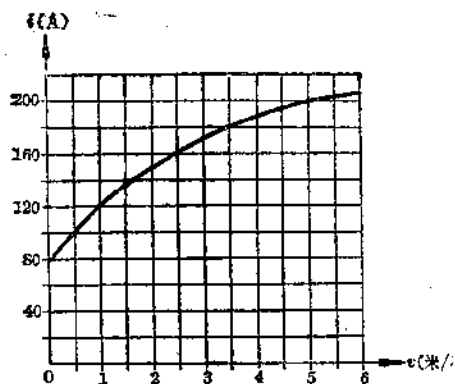


图8—1—9

2CZ200风速与额定正向平均电流的关系

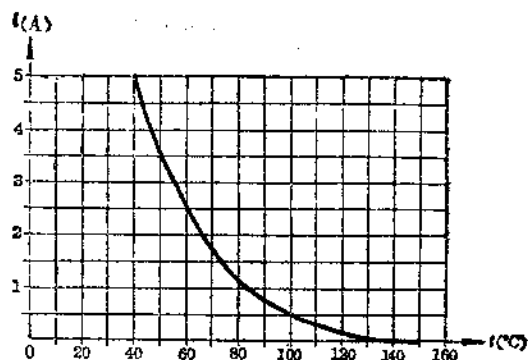


图8—1—10

2CZ5环境温度与额定正向平均电流的关系

2CZ硅整流元件参数说明:

I_F —额定正向平均电流。在规定环境温度和标准散热条件下,允许连续通过的工频正弦波电流的平均值。

V_{RM} —额定反向峰值电压。它等于反向最高测试电压的一半。反向最高测试电压规定为反向漏电流急速增加,反向特性曲线开始弯曲时的电压。

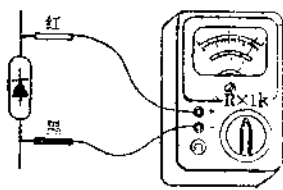
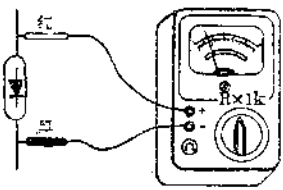
六、二极管简易测试及使用注意事项

1、二极管简易测试

二极管一般在管壳上有一“ $\rightarrow$ ”标记,可用万用表电阻档测量二极管正反向电阻来判断。对耐压较低、电流较小的二极管,只能用 $R \times 100$ 或 $R \times 1K$ 档;如用 $R \times 1$ 档,流过管子的电流太大,用 $R \times 100K$ 档,有的万用表内的电池电压太高,易使管子损坏。具体方法和说明见表8—1—1。

表8—1—1

晶体二极管的简易测试法

项 目	正 向 电 阻	反 向 电 阻
测 试 方 法		
正 常 阻 值	几 百 欧 至 几 千 欧	大 于 几 百 千 欧
测 试 情 况	硅管:表针指示位置在中间或中间偏右一点;锗管:表针指示在右端靠近满度的地方(如上图所示)表明管子正向特性是好的。 如果表针在左端不动,则管子内部已经断路。	硅管:表针在左端基本不动,极靠近8的位置;锗管:表针从左端起动一点,但不应超过满刻度的1/4(如上图所示),则表明反向特性是好的。 如果表针指在0位,则管子内部已短路。
极 性 判 别	万用表负端(黑表笔)连接二极管的阳极,因为负端与万用表内电池正极相连	万用表负端(黑表笔)连接二极管的阴极

正反向电阻相差越大越好，如相差不多，说明二极管性能不好或已损坏。

由于晶体管是非线性元件，正反向电阻不是常数，因而同一个管子用 $R \times 100$ 和用 $R \times 1 K$ 档测出来的电阻数值会有差别。

2、晶体二极管的使用注意事项

(1) 极性必须正确。由于元件生产过程和结构的不同，同类元件外形相同，而极性却可能不同，因此必须以元件管壳上的标记为标准，在标记不明时可用万用表加以判别。

(2) 元件应在正向电流和反向峰值电压允许范围内使用。

(3) 小功率二极管在焊接时，既要保证焊接点可靠，防止虚焊，又要注意不使管子过热而损坏。一般焊点距管壳应不小于10毫米，电烙铁功率一般不大于45瓦，焊接时间一般不超过五秒，而且焊时要用镊子镊住要焊接的引线，以利散热。管子引线弯曲处距管壳一般不小于5毫米，以免引线齐根折断而使管子报废。

七、稳压二极管及其术语

通常我们不希望二极管反向击穿，因为这意味着元件的损坏；但如采取一定措施，可使击穿转变为稳压而不致损坏，利用击穿时管流变化大，而其端电压却很少变化的性质来进行稳压。这个转变的决定条件是半导体内掺杂和外电路的限流措施。

稳压二极管是由硅材料做成的面结型晶体二极管。它与普通二极管的伏安特性的区别，仅在于反向击穿部分非常陡直，工艺上比一般二极管掺杂较多，使它有较大的耗散功率，只要把击穿电流限制在一定范围内，就可在反向击穿区长时间稳定工作，而不会烧坏管子。

主要参数有

1、稳定电压 U_w ，即反向击穿电压，稳压管的正常工作电压的不变值。对同一型号的稳压管，由于制造上的原因，其稳压值是不一样的，而是某一个范围。

2、稳定电流 I_w ，管子稳压时工作电流有一定范围，通常稳定工作电流选在

$I_w = \left(\frac{1}{2} \sim \frac{1}{4}\right) I_{w \max}$ 处。有时资料上不给出 $I_{w \max}$ 值，只给出 P_M ，由此可求出

$$I_{w \max} = \frac{P_M}{U_w}$$

3、最大耗散功率 P_M ，管子不会产生热击穿而损坏的最大允许耗散功率。它近似等于稳定电压与最大稳定电流的乘积。

4、动态电阻 r ，在反向击穿区，稳压管两端电压对电流的变化率，即 $r = \frac{dU}{dI}$ 它是表征稳压管性能好坏的重要参数。 r 越小，管的稳压性能越好。

