

续表

项 目	三相负载星形接法	三相负载三角形接法
相电流与相电压的关系	$\dot{I}_a = \frac{\dot{U}_a}{Z_a}$ $\dot{I}_b = \frac{\dot{U}_b}{Z_b}$ $\dot{I}_c = \frac{\dot{U}_c}{Z_c}$	$\dot{I}_{ab} = \frac{\dot{U}_{AB}}{Z_{ab}}$ $\dot{I}_{bc} = \frac{\dot{U}_{BC}}{Z_{bc}}$ $\dot{I}_{ca} = \frac{\dot{U}_{CA}}{Z_{ca}}$
电路计算中, 三相对称性的利用	由于三相负载阻抗相等 ($Z_a = Z_b = Z_c$, $Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ca}$), 三相电源电压对称, 电路中三相负载相电压、三相负载电流、三相线电流都是对称的, 因此可化三相计算为一相计算, 然后利用对称关系直接写出另两相的结果	

三、三相电路的功率

表 1.1.12 中的公式对三相负载的星形接法和三角形接法均适用。

表 1.1.12 三相电路功率的计算公式

项 目	三相功率的一般计算公式	对称三相电路功率计算公式
三相有功功率, W	$P = P_A + P_B + P_C$ $= U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C$	$P = 3 U_p I_p \cos \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \cos \varphi$
三相无功功率, var	$Q = Q_A + Q_B + Q_C$ $= U_A I_A \sin \varphi_A + U_B I_B \sin \varphi_B + U_C I_C \sin \varphi_C$	$Q = 3 U_p I_p \sin \varphi$ $= \sqrt{3} U_l I_l \sin \varphi$
三相视在功率, VA	$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$	$S = 3 U_p I_p$ $= \sqrt{3} U_l I_l$
说明	对于不对称三相电路, 一般不能用 $S_A + S_B + S_C$ 求取三相总视在功率 S	上面各式中 U_p 、 I_p 为相电压、相电流; U_l 、 I_l 为线电压、线电流; $\cos \varphi$ 为各相负载的功率因数, 即 φ 角为相电压与相电流的相位差角

第五节 其他电路计算

一、双口网络的计算

双口网络又称二端口网络, 属于四端网络, 见图 1.1.53。

双口网络端口间电压与电流的关系见表 1.1.13。

二、周期非正弦电流电路的计算

1. 几个典型的周期函数的傅里叶展开式 (见表 1.1.14)

2. 周期非正弦电流、电压的有效值、平均值及平均功率 (表

1.1.15)

3. 周期非正弦电流电路的计算步骤

以图 1.1.54 所示的周期非正弦电流电路为例, 列表说明其计算步骤 (表 1.1.16)。

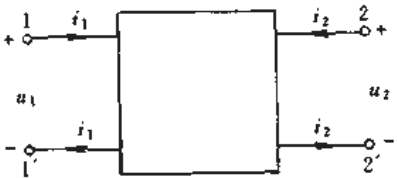


图 1.1.53 双口网络

表 1.1.13 双口网络端口间电压电流关系

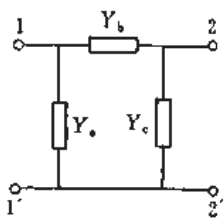
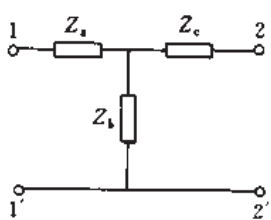
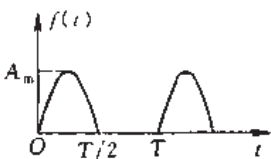
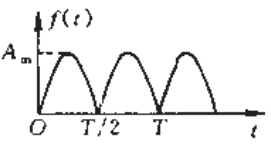
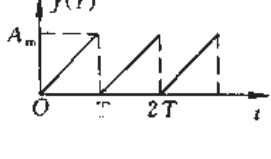
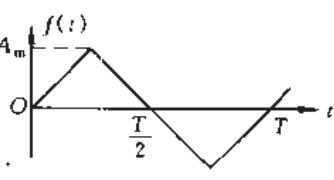
项 目	导纳 (Y) 参数形式	阻抗 (Z) 参数形式
参数方程	$\dot{I}_1 = Y_{11}\dot{U}_1 + Y_{12}\dot{U}_2$ $\dot{I}_2 = Y_{21}\dot{U}_1 + Y_{22}\dot{U}_2$	$\dot{U}_1 = Z_{11}\dot{I}_1 + Z_{12}\dot{I}_2$ $\dot{U}_2 = Z_{21}\dot{I}_1 + Z_{22}\dot{I}_2$
参数意义	$Y_{11} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_1} \right _{\dot{U}_2=0}$ $Y_{21} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_1} \right _{\dot{U}_2=0}$ $Y_{12} = \left. \frac{\dot{I}_1}{\dot{U}_2} \right _{\dot{U}_1=0}$ $Y_{22} = \left. \frac{\dot{I}_2}{\dot{U}_2} \right _{\dot{U}_1=0}$	$Z_{11} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_1} \right _{\dot{I}_2=0}$ $Z_{21} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_1} \right _{\dot{I}_2=0}$ $Z_{12} = \left. \frac{\dot{U}_1}{\dot{I}_2} \right _{\dot{I}_1=0}$ $Z_{22} = \left. \frac{\dot{U}_2}{\dot{I}_2} \right _{\dot{I}_1=0}$
等效电路 (对任何给定的线性无源双口网络均适用)	 $Y_a = Y_{11} + Y_{12}$ $Y_b = -Y_{12} = -Y_{21}$ $Y_c = Y_{21} + Y_{22}$	 $Z_a = Z_{11} - Z_{21}$ $Z_b = Z_{12} - Z_{21}$ $Z_c = Z_{22} - Z_{12}$

表 1.1.14 几个典型的周期函数的傅里叶展开式

$f(t)$ 的波形	$f(t)$ 的傅里叶展开式
	$f(t) = \frac{A_m}{\pi} \left(1 + \frac{\pi}{2} \sin \omega t - \frac{2}{3} \cos 2\omega t - \frac{2}{15} \cos 4\omega t - \dots \right)$
	$f(t) = \frac{4}{\pi} A_m \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{3} \cos 2\omega t - \frac{1}{15} \cos 4\omega t - \dots \right)$
	$f(t) = A_m \left[\frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{2} \sin 2\omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \dots \right) \right]$
	$f(t) = \frac{8}{\pi^2} A_m \left(\sin \omega t - \frac{1}{9} \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5\omega t - \dots \right)$

续表

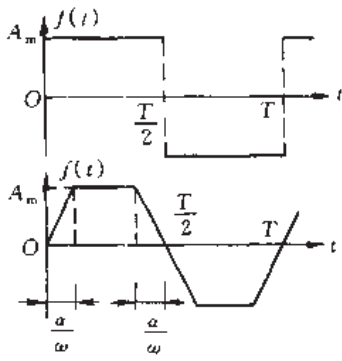
$f(t)$ 的波形	$f(t)$ 的傅里叶展开式
	$f(t) = \frac{4}{\pi} A_m \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \cdots \right)$ $f(t) = \frac{4}{a\pi} A_m \left(\sin a \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin 3a \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin 5a \sin 5\omega t + \cdots \right)$

表 1.1.15 周期非正弦电流、电压的有效值、平均值及平均功率

周期非正弦电流、电压的傅里叶展开式	$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_{km} \sin(k\omega t + \phi_k) \quad (\text{A})$ $u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_{km} \sin(k\omega t + \phi_k) \quad (\text{V})$
电流、电压的有效值	$I = \sqrt{I_0^2 + I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \cdots} \quad (\text{A})$ $U = \sqrt{U_0^2 + U_1^2 + U_2^2 + U_3^2 + \cdots} \quad (\text{V})$
电流、电压的平均值	$I_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt \quad (\text{A})$ $U_{av} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt \quad (\text{V})$
平均功率	$P = P_0 + P_1 + P_2 + P_3 + \cdots$ $= U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + U_3 I_3 \cos \varphi_3 + \cdots \quad (\text{W})$ <p>式中 $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \cdots$ 为各次谐波电压与同次谐波电流的相位差</p>

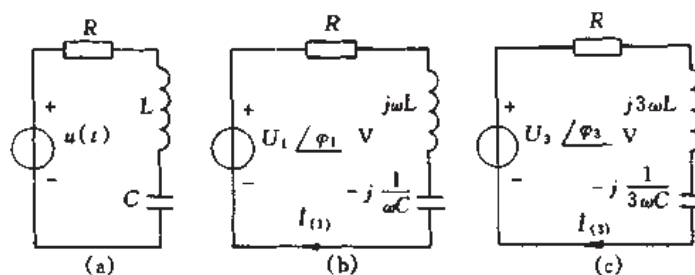


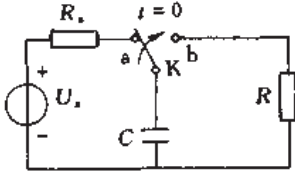
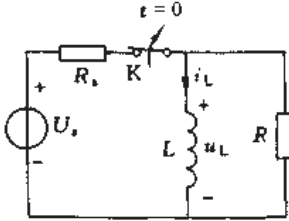
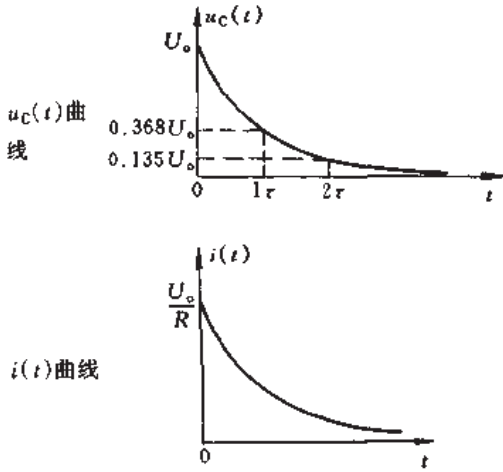
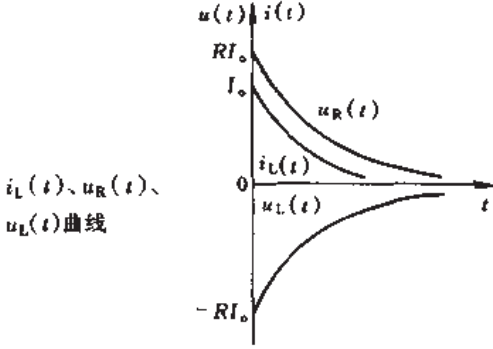
图 1.1.54 周期非正弦电流电路