5、电压温度系数 α_w ，稳压管在稳定电流时，温度每升高 $1^\circ C$ 时 U_w 增加的百分数。一般 U_w 低于6伏的稳压管， α_w 为负，这是齐纳击穿的特点； U_w 高于6伏的稳压管， α_w 为正，这是雪崩击穿效应的特点。6伏左右的管子， α_w 接近于零，即受温度影响最小。因此，要求较高的场合，一般选用 U_w 为6伏左右的稳压管。要求更高时，还可选用2DW7标准稳压管，它是由两个相同的稳压管反向串连组成，接入电路时，两管温度系数相反，恰好补偿。

2DW7型标准稳压管，有三个脚，管脚1、2为正负极，其中有红点的脚接电源正端，另一脚接负端；脚3是备用脚，通常情况下脚3不用。当脚1或2损坏后，才把它作为单个二极管正极，此时只作一般稳压管使用，不能做标准稳压管，这时脚3接电源负端。2DW8型稳压管管脚1和2可任用一个，接电源正端，脚3接电源负端。

目前国产半导体器件型号通常由四部分组成，如表8—1—2所示

表8—1—2

国产半导体器件型号命名表

第 一 部 分	第 二 部 分	第 三 部 分	第 四 部 分
用 数 字 表 示 电 极 的 数 目	用汉语拼音字母表示器 件所用的材料和结构	用汉语拼音字母表示 器件的类型（或功能）	用 数 字 表 示 同 一 类 型 器 件 的 序 列 号
2—二极管 3—三极管	二 极 管 A—N型锗制成 B—P 型锗制成 C—N型硅制成 D—P型硅制成 三 极 管 A—PNP型锗 B—NPN型锗 C—PNP型硅 D—NPN型硅	P—普通管 V—微波管 W—稳压管 C—参量管 Z—整流管 L—整流堆 S—隧道管 U—光电管 K—开关管	1, 2, 3, ... 11, 12, 13, ... 为了表示同一型号器件某些 参数的差别，可以在型号后面再 附加A、B、C、D、...，以示区 别
*截止频率 ≥ 3 兆赫为高频管 截止频率 < 3 兆赫为低频管 耗散功率 ≥ 1 瓦为大功率管 耗散功率 < 1 瓦为小功率管		* X—低频小功率管 G—高频小功率管 D—低频大功率管 A—高频大功率管 T—可控整流器	

如：2 CZ11A—N型硅材料制成的整流二极管；

3 AX31B—PNP型锗低频小功率三极管；

3 AD6A—PNP型锗低频大功率三极管；

3 DG6B—NPN型硅高频小功率三极管。

八、晶体二极管的应用

晶体二极管在整流电路中用得最广，各种单相小功率整流电路的电量关系如表8—1—3，各种大功率整流电路的电量关系和可控硅整流电路当控制角 $\alpha=0$ （即全导通）时的电量关系是一样的。由于二极管种类较多，在应用时，首先应根据使用的场合选择合适的管子。

1、普通二极管，如2AP₁~2AP₁₀、2CP₁~2CP₂₀等用于高频检波、限幅和小电流整流。

2、整流二极管，如2CZ₁₁~2CZ₂₇等，用于不同功率的整流。

3、开关二极管，如2AK₁~2AK₄、2CK₁~2CK₁₉等，多用在电子计算机、脉冲控制和开关电路中。

4、稳压二极管，如2CW₁~2CW₁₀、2DW₁~2DW₈等，用在各种稳压电路中。

此外，还应考虑不同材质和结构的管子所具有的特点，合理使用管子。例如，锗管比硅管正向压降小，更适合于检波和限幅；而硅管比锗管“热稳定性”要好，适合用在环境温度变化比较大的场合；在工作频率较高场合，几乎都采用点接触型管子；在电流较大的电路中，大都采用面结型管子。

管子类型确定后，再根据技术要求，选择各种参数都稍有富裕的管子为宜。

表8—1—3

小功率单相整流电路的电量关系

电 路 名 称			单 相 半 波 整 流	单 相 全 波 整 流	单 相 桥 式 整 流
输出直流电压 U_z	电阻或感性负载		$0.46U_2$	$0.9U_2$	$0.9U_2$
	有 电 容 滤 波	空 载	$1.41U_2$	$1.41U_2$	$1.41U_2$
		负 载	$1.1U_2^*$	$1.1U_2^*$	$1.1U_2^*$
元件所受反向 电压峰值 U_{fm}	电阻或感性负载		$3.14U_z$ ($=1.41U_2$)	$3.14U_z$ ($=2.83U_2$)	$1.57U_z$ ($=1.41U_2$)
	有 电 容 滤 波	空 载	$2U_z$	$2U_z$	$1U_z$
		负 载	$2.56U_z^*$	$2.56U_z^*$	$1.28U_z^*$
流 过 元 件 的 电 流 平 均 值			$1 I_z$	$0.5 I_z$	$0.5 I_z$
流 过 元 件 的 电 流 最 大 值	电 阻 负 载		$3.14 I_z$	$1.57 I_z$	$1.57 I_z$
	无 限 大 电 感 负 载		—	$1 I_z$	$1 I_z$
	电 容 负 载		由 电 容 的 大 小 决 定		
整流变压器二次 侧电压有效值 U_2	电阻或感性负载		$2.22U_z$	$1.11U_z$	$1.11U_z$
	有 电 容 滤 波	空 载	$0.707U_z$	$0.707U_z$	$0.707U_z$
		负 载	$0.91U_z^*$	$0.91U_z^*$	$0.91U_z^*$
整流变压器二次 侧电流有效值 I_2	电 阻 负 载		$1.57 I_z$	$0.79 I_z$	$1.11 I_z$
	无 限 大 电 感 负 载		—	$0.707 I_z$	I_z
整 流 变 压 器	电 阻 负 载		$3.49U_zI_z$	$1.74U_zI_z$	$1.23U_zI_z$
二 次 侧 容 量 P_2	无 限 大 电 感 负 载		—	$1.57U_zI_z$	$1.11U_zI_z$
整 流 变 压 器	电 阻 负 载		$2.68U_zI_z$	$1.23U_zI_z$	$1.23U_zI_z$
一 次 侧 容 量 P_1	无 限 大 电 感 负 载		—	$1.11U_zI_z$	$1.11U_zI_z$
整 流 变 压 器 平 均 计 算 容 量 P_T	电 阻 负 载		$3.08U_zI_z$	$1.48U_zI_z$	$1.23U_zI_z$
		无 限 大 电 感 负 载	—	$1.34U_zI_z$	$1.11U_zI_z$
脉 动 系 数 S (电 阻 负 载)			1.57	0.667	0.667
纹 波 系 数 γ (电 阻 负 载)			1.21	0.48	0.48
输 出 电 压 脉 动 的 最 低 频 率			$1f$	$2f$	$2f$

注： U_z —输出直流电压（即整流电压平均值）；

I_z —输出直流电流（即整流电流平均值）；

S —脉动系数 = $\frac{\text{交流分量的基波（或最低次谐波）的振幅值}}{\text{直流分量（即平均值）}}$ ；

γ —纹波系数 = $\frac{\text{交流分量的有效值}}{\text{直流分量（即平均值）}}$ ；

f —交流电源频率。

*指一般情况下工程估算的参考数据。

5. 单相桥式整流电路

图8—1—11是12伏0.5安稳压电源的整流电路，它的主电路，四只整流二极管接成电桥形式，由于这种电路变压器利用率较高，并减小脉动；而整流元件承受反向电压峰值较低，所以

是最常用的一种整流电路。

主电源二极管的选择应考虑反峰电压：

$$U_{fm} = 1.28 U_z = 1.28 \times 16.5 = 21.1 \text{ 伏}$$

考虑到容性负载，应有较大的电流裕度，采用2CZ11A，其最大整流电流1安，最高反向工作电压100伏。也可采用2CZ13A，而不用散热片。

辅助电源，由于输出电源较小，变压器利用率不是主要矛盾，为了尽量减少整流元件而输出脉动又较小，因而采用单相全波整流电路。

二极管反向峰值电压：

$$U_{fm} = 2.56 (U_z + I_z R) = 2.56 (30 + 0.03 \times 200) = 92 \text{ 伏}$$

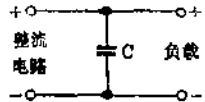
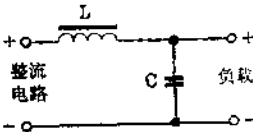
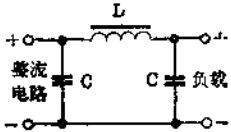
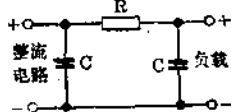
可选用2CP6A，其最大整流电流100毫安，最高反向工作电压100伏，可适应要求。

6. 滤波电路

整流后输出的电压不是理想的直流，而是脉动电流，即除了直流外还有交流成分。而许多场合需要平滑的直流，为此可采用滤波电路。滤波电路常用电感、电容组合成不同的形式。利用电容隔直接通交流的作用，使之与负载并联，达到使电流平滑目的，利用电感对交流阻抗大而对直流阻抗小的特点，将它与负载串联来抑制交流分量。常用滤波电路的形式、特点和参数选择见表8—1—4。

表8—1—4

常用小功率滤波电路的比较和参数

名称	电 容 滤 波	倒 L 型 滤 波	阻 容 滤 波	π 型 滤 波
电 路				
滤波效果	较 差	较 好	较 好	好
输出电压	高	低	较 高	高
输出电流	较 小	大	小	较 小
负载特性	差	较 好	差	差
参数选择	全波整流 $C = \frac{1.44 \times 10^3}{\gamma R_z}$ (微法) 半波整流 $C = \frac{2.88 \times 10^3}{\gamma R_z}$ (微法)	全波整流 $LC = \frac{1.19}{\gamma}$ C 的单位 (微法) 取 $L \geq \frac{2R_z}{942}$ (亨)	全波整流 $RC^2 = \frac{2.3 \times 10^3}{\gamma R_z}$ C 的单位 (微法) 其中 R 一般取数十至数百欧	由于体积、重量都较大，所以在晶体管整流电路中较少应用

几点说明：

(1) 负载特性表示输出的负载电流变化时，输出电压变化情况。若输出电压变动大，为负载特性差。若系电容滤波，当负载变动很大时，可在输出端并联一个泄放电阻，以改善负载特性。泄放电阻可接近似十倍 $R_f z$ 来选取。