表 1.1.16 周期非正弦电流电路计算示例

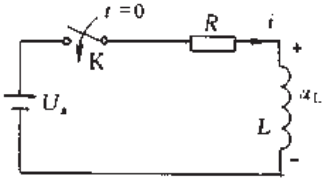
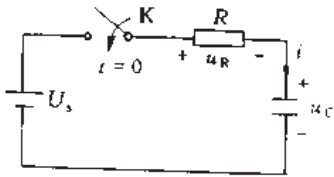
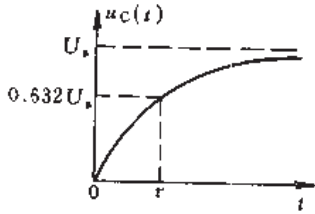
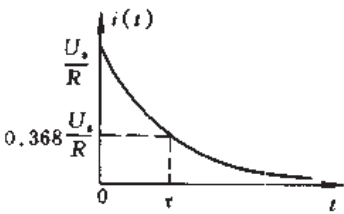
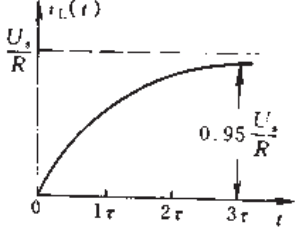
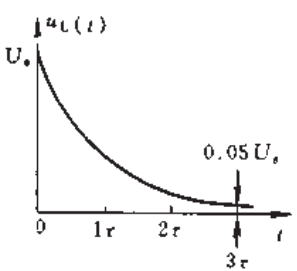
已知	电路中电源电压 $u(t) = U_0 + \sqrt{2}U_1\sin(\omega t + \varphi_1) + \sqrt{2}U_3\sin(3\omega t + \varphi_3)$ (V)	
	R 、 L 、 C 值	
求	电路中的电流 i 、有效值 I 及消耗的功率 P	
计算顺序 及内容	1	求电压的直流分量 U_0 单独作用时的 I_0 、 P_0 因电容相当于开路, 故 $I_0 = 0$ 、 $P_0 = 0$
	2	求电压的基波分量单独作用时的 I_1 、 P_1 此时, $X_L = \omega L$, $X_C = \frac{1}{\omega C}$, $\dot{I}_1 = \frac{U_1 \angle \varphi_1}{R + jX_L - jX_C} = I_1 \angle \varphi_1 - \varphi_1$ $P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$
	3	求电压的三次谐波分量单独作用时的 I_3 、 P_3 此时, $X_L = 3\omega L$, $X_C = \frac{1}{3\omega C}$, $\dot{I}_3 = \frac{U_3 \angle \varphi_3}{R + jX_L - jX_C} = I_3 \angle \varphi_3 - \varphi_3$ $P_3 = U_3 I_3 \cos \varphi_3$
	4	按叠加定理求 $i(t) = \sqrt{2}I_1\sin(\omega t + \varphi_1 - \varphi_1) + \sqrt{2}I_3\sin(3\omega t + \varphi_3 - \varphi_3)$
	5	求电流有效值 $I = \sqrt{I_1^2 + I_3^2}$ ($I_0 = 0$)
	6	求消耗的功率 $P = P_1 + P_3$ ($P_0 = 0$)

三、电阻、电容电路和电阻、电感电路的过渡过程 (见表 1.1.17)

表 1.1.17 RC 电路和 RL 电路的过渡过程

(一)	放 电 过 程	
电路图		
电路响应 (可称零输入 响应)	$u_C(t) = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (V) $t \geq 0$ $i(t) = \frac{U_0}{R} e^{-\frac{t}{\tau}}$ (A) $t \geq 0$ 其中: $U_0 = u_C(0)$ (V) $\tau = RC$ (s) 称为 RC 电路的时间常数	$i_L(t) = I_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (A) $t \geq 0$ $u_L(t) = -RI_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$ (V) $t \geq 0$ 其中: $I_0 = i_L(0)$ (A) $\tau = \frac{L}{R}$ (s) 称为 RL 电路的时间常数
变化曲线		

续表

(二)	充 电 过 程	
电路图		
电路响应 (可称零状态 响应)	$u_C(t) = U_s(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (\text{V}) \quad t \geq 0$ $i(t) = \frac{U_s}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{A}) \quad t \geq 0$ <p>其中: $\tau = RC \quad (\text{s})$</p>	$i_L(t) = \frac{U_s}{R}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (\text{A}) \quad t \geq 0$ $u_L(t) = U_s e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (\text{V}) \quad t \geq 0$ <p>其中: $\tau = \frac{L}{R} \quad (\text{s})$</p>
变化曲线	<p>$u_C(t)$ 曲线</p>  <p>$i(t)$ 曲线</p> 	<p>$i_L(t)$ 曲线</p>  <p>$u_L(t)$ 曲线</p> 

第二章 磁场与磁路的基础知识

第一节 磁场基础知识

一、磁场的基本物理量

磁场的基本物理量主要有磁感应强度、磁通、磁场强度和磁导率等，它们的符号、意义、单位和相互关系见表 1.2.1。

表 1.2.1 磁场的基本物理量

名称	磁感应强度	磁 通	磁场强度	磁导率
表示符号	B	Φ	H	μ
意义	<p>是表示磁场某一点强弱和方向的量，方向同放于该点的小磁针 N 极指向，大小：</p> $B = \frac{\Delta F}{I \Delta l}$ <p>Δl——放于该点一小段导体的长度； I——导体电流； ΔF——导体所受电磁力（导体应与磁场方向垂直）</p>	<p>是磁场中某一个面上磁感应强度矢量的通量，若磁场均匀，且与面积垂直，则</p> $\Phi = BS$	<p>是反映磁场与其磁化电流之间依存关系的量。H只与磁化电流的强度与方向有关，与介质的性质无关</p>	<p>是衡量物质磁性能的量。</p> $\mu = \frac{B}{H}$ <p>真空的磁导率： $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ 物质的相对磁导率： $\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0}$</p>
单位	特斯拉 (T) 高斯 (Gs) $1\text{T} = 10^4 \text{Gs}$	韦伯 (Wb) 麦克斯韦 (Mx) $1\text{Wb} = 10^8 \text{Mx}$	A/m	H/m
相互关系	$B = \Phi/S$ (因此 B 又可称为磁通密度)， $B = \mu H$			

二、磁场的一些定律、定则（表 1.2.2）

表 1.2.2 磁场的定律、定则

磁通连续性原理	$\Phi = \oint_S \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S} = 0$	磁场中任一闭合面的总磁通恒等于零
安培环路定律	$\oint_L \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} = \sum I$	磁场强度矢量 \mathbf{H} 沿任一闭合路径的线积分等于穿过此路径所围成的面的电流的代数和
右手螺旋定则	载流直导线周围磁场方向的判断	右手握住导线，大拇指指向电流方向，则弯曲的四指表示磁力线（磁场）的方向
	载流螺管线圈中磁场方向的判断	右手握住螺管线圈，弯曲的四指顺从电流的方向，则拇指指出了磁场的方向
电磁力的计算公式与左手定则	$F = BIl$ (导体方向与磁场方向垂直)	F 为载流直导体（长度为 l ，电流为 I ）在磁感应强度为 B 的磁场中所受的作用力
	电磁力方向的判断——左手定则	平伸左手，大拇指与四指垂直，让磁力线穿过掌心，四指指向电流的方向，则大拇指指向电磁力的方向

续表

电磁感应定律	$u = \frac{d\Psi}{dt} = N \frac{d\Phi}{dt}$ <p>式中 u——回路或线圈中的感应电压。 若以感应电动势表示, 则:</p> $e = - \frac{d\Psi}{dt} = - N \frac{d\Phi}{dt}$	当一个回路或线圈中的磁通发生变化时, 回路或线圈中将产生感应电压。感应电压的大小与磁链(磁通)的变化率成正比 感应电压 u 的方向: 当磁通量增加时, 即 $\frac{d\Phi}{dt} > 0$ 时, u 与 Φ 在方向上符合右手螺旋定则
直导体切割磁力线产生感应电动势的计算公式与右手定则	$E = Blv$ (导体切割磁力线的方向与磁场垂直) 感应电动势方向的判断——右手定则	E 为运动直导体(长度为 l , 运动线速度为 v) 在磁感应强度为 B 的磁场中, 作切割磁力线运动时产生的感应电动势 平伸右手, 大拇指与四指垂直, 让磁力线穿过掌心, 若大拇指指向导体运动的方向, 则四指所指的方向为感应电动势的方向

第二节 磁路基础知识

一、磁路定律

磁路是磁力线集中通过的路径, 磁路一般由铁芯(有时含有气隙)和励磁线圈构成。磁路分为无分支磁路和有分支磁路。图 1.2.1 分别为无分支磁路、有分支磁路和有气隙磁路。

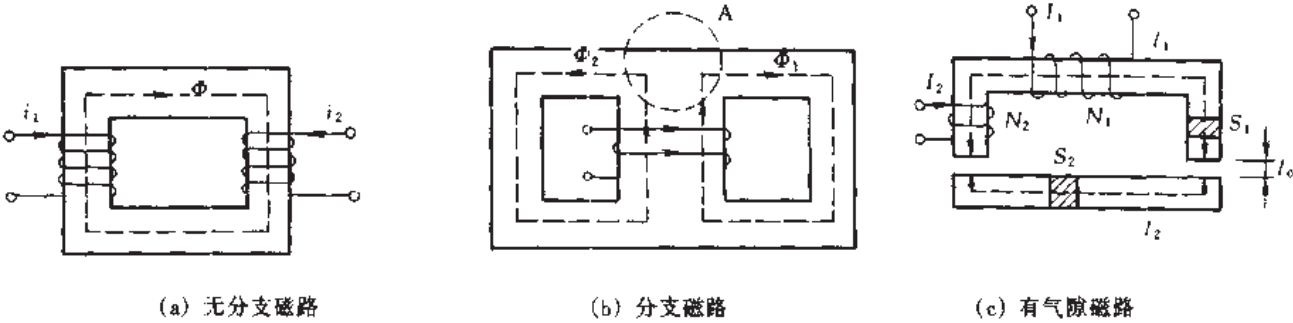


图 1.2.1 磁路形式

磁路定律包含磁路的基尔霍夫定律和磁路的欧姆定律, 它们在形式上与电路的有关定律相似, 见表 1.2.3。

表 1.2.3 磁路定律及与有关电路定律的比较

项 目	磁 路 定 律	电 路 定 律
基尔霍夫第一定律	$\sum \Phi = 0$ 汇集于分支磁路(图 1.2.1 (b))分支处的各部分磁通的代数和为零	$\sum i = 0$ 交汇在电路任一节点上的各支路电流的代数和为零
基尔霍夫第二定律	$\sum Hl = \sum NI$ 或 $\sum U_M = \sum F_M$ 式中: $U_M = Hl$ 称为磁压 $F_M = NI$ 称为磁势 在磁路的任一闭合路径上, 各段磁压的代数和等于各磁势的代数和。例如对图 1.2.1 (c) 磁路有 $H_1 l_1 + H_2 l_2 + 2 H_0 l_0 = N_1 I_1 + N_2 I_2$	$\sum U = 0$ $\sum RI = \sum E$ 在电路的任一闭合路径上, 各段电压的代数和等于零, 或各电阻压降的代数和等于各电动势的代数和
欧姆定律	$\Phi = \frac{U_M}{R_M}$ 其中 R_M 为一段磁路的磁阻 $R_M = \frac{l}{\mu S}$	$I = \frac{U}{R}$ 其中 R 为一段导体的电阻 $R = \rho \frac{l}{S} = \frac{l}{GS}$

二、简单磁路计算

磁路计算分为已知磁势求磁通和已知磁通求产生这些磁通应施加多大的磁势两类问题。由于磁路铁芯材料的磁导率不是常数，磁阻是非线性的，无法采用磁路的欧姆定律直接对以上两类问题进行计算，而必须借助于磁化曲线（ B - H 曲线）。具体计算步骤见表 1.2.4。

表 1.2.4 磁路的计算步骤

步 骤	已知磁势求磁通	已知磁通求磁势
1	<p>（采用试探法计算）</p> <p>先假定一个磁通值 Φ。若磁路中含有气隙时，可认为气隙磁压近似等于全部磁势，计算出近似的磁通值：</p> $\Phi_0 = \frac{NI}{R_{MO}} = NI \frac{\mu_0 S_0}{l_0}$ <p>（S_0、l_0 分别为气隙段的磁路截面积和长度）</p>	<p>先将磁路按同材料、同截面分段，并求出各段的截面积 S 和长度 l，再由磁通 Φ 求出各段的磁感应强度：</p> $B_1 = \frac{\Phi}{S_1} \quad (\text{T})$ $B_2 = \frac{\Phi}{S_2} \quad (\text{T})$ <p>⋮</p>
2	<p>按右边“已知磁通求磁势”方法，取略小于 Φ_0 的值作为第一次磁通值 Φ_1，求出 $(NI)_1$</p>	<p>计算各段的 H：铁磁材料查磁化曲线，空气隙直接利用公式</p> $H_0 = \frac{B_0}{\mu_0} = \frac{B_0}{4\pi \times 10^{-7}} = 8 \times 10^5 B_0 \quad (\text{A/m})$
3	<p>将 $(NI)_1$ 与已知 NI 比较，修正假定磁通值，再重新计算 $(NI)_2$</p>	<p>计算 $\sum HI = H_1 l_1 + H_2 l_2 + \dots$</p>
4	<p>直到求出的 $(NI)_n$ 与给定磁势相接近（在允许偏差范围内）时为止。可认定这一次的 Φ_n 值为所求磁通值</p>	<p>求出 $NI = \sum HI$</p>

三、电磁铁吸力的计算

$$F = 4S_0 B_0^2 \times 10^5 \quad (\text{N})$$

或

$$F = \frac{4\Phi_0^2}{S_0} \times 10^5 \quad (\text{N})$$

式中 B_0 ——气隙中的磁感应强度，T；

Φ_0 ——气隙中的磁通，Wb；

S_0 ——气隙段磁路截面积， m^2 。

第三节 交流铁芯线圈

一、交流铁芯线圈端电压与磁通的关系

图 1.2.2 为一个交流铁芯线圈，忽略线圈电阻。磁通最大值：

$$\Phi_m = \frac{U_m}{N\omega} = \frac{\sqrt{2}U}{N2\pi f} \quad (\text{Wb})$$

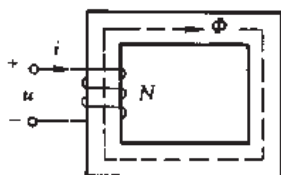


图 1.2.2 交流铁芯线圈

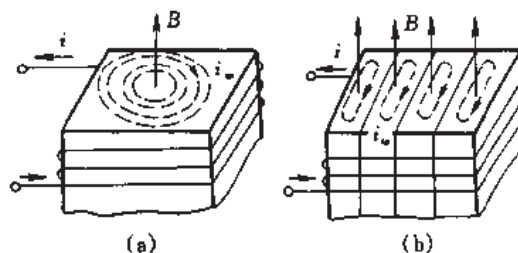


图 1.2.3 涡流损耗

线圈端电压：

$$U = \frac{1}{\sqrt{2}} 2\pi f N \Phi_m = 4.44 f N \Phi_m \quad (\text{V})$$

上面公式表明交流铁芯线圈中的磁通最大值和端电压的有效值成正比，而与磁路的磁阻无关，交流铁芯线圈的这一特性可称为恒磁通特性。

二、铁芯损耗

铁芯在交变电流反复磁化过程中会发热，铁芯内部发热消耗的功率称为铁芯损耗，用 P_e 表示。铁芯损耗包括涡流损耗（图 1.2.3）和磁滞损耗。它们的产生原因、限制措施和经验计算公式见表 1.2.5。

表 1.2.5 涡流损耗和磁滞损耗

项 目	涡流损耗 P_e	磁滞损耗 P_h
产生原因	铁芯中的交变磁通在铁芯中产生的旋涡状的感应电流（涡流），在铁芯电阻上产生功率损耗	交变磁化过程中，磁畴翻转的不可逆性，造成磁滞现象，也造成翻转过程中的功率损耗
经验计算公式	$P_e = K_e f^2 B_m^2 V$ 式中 K_e ——与铁芯电导率和厚度有关的系数； V ——铁芯体积	$P_h = K_h f B_m^n V$ 式中 K_h 是与材料有关的系数。 B_m 的指数 n 与 B_m 的大小有关，一般取值 1.6 ~ 2
减小损耗的措施	采用电工钢片（硅钢片）增大了材料的电阻率，由于层叠片间相互绝缘，又减小了涡流流通的截面积，可减小涡流，减小涡流损耗	采用磁滞回线狭窄的软磁性材料作铁芯，如电工钢片就是这类材料

三、铁芯线圈中的电流波形

由于磁饱和的影响，当交流铁芯线圈上外施电压为正弦波时，磁通也是正弦波，但线圈中的电流却是带尖顶的非正弦波（图 1.2.4）。

再由于磁滞的存在， Φ - i 曲线是一个磁滞回线，使电流波形畸变更严重，而且经过零点的时刻超前于磁通（图 1.2.5）。

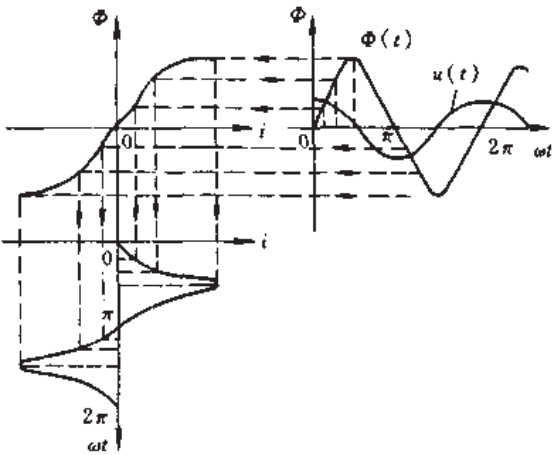


图 1.2.4 磁饱和对电流波形的影响

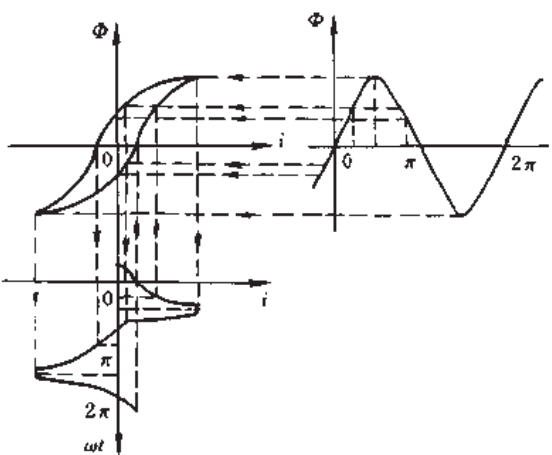


图 1.2.5 磁滞对电流波形的影响

四、交流与直流磁路的比较

以交流电磁铁和直流电磁铁为例进行交直流磁路的比较，见表 1.2.6。电磁铁结构的几种形式见图 1.2.6。交流电磁铁的短路环见图 1.2.7。

表 1.2.6 交流与直流电磁铁比较

项 目	交 流 电 磁 铁	直 流 电 磁 铁
铁芯结构	由电工钢片叠压成	由整块软钢制成
铁芯损耗	有铁芯损耗（磁滞损耗、涡流损耗）	无铁芯损耗
铁芯中磁通	Φ_m 主要取决于外施电压的有效值，与磁路磁阻几乎无关（恒磁通特性）	Φ 的大小与励磁线圈的电流和磁路的磁阻有关（气隙大，磁阻大，磁通小）
电磁吸力	由于 Φ 是变化的， F 也在变化，吸合后有振动噪音。可在铁芯上加短路环（图 1.2.7）减小振动	衔铁吸合后， Φ 一定， F 一定，无振动噪音，也无需装短路环。但吸合初期，气隙较大，吸力较小
励磁电流	在电压一定时，电流有效值并不确定，而是受磁阻大小的影响。气隙大时，磁阻大，铁芯线圈等效电抗小，电流大，吸合后，气隙很小，电流降为较小的正常值	仅取决于外加电压和线圈电阻，不受磁路的影响

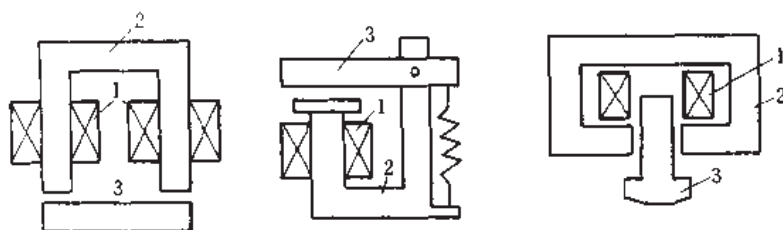


图 1.2.6 电磁铁的几种形式

1—线圈；2—铁芯；3—衔铁

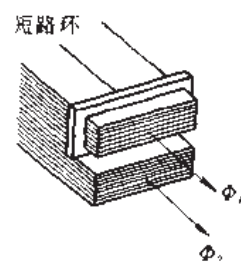


图 1.2.7 交流电磁铁的

短路环

第二篇 电子基础知识

第一章 电子元器件

第一节 半导体器件型号的命名方法

一、国产半导体器件型号的命名方法

根据国家标准 GB 249—74 规定，国产半导体器件的型号由五部分组成，其符号及意义见表 2.1.1。

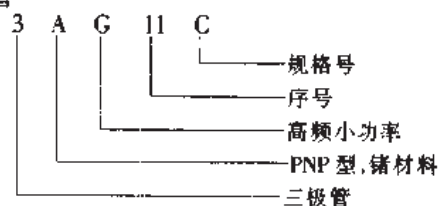
表 2.1.1 国产半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分			第四部分	第五部分
用数字表示器件的电极数目		用汉语拼音字母表示器件的材料和极性		用汉语拼音字母表示器件的类型			用数字表示器件序号	用汉语拼音字母表示区别代号
符号	意义	符号	意义	符号	意义	符号	意义	
2	二极管	A	N 型，锗材料	P	普通管	D	低频大功率管 ($f_a < 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)	
3	三极管	B	P 型，锗材料	V	微波管	A	高频大功率管 ($f_a \geq 3\text{MHz}$, $P_c \geq 1\text{W}$)	
		C	N 型，硅材料	W	稳压管	T	半导体整流管 (可控整流器)	
		D	P 型，硅材料	C	参量管	Y	场效应器件	
		A	PNP 型，锗材料	Z	整流管	B	雪崩管	
		B	NPN 型，锗材料	L	整流堆	J	阶跃恢复管	
		C	PNP 型，硅材料	S	隧道管	CS	场效应器件	
		D	NPN 型，硅材料	N	阻尼管	BT	半导体特殊器件	
		E	化合物材料	U	光电管	FH	复合管	
				K	开关管	PIN	PIN 型管	
				X	低频小功率管 ($f_a < 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)	JG	激光器件	
				G	高频小功率管 ($f_a \geq 3\text{MHz}$, $P_c < 1\text{W}$)			