(2) 参数选择公式仅适用于交流电源频率为50赫的情况，式中 γ 叫输出电压纹波系数。

$$\gamma = \frac{\text{输出电压交流分量有效值}}{\text{输出直流电压 (即平均值)}}$$

γ 越小, 表示输出电压越接近理想的平滑直流。经过滤波电路后的纹波系数可降低到百分之几到千分之几。 R_{fz} 叫做等效负载电阻, 其按下式计算:

$$R_{fz} = \frac{\text{输出直流电压 } U_z \text{ (伏)}}{\text{负载直流电源 } I_z \text{ (安)}} \quad (\text{欧})$$

(3) 滤波电容一般选用电解电容, 其耐压等级按不小于 $\sqrt{2} U_z$ 伏来选取。

采用电容滤波后, 使整流电路的负载不是纯电阻而呈容性, 这样不仅能使输出电压平滑, 而且输出直流电压比纯电阻时升高很多。但加入电容后, 一方面会引起整流元件导电角的减小 ($< 180^\circ$), 在输出同样直流电流时, 流过元件的电流峰值就大大增加; 另一方面, 当电源合闸时还会有较大的初始充电电流通过整流元件。上述各点在实际计算时都须考虑到。为此在要求输出相同的整流电压和电流时, 如采用较大的电容滤波, 其变压器二次侧电压就比纯电阻负载时要低, 另外还必须选用足够电流程度的二极管, 必要时加入限流电阻来限制充电电流。

(4) 采用电感滤波时, 电感线圈在体积允许条件下, 应选用较粗的导线绕制, 以免线圈电阻压降过大。此外, 如电感量较大, 在电源断开时, 电感线圈的两端会产生较大的感应电动势, 可能使二极管过压而击穿损坏, 故选用二极管电压等效时应留一定裕度。

第二节 晶体三极管放大器和应用

一、晶体三极管特性和参数

(一) 晶体三极管放大与开关作用

一个PN结有单向导电的特性, 按照一定工艺制成两个PN结, 就成为三极管。它有三个极, 其结构和符号见表8—1—5所示。其中e为发射极; c为集电极; b为基极。按结构种类可分为PNP和NPN两种。从结构图中可以看出, 发射极与基极之间有一个PN结叫发射结, 集电极和基极间另有一个PN结叫集电结。

当发射结上加较小的正向电压 (P为正, N为负), 集电结加较大的反向电压 (P为负, N为正), 这时晶体管内部电流按一定的规律流动, 如图8—1—11所示。

以PNP型管为例, 发射极在正向电压作用下, 流出的电流, 很容易穿过薄薄一层的基极被集电极较大的负电位拉过去, 构成集电极电流 I_c , 只有很少一部分 (约百分之几) 从基极流出, 构成基极电流 I_b 。由此可见, 很小的基极电流, 对应于较大的集电极电流, 当 I_b 越大时, 按照一定比例 I_c 也越大, 就是说在放大区中 I_b 的微小变化会引起 I_c 的较大变化, 这就是三极管的放大作用。NPN型管的原理是一样的, 只是电压的极性和电流的方向与PNP型管相反。必须注意, 传导被放大所增加的功率, 并非来自转入端的信号源, 而是另有功率源。因此, 放大的实质就是用较小的能量, 控制较大的能量。

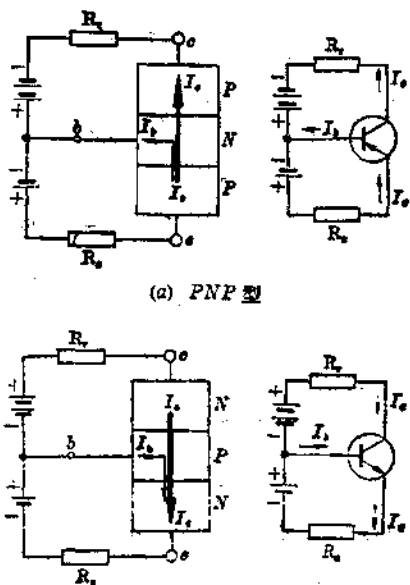
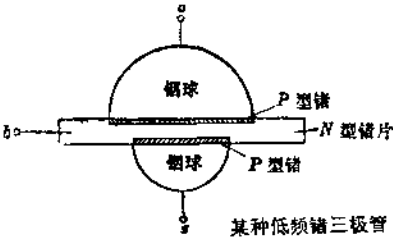
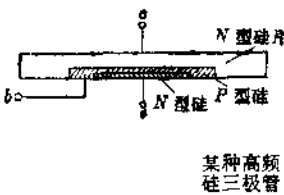
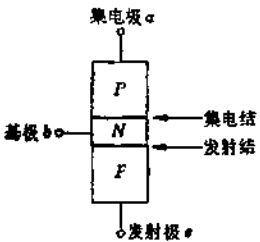
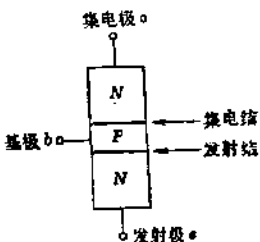
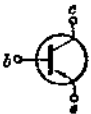
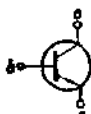


图8—1—11

晶体三极管内电流的分配规律

表8—1—5

晶体三极管的结构和符号

型 式	PNP型	HPN型
结 构 示 意 图		
原 理 图		
符 号		

晶体三极管当基极电流 I_b 在不同数量范围内(也即发射极—基极电压 U_{be} 在不同数量范围内)变化时,晶体管的性能就发生急剧变化。以其发射极电路为例,三极管的工作状态对应于不同的 I_b (或 U_{be})可分为截止、放大、饱和三种状态。其特点和数量关系如表8—1—6。其中放大状态起着放大作用,饱和截止状态便起着开和关的作用。

晶体三极管的上述三种状态可在其共发射极输出特性曲线上表示。所谓共发射极输出特性就是在某一给定基极电流 I_b 下,集电极电流 I_c 和集电极—发射极电压 U_{ce} 的关系如图8—1—12所示。