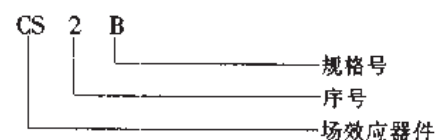
注：场效应器件、半导体特殊器件、复合管、PIN 管、激光器件的型号命名只有第三、第四和第五部分。

示例：

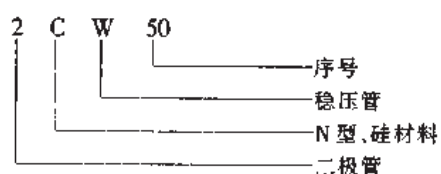
(1) 锗 PNP 型高频小功率三极管



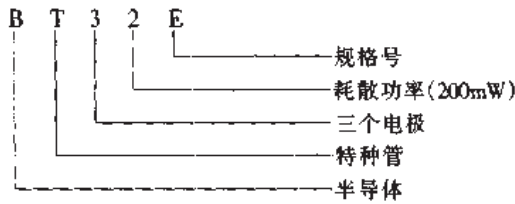
(2) 场效应器件



(3) N 型硅材料稳压二极管



(4) 单结晶体管



二、国外半导体器件型号的命名方法

1. 日本半导体器件型号命名法（表 2.1.2）

表 2.1.2 日本半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义
0	光电二极管或三极管及上述器件的组合管	S	表示半导体	A	PNP 高频三极管及快速开关管	多位数字	序号	A	同一种型号的改进型
1	二极管			B	PNP 低频及大功率三极管			B	
2	三极管或具有三个电极的其他器件			C	NPN 高频及快速开关三极管			C	
3	有四个有效电极的器件			D	NPN 低频大功率三极管			D	
⋮				F	P 控制极可控硅			⋮	
⋮				G	N 控制极可控硅				
⋮				H	N 基极单结晶体管				
⋮				J	P 沟道场效应管				
⋮				K	N 沟道场效应管				
n-1	有 n 个有效电极的器件			M	双向可控硅				

示例：2SA495 为 PNP 高频三极管；2SC388A 为 NPN 高频三极管改进型

注： $f_c > 5\text{MHz}$ 为高频管， $P_c > 1\text{W}$ 为大功率管。

2. 欧洲半导体器件型号命名法（表 2.1.3）

表 2.1.3 欧洲半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分	
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义
A	锗材料	A	检波二极管，开关二极管，混频二极管	M	封闭磁路的霍尔元件	三位数字	通用半导体器件的序号
B	硅材料	B	变容二极管	P	光敏器件		
C	砷化镓	C	低频小功率三极管	Q	发光器件		
D	碲化银	D	低频大功率三极管	R	小功率可控硅		
R	复合材料	E	隧道二极管	S	小功率开关管		
		F	高频小功率三极管	T	大功率可控硅	一个字母二位数字	专用半导体器件的序号
		G	复合器件及其他器件	U	大功率开关管		
		H	磁敏二极管	X	倍增二极管		
		K	开放磁路的霍尔元件	Y	整流二极管		
		L	高频大功率三极管	Z	稳压二极管		

示例：AA118 为锗普通二极管；BF169A 为硅高频小功率三极管 169 器件的 A 档

注：小功率指热阻 $R_T \geq 15^\circ\text{C/W}$ ，大功率指热阻 $R_T < 15^\circ\text{C/W}$ 。

3. 美国半导体器件型号命名法（表 2.1.4）

表 2.1.4 美国半导体器件型号命名法

第一部分		第二部分		第三部分		第四部分		第五部分	
符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义	符号	意 义
JAN	军用品	1	二极管	N	半导体器件 (已注册登记)	多位数字	序号	A	同一型号器件的不同档别
或 J		2	三极管					B	
		3	三个 PN 结器件					C	
无	非军用品	n	n 个 PN 结器件					D	

示例：1N459 为二极管；2N1531 为三极管；JAN2N3553 为军用品三极管

4. 前苏联半导体器件型号命名法（表 2.1.5）

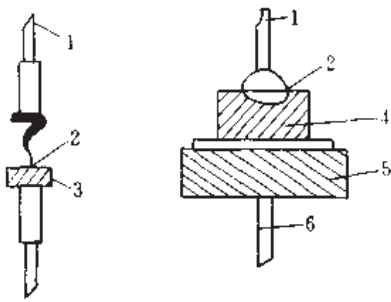
表 2.1.5 前苏联半导体器件型号命名法

第一部分			第二部分		第三部分										第四部分	
器件使用材料			器件的类型		器件的基本参数分类										同类分档标志	
符号	意义		符号	意义	器件的类型	101 ~ 199	201 ~ 299	301 ~ 399	401 ~ 499	501 ~ 599	601 ~ 699	701 ~ 799	801 ~ 899	901 ~ 999	符号	意义
字母 r 或 数字 1	锗或 锑的化 合物		T	三极管	三极管及 场效应管	低频 小功率	中频 小功率	高频与特高 频小功率	低频 中功率	中频 中功率	高频与特高 频中功率	低频大 功率	中频大 功率	高频与特高 频大功率	A	代表同 型号的不同 档别
			П	场效应管	二极管 (τ 恢复: ps)	整流用 小功率	整流用 中功率		通用低频	开关用 $\tau > 150$	开关用 $150 \geq \tau > 30$	开关用 $30 \geq \tau > 5$	开关用 $5 \geq \tau > 1$	开关用 $1 \geq \tau$	B	
			Д	二极管	特高频 二极管	混频	检波		参量	调制	阶跃	振荡			B	
			Л	整流器件											Г	
			А	特高频二极管											Д	
字母 K 或 数字 2	硅或 硅的化 合物		B	变容二极管	整流器件	整流柱 小功率	整流柱 中功率	整流堆 小功率	整流堆 中功率						Г	代表同 型号的不同 档别
			И	隧道二极管 反向二极管	隧道二极管	放大	振荡	开关	反向						Д	
			Н	可控硅											Д	
			У	双向可控硅	变容二极管	电调谐	阶跃								Е	
			Л	发光器件											Е	
字母 A 或 数字 3	镓或 铟的化 合物		Г	噪声发生器	可控硅	通用 小功率	通用 中功率	可关断 小功率	可关断 中功率	双向 小功率	双向 中功率				Е	代表同 型号的不同 档别
			Б	霍尔(Гальв) 二极管	发光器件 $B: \text{cd}/\text{m}^2$	红外光	可见光 $B < 500$	可见光 $B > 500$							Ж	
			К	稳压管	稳压管 $V_z: V$	小功率 $V_z < 10$	小功率 $10 \sim 99$	小功率 $100 \sim 199$	中功率 $V_z < 10$	中功率 $10 \sim 99$	中功率 $100 \sim 199$	大功率 $V_z < 10$	大功率 $10 \sim 90$	大功率 $100 \sim 199$	Ж	
			С	稳压管											Ж	
															Ж	

示例: Д107Б 为锗二极管; Д806А 为锗二极管; 2С182Ж 为硅稳压管

第二节 晶体二极管

晶体二极管是由一个PN结加上正负电极引线和管壳做成的。二极管的种类很多，按照PN结构可分为点接触型和面接触型两种。见图2.1.1。



(a) 点接触型 (b) 面接触型
图 2.1.1 二极管内部结构
1—引线；2—P型区；3—N型硅片；
4—N型硅片；5—支架；6—引线

图2.1.1 (a) 是点接触型二极管的内部结构。由于PN结面积很小，允许通过的电流不大，一般在几十毫安以下，但它的极间电容很小，工作频率可达 $10^2 \sim 10^5$ MHz。这种类型二极管适用于小电流整流、检波、限幅和计算机里的开关电路等。

图2.1.1 (b) 是面接触型二极管的内部结构。由于PN结面积较大，允许通过的电流很大，从100mA到几百安培，但它的极间电容较大，工作频率较低，一般在100kHz以下。这种类型的二极管主要作功率整流。

一、晶体二极管的特性和简易测试

1. 二极管的特性

二极管的主要特性就是单向导电性。这可以用二极管两端的电压与通过管子的电流之间的关系曲线——伏安特性曲线来表示，见图2.1.2。由图可见，二极管的伏安特性可分为正向导通区（Ⅰ段）、反向截止区（Ⅱ段）和反向击穿区（Ⅲ段）。在工作时只有当正向电压大于A点值后，才有较大的正向电流。A点的电压称为死区电压，一般硅管为0.5~0.7V，锗管为0.1~0.3V。当管子加反向电压时只有很小的反向饱和电流。反向电流越小，单向导电性能越好，一般硅管在几十微安以下，锗管可达几百微安。当反向电压增加到大于B点值时，反向电流会突然增加许多倍，很容易将PN结烧坏。B点的电压称为反向击穿电压。一般二极管是不能工作在这个区段的。

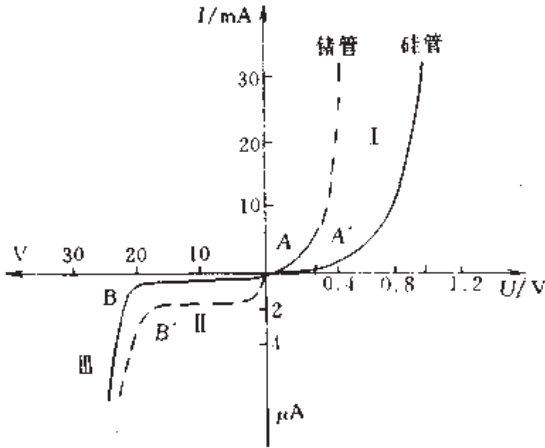


图 2.1.2 晶体二极管的伏安特性曲线

2. 二极管的简易测试

晶体二极管简易测试方法见表2.1.6。

表 2.1.6 晶体二极管简易测试方法

项 目	正 向 电 阻	反 向 电 阻
测试方法		
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∞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⊖端（黑表笔）连接二极管的阳极，因为⊖端与万用表内电池正极相连	万用表⊖端（黑表笔）连接二极管的阴极

二、晶体二极管的应用

1. 整流

整流是把交流电流变成单向脉动电流。图 2.1.3 是利用二极管单向导电性进行半波整流的例子。

2. 检波

检波是从高频调幅信号中提取低频调制信号。

图 2.1.4 是具有这种功能的检波电路。

检波与整流在本质上是一样的，不同之处在于，整流一般是指低频大电流的情况，而检波则是对高频小电流而言。

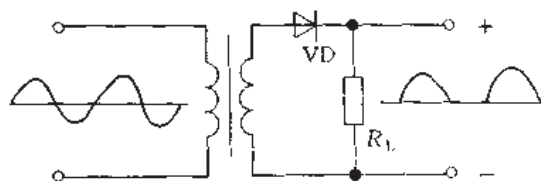


图 2.1.3 二极管整流原理

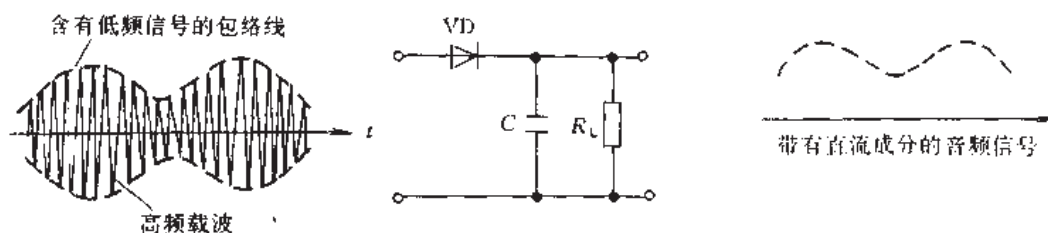


图 2.1.4 二极管检波原理

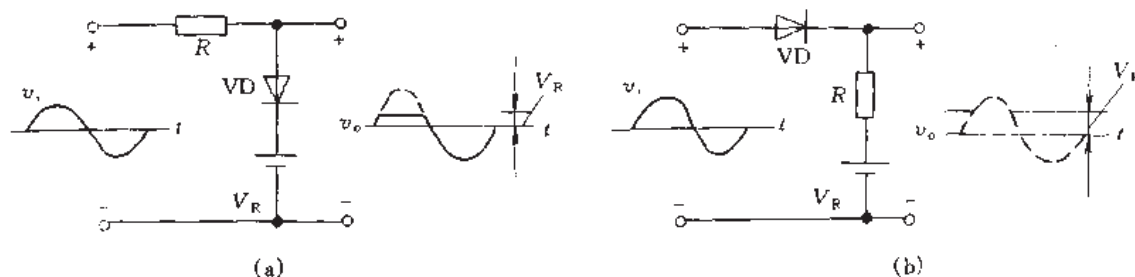


图 2.1.5 二极管限幅原理

3. 限幅

限幅就是只把输入波形的一部分传输到输出端，而对另一部分加以限制。在图 2.1.5 (a) 的限幅电路中，若忽略二极管的正向电压和反向电流，则当 $v_i < V_R$ 时，VD 断开， v_o 与 v_i 一致；当 $v_i \geq V_R$ 时，VD 导通， v_o 的幅度限制在 V_R 电平上，波形顶部被削去。在图 2.1.5 (b) 的电路中，情况相反， v_i 超过 V_R 的部分被保留，小于 V_R 的部分被削去。在有些场合，还常常用两个二极管组成双向限幅电路。

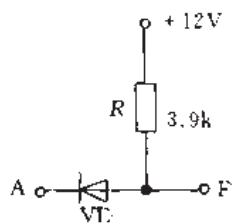


图 2.1.6 二极管钳位原理

4. 钳位

把电路中的某点电位钳制在固定的数值上，如图 2.1.6 所示。

5. 稳压

电流变化时电压基本不变。利用二极管反向击穿时电流剧增而电压比较固定的特点，并经过专门工艺处理，可以制成稳压二极管，其击穿电压比普通二极管低（约几伏至几十伏），因此允许通过较大的电流而不损坏，同时其反向特性也更陡。为与普通二极管相区别，稳压管采用图 2.1.7 (a) 所示的符号。图 2.1.7 (b) 是一个硅稳压管稳压电路。

6. 调谐

代替机械式的可变电容器，因为二极管存在着电容的效应。随着反向电压的变化，空间电荷区的宽度发生变化，二极管的电容量也随之变化。根据这个特点，可以制成变容二极管，在反向电压下工作，既不击穿，也不正向导电，在无线电接收设备中，用它达到自动调谐的目的。

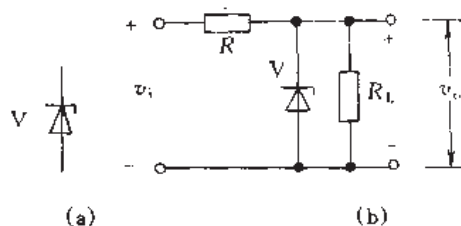


图 2.1.7 二极管稳压原理

此外，利用二极管的热敏特性，可以在电路中实现温度补偿；利用二极管的光敏特性，可以制成光电二极管来实现光电转换；还可以用二极管实现隔离、保护、整形等各种功能。

三、晶体二极管的主要参数

(1) 反向峰值击穿电压 U_B 锗检波、开关管在给定的反向电流下的电压值；硅整流、开关管反向为硬特性时，其反向伏安特性曲线急剧弯曲点的电压值（峰值）。

(2) 反向工作电压 U_R 锗检波、硅开关二极管通过规定的反向电流（ I_R ）在极间产生的电压。硅整流管等于或小于 $2/3$ 的击穿电压 U_B 值。

(3) 正向电压降 U_F 通过规定的正向电流时在极间所产生的电压降。

(4) 正向直流电流 I_F 锗检波、开关管通过规定的正向电压（ U_F ）在极间通过的电流；硅整流管在规定的条件下，在正弦半波中允许连续通过的最大工作电流（平均值）；硅开关管在额定功率下允许通过的二极管的最大正向直流电流。

(5) 反向直流电流（反向漏电流） I_R 硅开关管两端加上反向工作电压 U_R 值时通过的电流；整流管正弦半波最高反向工作电压下的漏电流。

四、桥式整流器

全桥是一种整流组合件。把4只（或6只）整流二极管按全波桥式整流电路的连接方式封装在一起的组合件，称全桥，见图2.1.8。常见的QL型单相桥式整流组合管技术参数和SQL型三相桥式整流组合管技术参数见表2.1.7和表2.1.8。

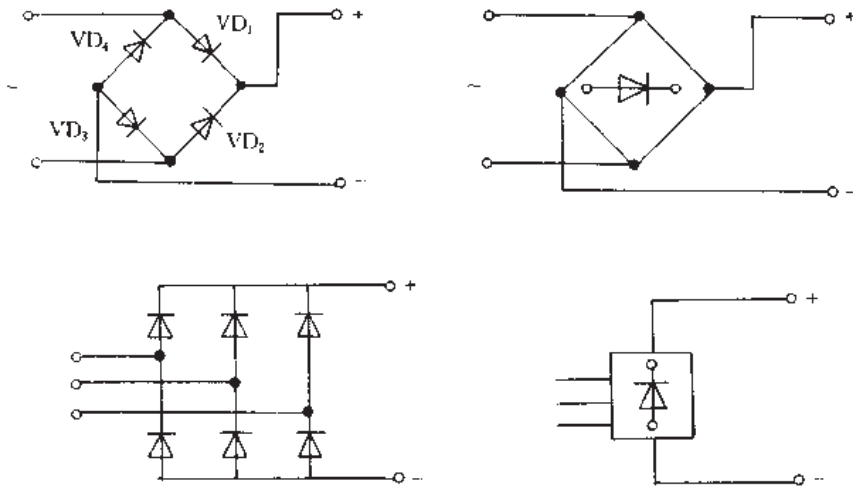


图 2.1.8 桥式整流器

表 2.1.7 QL 型单相桥式整流组合管技术参数

型号	技术参数	正向平均电流 /A	浪涌电流 /A	反向重复峰值电压 /V	反向平均电流 /μA	正向平均压降 (对臂) /V	额定结温 /℃	冷却方式
QL5		0.5	5	50 ~ 600	≦ 200	1.2	- 40 ~ + 125	自冷
QL6		1	10	50 ~ 600				
QL7		2	20					
QL8		3	30					
QL9		5	55	50 ~ 1000	≦ 400			
QL10		10	105					
QL11		15	160					
QL12		20	210					
QL13		25	260					
QL14		40	300	50 ~ 1000	≦ 2000			强迫风冷
QL16		60	540		≦ 4000			
QL18		100	900					

表 2.1.8 SQL 型三相桥式整流组合管技术参数

型号	技术参数	正向平均电流 /A	浪涌电流 /A	反向重复峰值电压 /V	反向平均电流 /μA	正向平均压降 (对臂) /V	额定结温 /℃	冷却方式	
SQL6		1	7	50 ~ 600	≦ 300	≦ 1.2	- 40 ~ + 125	自冷	
SQL7		2	15						
SQL8		3	20						
SQL9		5	35	50 ~ 1000	≦ 400				强迫风冷 5m/s
SQL10		10	50		≦ 600				
SQL12		20	120						
SQL14		40	240		≦ 800				
SQL16		60	360		≦ 5000				
SQL18		100	600						

第三节 晶体三极管

由两个 PN 结加上相应的电极引线就组成了晶体三极管，三个电极分别称为发射极 e、集电极 c 和基极 b。

晶体三极管有硅平面管和锗合金管两种，每种又有 NPN 型和 PNP 型两种结构形式。其结构和符号见表 2.1.9。

表 2.1.9 晶体三极管的结构和符号

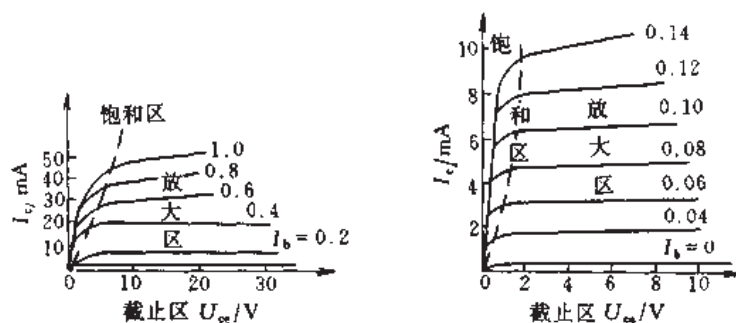
型 式	PNP 型	NPN 型
结构示意图		
	高频锗合金管	高频硅平面管
原理图		
符号		

一、晶体三极管的特性及工作状态

1. 特性

晶体管的伏安特性可以全面地反映各电极间的电压与电流的关系,常用的是共发射极输入、输出特性。

输入特性是指加在晶体管基极与发射极之间的电压 U_{be} 和它产生的基极电流 I_b 之间的函数关系。输出特性是指对应某确定的基极电流 I_b ,晶体管的集电极电流 I_c 与加在集电极-发射极间的电压 U_{ce} 之间的函数关系。在实际工作中输出特性更为有用,见图 2.1.9。



(a) 3DG4C (硅管) 输出特性

(b) 3AG25 (锗管) 输出特性

图 2.1.9 晶体三极管的输出特性

2. 工作状态

由输出特性可见,特性曲线分为三个区,分别对应三极管的三种工作状态,即截止状态、放大状态和饱和状态。这三种工作状态的特点及参数变化范围见表 2.1.10。

表 2.1.10 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	<p>约 $+0.3 \sim -0.2V$</p>	<p>约 $-0.2 \sim -0.3V$</p>	<p>小于 $0.3V$</p>
NPN 型	<p>约 $-0.3 \sim +0.5V$</p>	<p>约 $+0.5 \sim +0.7V$</p>	<p>大于 $+0.7V$</p>