根据其对应关系,可以把曲线分成截止区、放大区、饱和区。在放大区内, I_b 的变化可引起 I_c 按比例变化的部分,称为放大区的线性部分。而靠近截止区或饱和区的部分, I_c 和 I_b 不是按比例变化,称为放大区的非线性部分。

(二) 晶体三极管三种基本接法

三极管电路根据它的输入信号和输出信号的公共点不同,可分为共发射极、共集电极、共基极三种接法。其中共发射极电路应用最广,其电路和比较如表8—1—7。

(三) 晶体三极管的参数

为了对晶体三极管参数有个数量的概念,将常用的参数名称、符号、意义、一般范围和使用说明列于表8—1—8中。

表8—1—6

晶体三极管三种工作状态和数量关系

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
PNP型			
NPN型			
*参	$I_b \leq 0$ (I_b 为负, 代表其实际方向和图中所示相反, 即与放大和饱和状态时的 I_b 方向相反)	$I_b > 0$ 其实际方向如图所示	$I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$
数	U_{be} 约从 +0.3 伏到 -0.1 伏范围内 (锗管) 约从 -0.3 伏到 +0.5 伏范围内 (硅管)	U_{be} 约从 -0.1 伏到 -0.2 伏范围内 (锗管) 约从 +0.5 伏到 +0.7 伏范围内 (硅管)	U_{be} 比 -0.2 伏更负 (锗管) 大于 +0.7 伏 (硅管)
范	$I_c \leq I_{ceo}$	$I_c = \beta I_b + I_{ceo}$	$I_c \approx E_c / R_c$
围	$U_{ce} \approx E_c$	$U_{ce} = E_c - I_c R_c$	$U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3$ 伏 (管子饱和压降)
工作状态的	当 $I_b \leq 0$ 时, 集电极电流很小 (小于 I_{ceo}), 晶体管相应于开断 (即截止), 电源电压 E_c 几乎全部加在管子两端	I_b 从 0 逐渐增大, 集电极电流 I_c 也按一定比例增加, 微弱的 I_b 的变化能引起 I_c 较大幅度的变化, 晶体管起放大作用	当 $I_b > E_c / \beta R_c$ 时, 集电极电流 $I_c \approx E_c / R_c$, 并不再随 I_b 的增加而增加 (即晶体管饱和), 管子两端压降很小, 电源电压 E_c 几乎全部加在集电极负载电阻 R_c 两端
特点			

注: 有*的具体数据为该类型管子的一般范围。

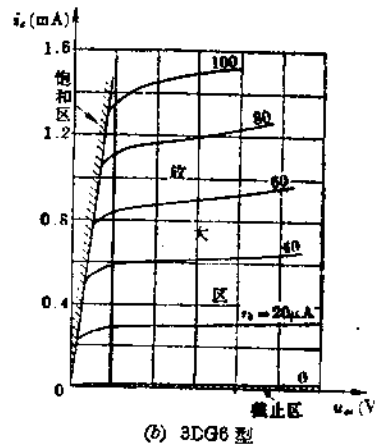
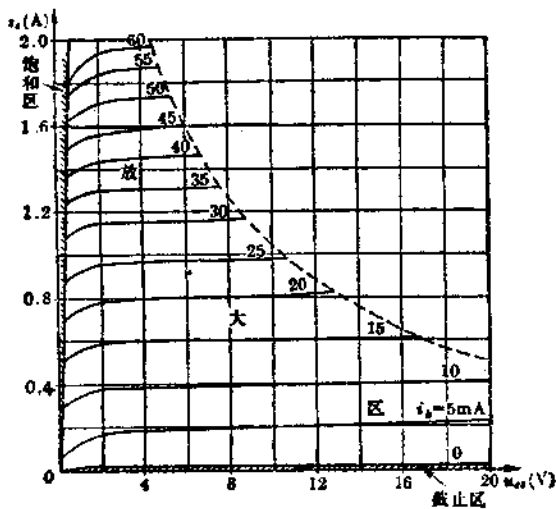


图8—1—12 晶体三极管共发射极输出特性

表8—1—7

晶体三极管电路的三种接法和比较

电 路 名 称	共发射极电路	共集电极电路	共基极电路
电路原理图 (PNP型)			
输出与输入电压的相位	反 相	同 相	同 相
输 入 阻 抗	较小 (约几百欧)	大 (约几百千欧)	小 (约几十欧)
输 出 阻 抗 (欧)	较大 (约几十千欧)	小 (约几十欧)	大 (约几百千欧)
电 流 放 大 倍 数	大 (几十到两百倍)	大 (几十到两百倍)	<1
电 压 放 大 倍 数	大 (几百~千倍)	<1	较大 (几百倍)
功 率 放 大 倍 数	大 (几千倍)	小 (几十倍)	较大 (几百倍)
频 率 特 性	稍不好	好	好
稳 定 性	差	较好	较好
失 真 情 况	较大	较小	较小
对 电 源 要 求	采用偏置电路, 只需一个电源	采用偏置电路, 只需一个电源	需要两个独立的电源
应 用 范 围	放大电路、开关电路等场合	阻抗变换电路等	高频放大、振荡等