续表

工作状态	截止状态	放大状态	饱和状态
参数范围	$I_b \leq 0$ (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	$I_b > \frac{E_c}{\beta R_c}$
	锗管的 U_{be} 约为 $+0.3 \sim -0.2V$ 硅管的 U_{be} 约为 $-0.3 \sim +0.5V$	锗管的 U_{be} 约为 $-0.2 \sim -0.3V$ 硅管的 U_{be} 约为 $+0.5 \sim +0.7V$	锗管的 U_{be} 比 $-0.3V$ 更负, 硅管的 U_{be} 大于 $+0.7V$
	硅管几微安以下 $I_c \leq I_{\infty}$ 锗管 $\begin{cases} \text{几十微安} \\ \text{几百微安} \end{cases}$	$I_c = \beta I_b + I_{ceo}$	$I_c \approx E_c / R_c$
	$U_{ce} \approx E_c$	$U_{ce} = E_c - I_c R_c$	$U_{ce} \approx 0.2 \sim 0.3V$ (管子饱和压降)
工作状态的特点	当 $I_b \leq 0$ 时, I_c 很小 (小于 I_{ceo}), 三极管相当于开断, 电源电压 E_c 几乎全部加在管子两端	I_b 从 0 逐渐增大, 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, 管子起放大作用	I_c 不再随 I_b 的增加而增大, 管子两端压降很小, 电源电压 E_c 几乎全部加在负载电阻 R_c 上

3. 基本接法

根据输入信号和输出信号的公共点不同, 三极管有共发射极、共集电极和共基极三种接法。各种接法和性能比较见表 2.1.11。

表 2.1.11 晶体三极管三种电路接法和性能比较

电路名称	共发射极电路	共集电极电路 (射极输出电路)	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	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 200 倍)	大 (几十到 200 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	较差	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	需要两个独立电源
应用范围	放大、开关等电路	阻抗变换电路	高频放大、振荡

注: NPN 型三种接法的电源极性与 PNP 型相反。

二、晶体三极管的简易测试

三极管电极的判别方法见表 2.1.12。三极管性能的判别方法见表 2.1.13。

表 2.1.12 三极管电极的判别方法

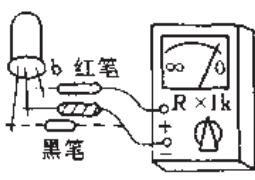
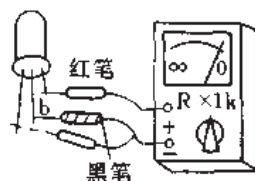
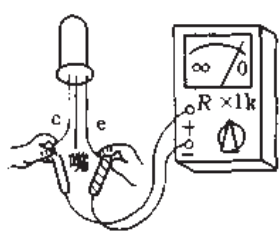
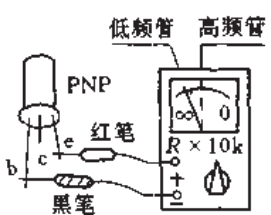
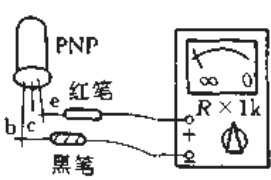
项 目	方 法	说 明
第一步 判别基极		<p>可把三极管看作两个二极管来分析。将万用表的 + 端（红笔）接某一管脚，用一端（黑笔）分别接另外两管脚。这样可有三组（每组二次）读数，当其中一组二次测量的阻值均小时（指针指在右端），则 + 端所连接的管脚即为 PNP 型管子的基极</p>
		<p>方法同上，但以 - 端（黑笔）为准，用 + 端（红笔）分别接另外两管脚，当其中一组二次测量的阻值均小时，则 - 端所连接的管脚为 NPN 型管子的基极</p>
第二步判别集电极		<p>利用三极管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个表笔接到管子的另外两脚，用嘴含住基极（利用人体电阻实现偏置），看准表针位置，再将表笔对调，重复上述测试，比较两次指针位置。对于 PNP 型管子，阻值小的一次，+ 端所接的即为集电极；对于 NPN 型管子，阻值小的一次，一端所接的即为集电极</p>

表 2.1.13 三极管 (PNP) 性能的判别方法

项 目	方 法	说 明
穿透电流 I_{ceo}		<p>用 $R \times 1k$ (或 $R \times 100$) 档测集电极-发射极反向电阻，指针越靠左端（阻值越大），说明 I_{ceo} 越小，管子性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大；高频管比低频管阻值大；小功率管比大功率管阻值大。低频小功率管约在几千欧以上</p>
电流放大系数 β		<p>在进行上述测试时，如果用嘴含住基极（或在基极-集电极间接入 $100k\Omega$ 电阻），集电极-发射极的反向电阻便减小，万用表指针将向右偏转，偏转的角度越大，说明 β 值越大</p>

续表

项 目	方 法	说 明
稳定性能		在判别 I_{∞} 同时, 用手捏住管子, 受人体体温影响, 管子集电极-发射极反向电阻将有所减小。若指针变化不大, 则管子稳定性较好。若指针迅速向右端偏转, 则管子稳定性较差

注: 测 NPN 管时将万用表的表笔对调即可。

用万用表判别三极管是 PNP 型还是 NPN 型时可参看表 2.1.12 中“第一步判断基极”一栏。

三、晶体三极管的应用

晶体三极管的应用很广泛, 它可以组成各种放大器、振荡器、开关电路和稳压电路等。不同的场合, 对晶体管的性能、工作状态的要求是不一样的, 所以要根据使用情况选择合适的晶体管。

① 工作处于放大状态的晶体管, 首先要考虑信号在放大过程中应尽量减少失真, 为此必须给晶体管设置合适的静态工作点。

② 用于高、中频放大、振荡用的晶体管, 主要考虑在工作到较高频率时, 仍有较高的功率增益, 或保持稳定的振荡, 应当选用特征频率 f_T 较高、极间电容较小的高频晶体管。

③ 用于前置级放大的晶体管, 主要应考虑功率放大倍数要大些, 充分发挥这一级晶体的最大效能, 以便减少放大器的级数, 因此应选用 β 数值较大些的管子为好。 β 值一般在 40~100。

④ 用于低频功率放大的晶体管, 主要应考虑在信号容许失真范围内和管子容许耗散功率的情况下, 尽量提高输出功率和放大器的效率。

功率放大级的效率与放大器的静态工作点所在的区域有关。根据静态工作点所在区域的不同, 可将放大器的工作状态分为甲、乙和甲乙等几类。甲类放大是指工作点在放大区内, 信号放大不产生大的失真, 集电极电流在信号整个周期都有。乙类放大是指在工作点的截止区, 输入信号只有半个周期得到放大, 另半个周期截止。甲乙类是指工作点虽在放大区, 但已靠近截止区了, 工作情况介于甲、乙类之间。常用的单管功率放大器属甲类, 推挽功率放大器属甲乙类。

⑤ 用于开关状态的晶体管, 主要应考虑提高开关速度和降低饱和压降。为此要选择 t_{on} (开启时间)、 t_{off} (关断时间) 和 U_{∞} (集-射极饱和压降) 都较小的管子, 如开关晶体三极管。

四、晶体三极管的主要参数

1. 直流参数

(1) 共发射极直流电流放大系数 h_{FE} 或 $\bar{\beta}$ 在没有交流信号输入时, 共发射极电路的输出直流电流 (集电极直流电流) 与输入直流电流 (基极直流电流) 的比值, 即:

$$h_{FE}(\bar{\beta}) = I_c / I_b$$

(2) 集电极-基极反向截止电流 I_{cbo} 。发射极开路, 集电极-基极间的电压为规定值时的集电极电流。在室温下, 小功率锗管的 I_{cbo} 约为 $10\mu A$ 左右, 大功率锗管的 I_{cbo} 可达数毫安, 而硅管的 I_{cbo} 则是同功率锗管的 $1/100 \sim 1/1000$ 。

(3) 集电极-发射极反向截止电流 I_{ceo} 。基极开路, 集电极-发射极间的电压为规定值时的集电极电流。一个管子的 I_{ceo} 大约是它的 I_{cbo} 的 β 倍。 I_{ceo} 和 I_{cbo} 受温度影响极大, 是衡量管子热稳定性的重要参数, 其值越小, 性能越稳定。

2. 交流参数

(1) 共发射极交流电流放大系数 h_{fe} 或 β 在共发射极电路中, 输出电流 (集电极电流) 与输入电流 (基极电流) 的变化量之比, 即:

$$h_{fe}(\beta) = \Delta I_c / \Delta I_b$$

一般晶体管的 h_{fe} 大约在 10~200 之间, h_{fe} 太小, 电流放大作用差; h_{fe} 太大, 电流放大作用虽然大, 但性

能往往不稳定。

(2) 电流放大系数截止频率 f_{β} 、 f_{α} 。当电流放大系数（共发射极为 β ，共基极为 α ）下降到低频（1000Hz）值的 0.707 时的频率称为 f_{β} 和 f_{α} ，它表示低频管的频率性能。通常低频管的 $f_{\alpha} < 3\text{MHz}$ ，高频管的 $f_{\alpha} > 3\text{MHz}$ ，而 $f_{\beta} \approx (1 - \alpha)f_{\alpha}$ 。

(3) 特征频率 f_T 。当 β 下降到 1 时（即输出电流等于输入电流）的频率，它表示高频管的频率性能。同样的 β ，管子 f_T 越高，高频放大性能越好，高频管 f_T 一般大于 10MHz，有的可达几百兆赫。

3. 极限参数

(1) 集电极最大允许电流 I_{cm} 。当晶体管参数变化不超过规定值时，集电极所允许承受的最大电流。一般 I_{cm} 是指 β 值下降到额定值的 2/3 或 1/2 时的 I_c 值。管子的实际工作电流 I_c 并不是绝对不能超过 I_{cm} ，但 $I_c > I_{cm}$ 后管子的放大倍数将显著下降。

(2) 集电极-发射极反向击穿电压 BU_{ceo} 。基极开路时，集电极和发射极之间的最大允许电压。一般的 BU_{ceo} 值是在室温 25℃ 时测得的，当管子温升至最高允许值时，该电压将大约降低一半。

(3) 集电极最大允许耗散功率 P_{cm} 。晶体管工作时，保证参数变化在规定允许范围内的最大集电极耗散功率。管子实际耗散功率等于集电极直流电压和电流的乘积，即 $P_c = U_{CE} I_c$ 。使用时应使 $P_c < P_{cm}$ 。 P_{cm} 与散热条件有关，温度升高时 P_{cm} 将下降，加大散热面积可大大提高 P_{cm} 。

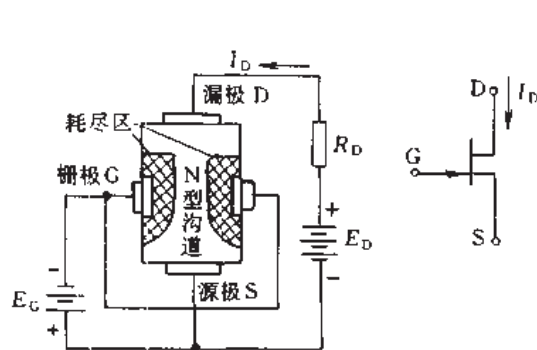
第四节 场效应晶体管

场效应晶体管是由一个反向偏置的 PN 结组成的半导体器件。它有三个极：栅极 G、漏极 D 和源极 S，分别与晶体三极管的基极、集电极和发射极相对应。外形与三极管也很相似，但工作原理却有本质的不同，场效应管是电压控制元件，即在一定条件下它的漏极电流只取决于栅极电压。因此场效应管的输入电阻非常高，可达 $10^9 \sim 10^{15} \Omega$ ，这是一般晶体管所达不到的。另外它还具有噪音低、动态范围大和抗干扰强、抗辐射能力强等特点，是较理想的电压放大和开关器件。