注: NPN型三种接法的电源极性相反

表8—1—8

晶体三极管常用参数的说明

参 数 名 称	符 号	意 义	一般范围 (本手册所列部分型号的参数量综合)	说 明
共基极电流放大系数	h_{fb} (α)	在共基极电路中, 集电极电流 (即输出电流) 和发射极电流 (即输入电流) 的变化量之比	$0.9 \sim 0.995$	1. 该两参数一般是在低频1000赫时测量的数据, 所以只能表明管子低频时的放大能力, 当频率超过一定范围, α 、 β 均要下降。因此对高频信号, 管子的放大能力还要看其频率特性 ($f_{\alpha\beta}$ 或 f_T) 是否好 2. β 过高, 虽然放大能力强, 但放大性能往往不稳定, 因此并不是 β 越大越好 3. α 和 β 是从两个方面说明同一个管子的放大性能, 两者必有一定关系, 这就是 $\beta = \frac{\alpha}{1-\alpha} \approx \frac{1}{1-\alpha} \quad (\text{因为 } \alpha \approx 1) \text{ 或 } \alpha \approx \frac{\beta}{1+\beta}$
共发射极电流放大系数	h_{fe} (β)	在共发射极电路中, 集电极电流 (即输出电流) 和基极电流 (即输入电流) 的变化量之比	$10 \sim 250$	
集电极-基极反向截止电流 简称集电极反向截止电流	I_{cbo}	在发射极断开时 (即 $I_e = 0$), 基极和集电极之间加以规定的反向电压时的集电极电流	3AX: <30 微安, 有的可达150微安 3AD: <1000 微安 3AG: <10 微安 3AK: <10 微安 硅管是相同功率锗管的 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	1. 一般是在室温25°C时测量的数据, 随温度上升而急剧增加。锗管每升高12°C约增加一倍, 硅管每升高8°C约增加一倍 计算公式: $I_{cbo} = (I_{cbo})_{25^\circ\text{C}} \times 2^{\frac{1-25}{12}} \quad (\text{锗管})$ $I_{cbo} = (I_{cbo})_{25^\circ\text{C}} \times 2^{\frac{1-25}{8}} \quad (\text{硅管})$
集电极-发射极反向截止电流 (穿透电流)	I_{ceo}	在基极断开时 (即 $I_b = 0$), 集电极和发射极之间加以规定的反向电压时的集电极电流	3AX: <1000 微安 3AD: $<几毫安到十几毫安$ 3AG: <200 微安 3AK: <200 微安 硅管是相同功率锗管的 $\frac{1}{100} \sim \frac{1}{1000}$	2. 该两参数表明管子随温度变化的稳定性, 是衡量晶体三极管质量好坏的重要参数, 其值越小越稳定, 所以硅管比锗管稳定 3. I_{cbo} 和 I_{ceo} 从两个方面说明同一管子的稳定性, 可以得出两者关系是 $I_{ceo} \approx \beta I_{cbo}$

集电极—基极 反向击穿电压	BV_{cbo}	在发射极断开时, 集电极的最大允许反向电压	3AX, 3DX, 20~100伏 3AD, 3DD, 40~120伏 3AG, 3AK, 15~80伏 3DG, 3DK, 10~80伏	1. 该数据一般是在室温25°C时测得, 随温度上升反向击穿电压将降低。当晶体管升至最高允许温度, 该电压将大约降低一半 2. 这四个参数表明管子耐压程度, 使用时, 实际电压不应超过实际温度下的反向击穿电压, 否则影响管子性能和寿命甚至使管子损坏 3. 晶体管作为开关状态时, 在发射结上要加反向电压, 这时注意不应超过 BV_{cbo} , 特别对3AG型高频小功率管其 BV_{cbo} 很小, 3DG, 3AK, 3DK型的 BV_{cbo} 也不大 4. 当基极断开时, 由于管子 $BV_{ceo} < BV_{cer}$, 即耐压降低, 同时管子处于截止状态, 两端电压上升(基本上等于电源电压), 所以容易击穿。因此断开电源之前不要先断开基极
集电极—发射极 反向击穿电压	BV_{ceo}	在基极断开时, 集电极和发射极之间的最大允许电压	3AX, 3DX, 10~30伏 3AD, 3DD, 12~80伏 3DD, 15~100伏 3AG, 3AK, 8~20伏 3DG, 3DK, 9~45伏	
发射极—基极 反向击穿电压	BV_{ebo}	在集电极断开时发射结最大允许反向电压	3AX, 3DX, 7~20伏 3AD, 3DD, 20~80伏 3AG, 0.5~2伏 3DG, 3AK, 3DK, 3~5伏	
基极—发射极 间并联电阻时的 集电极—发射极 反向击穿电压	BV_{cer}	在基极—发射极间并联电阻 R_{be} 时, 集电极与发射极之间最大允许电压	当 $0 \leq R_{be} \leq \infty$ 时, $BV_{cbo} \geq BV_{cer} \geq BV_{ceo}$	
集电极最大允许 电流	I_{cm}	当晶体管参数变化不超过规定允许值时的集电极最大电流	硅管: 低频小功率 10~500毫安 低频大功率 >1.5安 硅管: 低频小功率 <100毫安 低频大功率 >300毫安	一般 I_{cm} 是指当 α 降至原来数值2/3或1/2时的集电极电流, 所以管子实际工作电流并不是绝对不能超过 I_{cm} , 只要 $P_c < P_{cm}$ 即可。不过 I_c 超过 I_{cm} 后, 管子放大倍数大为降低了
集电极最大允许 耗散功率	P_{cm}	由于晶体管在电路中要消耗发热使管子参数发生变化, 保证参数变化在规定允许范围之内的集电极最大允许消耗的功率	小功率管<1瓦 大功率管≥1瓦	1. 耗散功率必须小于 P_{cm} , 管子才能正常工作 2. 该数据一般是在室温25°C时测得, 随温度上升将降低。某一温度下允许耗散功率可按下式计算: $P_{cm} = (P_{cm})_{25^\circ C} \frac{T_{jm} - T}{T_{jt} - 25}$ ($(P_{cm})_{25^\circ C}$ 是25°C时允许耗散功率, T_{jm} 是最高允许结温度, T 实际室温) 3. 与散热条件有关, 加装散热片可大大提高 P_{cm} , 散热片面积越大, P_{cm} 也越大 4. 管子实际耗散功率按其集电极—发射极直流电压和集电极直流电流的乘积计算, 即 $P_c = U_{ce} \times I_c$ 。当管子工作在开关状态或非甲类放大时, 按其集电极平均耗散功率计算 5. 管子最大允许集电极电流 I_{cm} 和集电极反向击穿电压(BV_{cbo} 或 BV_{ceo})不能同时达到, 否则 $I_{cm} \times BV_{cbo}$ 或 $I_{cm} \times BV_{ceo}$ 将大大超过 P_{cm} 而使管子烧坏
电流放大系数 截止频率	f_α f_β	当电流放大系数(α 或 β)下降到低频(1000赫)值的 $\frac{1}{\sqrt{2}}$ (=0.707)时的频率(f_α 或 f_β)	低频管 $f_\alpha < 3$ 兆赫 高频管 $f_\alpha > 3$ 兆赫	1. 表示低频管的频率性能 2. $f_\beta \approx (1-\alpha) f_\alpha$
特征频率	f_T	当 β 下降到1时的频率	高频管一般大于10兆赫, 高的可达几百兆赫以上	1. 表示高频管的频率性能, 同样 β 的管子 f_T 越高, 高频时管子放大性能越好 2. 在特征频率时, 管子已无放大作用