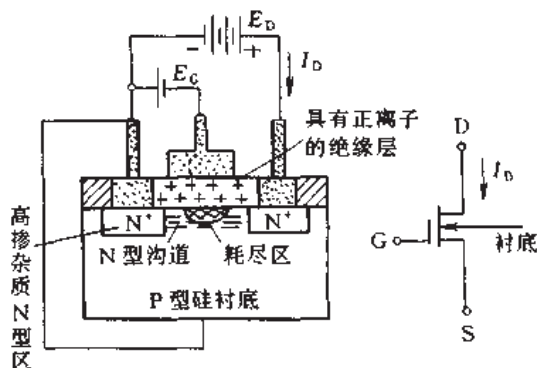
一、场效应晶体管的结构和特性

1. 结构

场效应管按结构形式，可分为结型场效应管和绝缘栅型场效应管，见图 2.1.10 和图 2.1.11。无论哪种结构场效应管都有 N 型和 P 型两种导电沟道，分别以耗尽型和增强型两种极性的方式工作。当栅压为零时有较大漏极电流的称为耗尽型；当栅压为零，漏极电流也为零，必须再加一定的栅压之后才有漏极电流的，称为增强型的工作方式。各种类型场效应管的结构、工作方式、符号及工作电压极性见表 2.1.14。



(a) 结构示意图 (b) 符号
图 2.1.10 结型 (N 沟道) 场效应管的结构及符号



(a) 结构示意图 (b) 符号
图 2.1.11 绝缘栅型 (N 沟道耗尽型) 场效应管的结构及符号

2. 特性

场效应管的性能可以用特性曲线来表示。栅极电压 U_{GS} 与漏极电流 I_D (U_{DS} 一定时) 之间的关系曲线称为转移特性，它反映栅极电压对漏极电流的控制能力；漏极电压 U_{DS} 与漏极电流 I_D (U_{GS} 一定时) 的关系曲线称为漏极特性，它反映漏极的工作能力。下面以结型场效应管为例简要说明场效应管的特性曲线。

表 2.1.14 场效应管的结构分类和特性

结构类型	结 构 型		绝 缘 栅 型 (MOS 型)			
	N 沟道	P 沟道	P 沟道		N 沟道	
工作方式	耗 尽 型	增 强 型	耗 尽 型	增 强 型	耗 尽 型	增 强 型
符号						
电压极性	U_{GS}	-	+	-	+、0 或 -	-、0 或 +
	U_{DS}	+	-	-	-	+
漏极特性						
转移特性						

① 结型场效应管的转移特性见图 2.1.12 (a)。当栅极电压 $U_{GS} = 0$ 时的漏极电流称为饱和漏电流, 用 I_{DSS} 表示。 U_{GS} 变负时, I_D 逐渐减小, 当 I_D 接近于零时的栅极电压称为夹断电压, 用 U_P 表示。

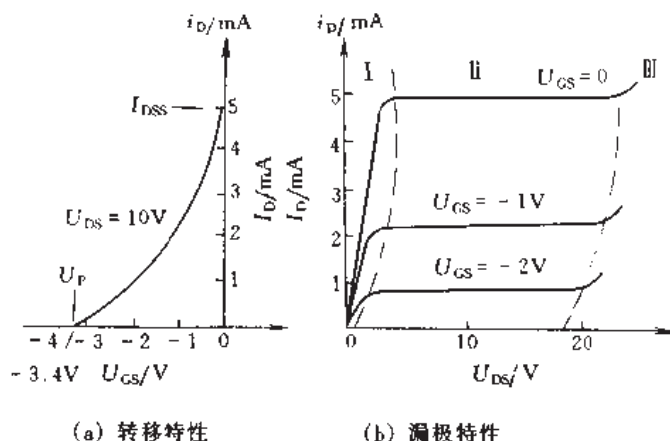


图 2.1.12 结型场效应管的特性曲线

② 结型场效应管的漏极特性见图 2.1.12 (b)。由图可见特性分成三个区域。

- 可变电阻区 I。这个区域里 U_{DS} 比较小, 沟道电阻随栅压 U_{GS} 而改变。
- 饱和区 II。这个区域里, 一定的栅极电压 U_{GS} 对应的漏极电流 I_D 达到了饱和值。对于不同的 U_{GS} , 漏极特性曲线近似平行, 即 I_D 与 U_{GS} 成线性关系。场效应管的放大作用就工作在这个区域里。
- 击穿区 III。如果 U_{DS} 继续增加, 使 PN 结超过了它所能承受的电压极限而被击穿, 使用时应当避免。

二、场效应晶体管的应用

1. 作交流放大器

图 2.1.13 是晶体管扩大机的输入级电路。

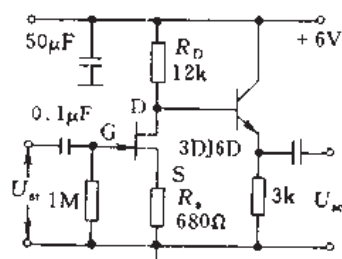
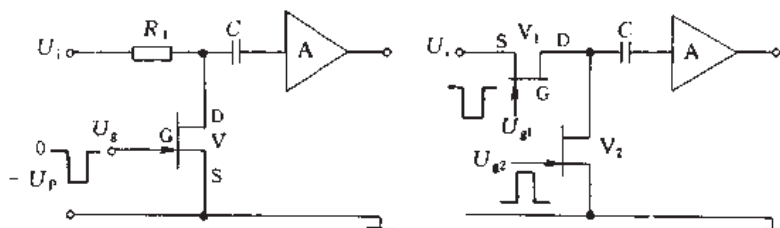


图 2.1.13 场效应管交流放大器



(a) 单管斩波器

(b) 双管斩波器

图 2.1.14 结型场效应管斩波器

2. 作斩波开关和模拟开关

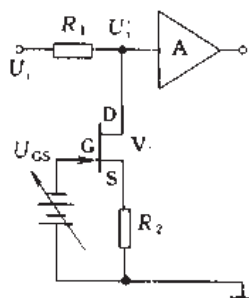


图 2.1.15 结型场效应管可变衰减器原理图

由于场效应管在导通时具有较小的压降和残余电流, 可构成较理想的斩波开关电路。图 2.1.14 是两种典型的结型场效应管斩波器, 这时管子工作在可变电阻区。

3. 作为压控电阻

由于场效应管是一种电压控制器件, 利用这一特性可作压控电阻, 用于电子衰减器等电路中。图 2.1.15 是一个电子衰减器的原理图, 其衰减倍数为:

$$\frac{U'_i}{U_i} = \frac{R_2 + R_{DS}}{R_1 + R_2 + R_{DS}}$$

改变 U_{GS} 可控制 R_{DS} 大小, 从而改变衰减倍数。当 U_{GS} 在 0 至 U_P 之间变化时, R_{DS} 可在几百欧以内至几兆欧之间变化, 因而衰减的范围很宽。

4. 场效应管使用时注意事项

① 当场效应管作放大器应用时, 需要设置适当的偏置电压才能正常工作。通常是调整源极电阻 R_s 的值, 使静态时的 U_{GS} 约为管子的夹断电压 U_P 的一半。

② 场效应管选用时, 除注意各种实际工作值不应超过管子允许的参数值外, 还应考虑使用管子的合理性。当输入信号较大时, 应选择饱和漏电流 I_{DSS} 和夹断电压 U_P 较大的管子, 充分利用其大的动态范围; 当输入信号较小时, 应选 I_{DSS} 和 U_P 较小的管子, 以减小功耗。

③ 由于 MOS 管输入阻抗非常高, 在栅极上感应出来的电荷很难泄放, 电荷的累积使电压升高, 易使管子尚未使用就已击穿。因此, MOS 管在使用时必须注意下列几点:

a. 保存时, 应将三个电极短路, 焊接时, 应先焊源极, 后焊栅极和漏极, 焊完后才能将短路线去掉, 最好利用电烙铁的余热焊接;

b. 测试安装时所用的仪器、电烙铁及线路装置必须接地, 使用四引线的 MOS 管, 其 S_s 端应接地。

④ 在要求输入阻抗较高的阻抗变换器等线路中, 必须采取严格防潮措施和保持电极或线路板上的清洁, 以免降低输入阻抗。

三、场效应晶体管的型号及主要参数

(1) 夹断电压 U_P 在规定的漏源电压 U_{DS} 下, 使沟道夹断的栅源电压 U_{GS} 值或使漏源电流 I_{DS} 等于某一微小电流时的栅源电压 U_{GS} 。

(2) 饱和漏电流 I_{DSS} 在栅源极短路条件下, 漏源间所加的电压大于 U_P 时的漏极电流。

(3) 击穿电压 BU_{DS} 漏源极间所能承受的最大电压。即漏极饱和电流开始上升, 进入击穿区时的 U_{DS} 。

(4) 直流输入电阻 R_{GS} 在一定的栅源电压下, 栅源 PN 结反向偏置时的直流电阻。结型管的 R_{GS} 约 $10^7 \sim 10^8 \Omega$, MOS 管的 R_{GS} 可达 $10^9 \Omega$ 以上。这一特性有时以流过栅极的电流 I_G 来表示。

(5) 低频跨导 g_m 在饱和区内 U_{DS} 为某一定值时, 漏极电流的微变量 ΔI_{DS} 与引起这个变化的栅源电压微变量 ΔU_{GS} 之比, 称为跨导。即 $g_m = \Delta I_{DS} / \Delta U_{GS}$ 。它是衡量场效应管电压控制能力大小的重要参数。常以 U_{GS} 变化 1V 时, I_{DS} 相应变化多少微安或毫安来表示。

(6) 开启电压 U_T 当 U_{DS} 为一定值时, 当 I_{DS} 随 U_{GS} 增加到 $1\mu A$ 时的 U_{GS} 值, 称为 U_T 。N 沟道 MOS 管的 U_T 一般为 $+1 \sim +3V$; P 沟道的 U_T 一般为 $-2 \sim -5V$ 。