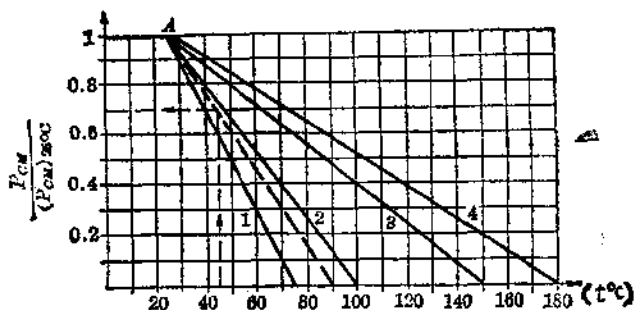
热阻	R_T	管子集电极每耗散瓦(或1毫瓦)功率引起管子PN结温升的度数	小功率管一般小于 $1^{\circ}\text{C}/\text{毫瓦}$ 大功率管一般在 $0.5\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{左右}$	1. 表示管子的散热能力, R_T越小, 越容易散热 2. 增加散热片面积, 就是减小 R_T, 因此可以提高 P_{CM}
最高允许结温	T_{JM}	保证晶体管能正常工作(即参数变化不超过规定允许范围)的PN结最高温度	锗管 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$ 左右 硅管 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ 左右	1. 说明管子耐高温性能, 如果环境温度接近 T_{JM}, 管子允许耗散功率 P_{CM} 接近于0, 不能在工作了 2. 硅管比锗管能在较高环境温度下工作
噪声系数	N_F	输出端点总的噪声功率与原输入噪声经管子放大后的噪声功率之比	锗低频小功率管一般为 $15\sim 33$ 分贝。有一些低噪声管, 如AX5, 3AX8, 3AX20, 3AX23, 3AX31E, 3AX42D, 3AX42E等, N_F 在 $6\sim 12$ 分贝之间	1. 说明管子质量好坏的标准之一, $N_F=1$ 说明输出噪声功率全部是输入噪声放大所致, 管子本身不产生噪声, N_F 越大, 管子噪声越厉害 2. 多级放大第一级管子噪声系数对整机影响最大, 可考虑采用低噪声管 3. 信号频率过低或过高, 噪声系数均要增加 4. 集电极电流过大, N_F 也会增加

表8—1—9

晶体三极管 α 和 β 换算表

α	0.8	0.9	0.95	0.96	0.97	0.975	0.98	0.985	0.99	0.992	0.993	0.995
β	5	10	20	25	33	39	50	66	100	124	142	200

晶体三极管集电极最大耗散功率和环境温度的关系, 如图8—1—13。

图8—1—13 晶体三极管 P_{CM} 和 t 的关系

图中1~2锗管 T_{JM} 为 $75\sim 100^{\circ}\text{C}$;

3~4硅管 T_{JM} 为 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$

曲线使用方法: 从资料中查得所用管子的 P_{CM} 和 T_{JM} , 该 P_{CM} 即为 $(P_{CM})_{25^{\circ}\text{C}}$ 。如3AD6A $(P_{CM})_{25^{\circ}\text{C}}=10$ 瓦, $T_{JM}=90^{\circ}\text{C}$, 从图8—1—16中A点画一条相应于 $T_{JM}=90^{\circ}\text{C}$ 的直线(如图中虚线)。根据实际最高环境温度如 $t=45^{\circ}\text{C}$, 从曲线查得相应的 $\frac{P_{CM}}{(P_{CM})_{25^{\circ}\text{C}}}=0.7$ 。就是说环

境温度 45°C 时, 3AD6A最大耗散功率只能按 0.7×10 瓦=7瓦来考虑。

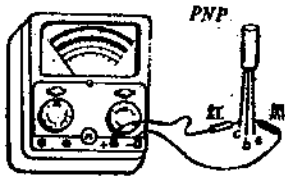
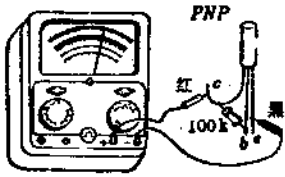
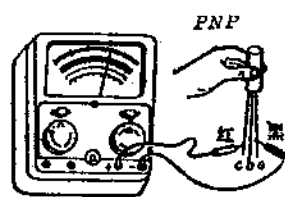
二、晶体三极管的简易测试

(一) 晶体管性能简易比较

一个晶体管的好坏, 可通过比较其参数来判断, 其中穿透电流 I_{CO} 和共发射极电流放大系数 β 是两个主要参数, 也是比较同型号管子性能好坏的主要依据。用万用表进行比较的简易方法如表8—1—10。

表8—1—10

晶体三极管的简易比较

比 较 内 容	方 法	说 明
穿透电流 $I_{c_{eo}}$		用万用表电阻档 ($R \times 100$ 或 $R \times 1k$) 测集电极—发射极反向电阻, 阻值越大, 说明 $I_{c_{eo}}$ 越小, 晶体管性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大, 高频管比低频管的阻值大, 小功率管比大功率管的阻值大。对低频小功率锗管约在几千欧以上
共发射极电流放大系数 β		如果再在基极—集电极间接 100千欧电阻, 集电极—发射极反向电阻便减少, 万用表指针偏转, 偏转角度越大, 说明 β 越大
晶体管稳定性能		在判断 $I_{c_{eo}}$ 同时, 用手握住管子, 受人体体温影响, 管子集电极—发射极反向电阻将有所减小, 但如果发现指针摇摆较大或阻值迅速减少, 则管子稳定性较差

注: NPN管子将万用表测试棒对调即可

(二) 晶体三极管管脚、管型和高低频管的判断

对管子的型号、管脚、高低频管的判断, 一般情况下可根据型号查资料。但由于生产工艺的不同, 即使同一型号的管子, 其管脚也可能不同。必要时可按表8—1—11分两步判断管脚和管型。

(三) $I_{c_{eo}}$ 和 β 值的近似测量

按图8—1—14接线, 按钮AN被按下之前, $I_{b_0} \approx 0$, 电流表读数即近似为 $I_{c_{eo}}$; 按下按钮AN,

$$I_{b_1} \approx \frac{E_c}{R_b} = \frac{b}{200} = 30\mu A, \text{ 经过晶体管放大, } I_{c_{eo}} \text{ 增加至 } I_{c_1}, \text{ 则:}$$

$$\beta = \frac{I_{c_1} - I_{c_{eo}}}{I_{b_1} - I_{b_0}} = \frac{I_{c_1} - I_{c_{eo}}}{30}$$

$$\text{如某管测得 } I_{c_1} = 1.5mA, \text{ 则可得 } \beta = \frac{1500 - 20}{30} \approx 50.$$

测量前必须注意: 先用万用表测试管子是否良好, 如果管子本来已经损坏而再测试 β , 就有可能使电流表损坏。

三、晶体管低频放大器

(一) 晶体管放大器的工作点和偏置电路

工作点是指无输入信号时晶体管的工作状态。选择工作点一般就是选定晶体管在无输入信号时的集电极电流 I_c 和极电极—发射极电压 $U_{c_{eo}}$, 工作点的选定是晶体管正常工作的基础。当电

源电压 E_c 和集电极负载电阻 R_c 一定时, 工作点取决于基极电流 I_b , 这个电流就是所谓偏流, 调节偏流就可改变工作点。建立偏流的电路叫偏置电路。

表8-1-11

晶体三极管脚和管型的判断

判 断 内 容	方 法	说 明
第一步: 判断基极	PNP 型 晶 体 管	两次读数均较小 可以把晶体三极管看成两个二极管来分析。用万用表电阻档($R \times 100$或$R \times 1k$), 将正测试棒(红色)接某一管脚, 负测试棒(黑色)分别接另二管脚, 测量二个阻值。当两个阻值均较小时, 红棒所接管脚即为PNP管基极。若两阻值有的较大, 可将红棒另接一管脚再试, 直到两个阻值均较小为止。
	NPN 型 晶 体 管	两次读数均较小 方法同上, 但以黑棒为准, 红棒分别接另二管脚, 测得两阻值均较小, 即为NPN管的基极。
第二步: 判断集电极	PNP 指针偏转较大 (即阻值小) 再利用晶体管正向电流放大系数β比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个测试棒接到管子的另外两个脚, 用嘴含住基极, 利用人体电阻实现偏置, 测读万用表指针的偏转角(或阻值), 再将两个测试棒对调同样测读, 比较二次读数, 对PNP管, 偏转角大(阻值小)的一次中红棒所接的即为集电极; 对NPN管, 偏转角大(阻值小)的一次中黑棒所接的即为集电极。	

注: 正向电流放大系数是指管子处于正常的放大状态, 如PNP管, 集电极C接电源负端, 发射极e接电源正端时的放大系数。当电源接反, 即为反向电流放大系数。

表8-1-12

高频三极管和低频三极管的简易判断

判 断 内 容	内 容	说 明
测量发射极-基极反向击穿电压 BV_{ebo}	20k 12V V PN管	因为高频管BV_{ebo}较低(均小于10伏), 而低频管BV_{ebo}较高, 大于10伏。如图测得U_{eb}大于10伏, 为低频管; 若10小于伏, 则可能为高频管, 再用下面方法进一步确定。
比较正反向电流放大系数	同表8-1-11 判断集电极的方法	低频管的反向电流放大系数比正向电流放大系数小得不十分多, 因此在测反向电流放大系数时, 若万用表指针仍能看出偏转即为低频管。而高频管的反向电流放大系数比正向电流放大系数小很多, 因此在测反向电流放大系数时, 若万用表指针基本上不偏转即为高频管。