常用的场效应晶体管的型号及主要参数见表 2.1.15、表 2.1.16 和表 2.1.17。

表 2.1.15 常用结型场效应晶体管的型号及主要参数

参数名称 型号		饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏 源电压	最大栅 源电压	最大漏 源电流	最大耗 散功率	管脚图
参数符号	用 途	I_{DSS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	g_m $/(\mu A/V)$	BU_{DS} $/V$	BU_{GS} $/V$	I_{DSM} $/mA$	P_{Dmax} $/mW$	
测试条件		$U_{DS} = 10V$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10V$ $I_{DS} = 50\mu A$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10V$	$U_{DS} = 10V$ $I_{DS} = 3mA$					
3DJ2D 3DJ2E 3DJ2F 3DJ2G 3DJ2H	高 频、 线性放大 及斩波电 路	<0.35 0.3~1.2 1~3.5 3~6.5 6~10	<1~91	$\geq 10^8$	>2000	>20	>20	15	100	①
3DJ4D 3DJ4E 3DJ4F 3DJ4G 3DJ4H	高 输 入 阻 抗、低 噪 声 放 大 电 路	<0.35 0.3~1.2 1~3.5 3~6.5 6~10	<1~91	$\geq 10^9$	>2000	>20	>20	15	100	
3DJ6D 3DJ6E 3DJ6F 3DJ6G 3DJ6H	低 频 的 低 噪 声 线 性 放 大 器 电 路	<0.35 0.3~1.2 1~3.5 3~6.5 6~10	<1~91	$\geq 10^8$	≥ 1000	≥ 20	≥ 20	15	100	

续表

参数名称 型号		饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号	用 途	I_{DS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 50\mu\text{A}$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3DJ7D 3DJ7E 3DJ7F 3DJ7G 3DJ7H 3DJ7I 3DJ7J	低 频 噪 声 线 性 放 大 器	≤ 0.35 ≤ 1.2 $1 \sim 3.5$ $3 \sim 11$ $10 \sim 18$ $17 \sim 25$ $24 \sim 35$	$< 1 \sim 91$	$\geq 10^8$	≥ 3000	≥ 20	≥ 20	15	100	①
3DJ8F 3DJ8G 3DJ8H 3DJ8I 3DJ8J 3DJ8K	直 流 放 大、阻 抗 变 换 及 斩 波 器 小 型 电 台 中 作 高 频、混 频 放 大	$1 \sim 3.5$ $3 \sim 11$ $10 \sim 18$ $17 \sim 25$ $24 \sim 35$ $34 \sim 70$	$< 1 \sim 91$	$\geq 10^7$	> 6000	20	20	15	100	
3DJ9F 3DJ9G 3DJ9H 3DJ9I	直 流 放 大、阻 抗 变 换 及 斩 波 器 小 型 电 台 中 作 高 频、混 频 放 大	$1 \sim 3.5$ $3 \sim 6.5$ $6 \sim 11$ $10 \sim 18$	$1 \sim 71$	$\geq 10^7$	4000	20	20	15	100	

表 2.1.16 常用增强型 MOS 场效应晶体管型号及主要参数

参数名称 型号		漏源电流	开启电压	导通电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号	用 途	I_{DS}/mA	U_T/V	$R_{ON}/\text{k}\Omega$	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = I_{DS0} + 1\mu\text{A}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3C01 3C01A 3C01B	高 输 入 阻 抗、直 流 放 大 器	≤ 1	$1 \sim 21 \sim 1 \sim 81$ $1 \sim 21 \sim 1 \sim 41$ $1 \sim 41 \sim 1 \sim 81$	≤ 6 ≤ 3 ≤ 6	> 500 ≥ 1000	≥ 15	20	15	100	②

表 2.1.17 常用耗尽型 MOS 场效应晶体管型号及主要参数

参数名称 型号		饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号	用 途	I_{DS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	$g_m / (\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{DSM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS} = 10\text{V}$ $U_{GS} = 0$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 50\mu\text{A}$	$U_{DS} = 0$ $U_{GS} = 10\text{V}$	$U_{DS} = 10\text{V}$ $I_{DS} = 3\text{mA}$					
3D01D 3D01E 3D01F 3D01G 3D01H	直 流 放 大、 阻 抗 变 换 及 斩 波 器、小 型 电 台 中 频 放 大 振 荡 器	≤ 0.35 $0.3 \sim 1.2$ $1 \sim 3.5$ $3 \sim 6.5$ $6 \sim 10$	$\leq 1 \sim 91$	$\geq 10^9$	≥ 1000	20	40	15	100	②

续表

参数名称 型号	用 途	饱和漏电流	夹断电压	栅源输入电阻	共源低频跨导	最大漏源电压	最大栅源电压	最大漏源电流	最大耗散功率	管脚图
参数符号		I_{DSS}/mA	U_P/V	R_{GS}/Ω	g_m $/(\mu\text{A}/\text{V})$	BU_{DS}/V	BU_{GS}/V	I_{ISM}/mA	P_{Dmax}/mW	
测试条件		$U_{DS}=10\text{V}$ $U_{GS}=0$	$U_{DS}=10\text{V}$ $I_{DS}=50\mu\text{A}$	$U_{DS}=0$ $U_{GS}=10\text{V}$	$U_{DS}=10\text{V}$ $I_{DS}=3\text{mA}$					
3D02D 3D02E 3D02F 3D02G 3D02H	高阻抗放大器、阻抗变换及可调电阻电路	<0.35 <1.2 $1\sim 3.5$ $3\sim 11$ $10\sim 25$	$< -9 $	$\geq 10^8$ $\geq 10^9$	 ≥ 4000	 12	20 25	25 15	 100	②
3D04D 3D04E 3D04F 3D04G 3D04H 3D04I	线性高频放大及混频放大	≤ 0.35 $0.3\sim 1.2$ $1\sim 3.5$ $3\sim 6.5$ $6\sim 10.5$ $10\sim 15$	$< -9 $	$\geq 10^9$	> 2000	20	25	15	100	

表 2.1.15、表 2.1.16 和表 2.1.17 中管脚图如下所示：



第五节 单结晶体管

单结晶体管是一种只有一个 PN 结和两个基极的半导体器件（又称双基极二极管），具有负阻特性，它稳定性好，峰值电流大，广泛应用于触发及振荡电路中。

一、单结晶体管的特性及电极判别

单结晶体管有三个电极：发射极 e、第一基极 b_1 和第二基极 b_2 （离 e 极较近）。其内部结构、符号及等效电路见图 2.1.16。

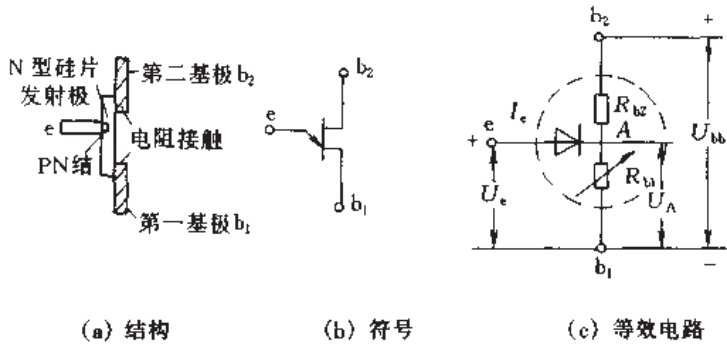


图 2.1.16 单结晶体管的结构、符号及等效电路

在两基极 b_2 、 b_1 间加上电压 U_{bb} 时，A 点电压为：

$$U_A = \frac{R_{b1}}{R_{b1} + R_{b2}} U_{bb} = \frac{R_{b1}}{R_{bb}} U_{bb} = \eta U_{bb}$$

式中 η 称为分压比，是单结晶体管内部结构所决定的常数，其值一般在 0.3~0.9 之间。

1. 特性

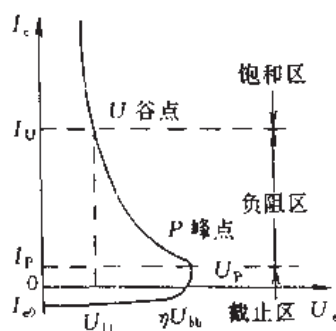


图 2.1.17 单结晶体管的伏安特性曲线

2. 电极判别

单结晶体管的三个电极，可用万用表的欧姆档进行判别。

(1) 确定发射极 e 因发射极 e 对基极 b_1 和 b_2 相当于二极管的正向接法，用万用表测 e 对 b_1 或 b_2 间的正反向阻值相差是很大的，而 b_1 和 b_2 间相当于一个固定电阻，用万用表测得的正反向阻值应是一样的，利用上述原理可找到发射极 e。

(2) 确定基极 b_1 和 b_2 因 e 靠近 b_2 ，故测得的 e 对 b_2 间的正向阻值 R_{eb2} 比 e 对 b_1 间的正向阻值 R_{eb1} 要小，由此可区分基极 b_1 和 b_2 。

二、单结晶体管的应用

利用单结晶体管的负阻特性，可以组成多种振荡及定时脉冲电路。图 2.1.18 是最基本的单结晶体管的振荡电路，称为弛张振荡器。它是由一个单结晶体管和 RC 充放电电路等组成的。这种振荡器线路简单，频率调节范围大，受温度影响小，因此应用甚广。

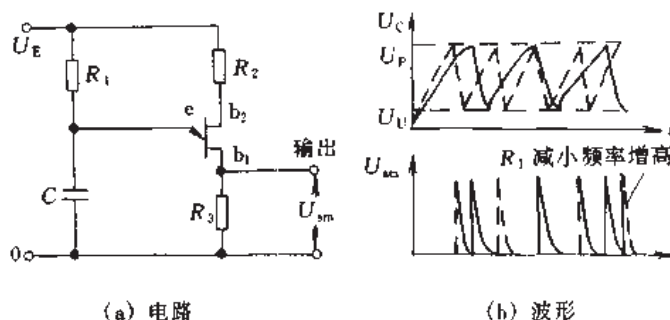


图 2.1.18 单结晶体管弛张振荡器

电路中各元件的作用及取值范围见表 2.1.18。

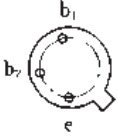
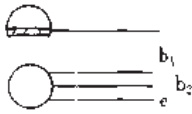
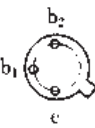
表 2.1.18 弛张振荡器各元件作用及取值范围

参 数	取 值 范 围	作 用
R_1/Ω	$\frac{U_E - U_P}{I_P} > R_1 > \frac{U_E - U_U}{I_U}$ $10k\Omega \sim 3M\Omega$	如过大，单结管达不到峰点电压；如过小，单结管电流大于谷点电流，不能截止，电路均不能振荡，无脉冲输出
R_2/Ω	$200 \sim 600$	用作温度补偿
R_3/Ω	$50 \sim 1000$	影响输出脉冲幅度和宽度
$C/\mu F$	$0.047 \sim 0.5$	影响振荡频率和输出脉冲宽度

振荡频率 f 可用下式近似计算：

$$f = 1/R_1 C \ln\left(\frac{1}{1-\eta}\right)$$

续表

型 号	分压比 η	基极间电阻 $R_{bb}/k\Omega$	发射极与 基极间反向 电压 U_{ob1} /V	反向电流 $I_{co}/\mu A$	发射极饱和 压降 U_e (饱和) /V	峰点电流 $I_F/\mu A$	基极 b_2 耗散 功率 P_{b2M} /mW	管 脚
5S2	0.2 ~ 0.95	2 ~ 12	40	8	5	1	450	
5S2A	0.3 ~ 0.55	3 ~ 6	60	1	5	1	450	
5S2B	0.3 ~ 0.55	5 ~ 8	60	1	5	1	450	
5S2C	0.45 ~ 0.75	3 ~ 6	60	1	5	1	450	
5S2D	0.45 ~ 0.75	5 ~ 8	60	1	5	1	450	
5S2E	0.65 ~ 0.85	3 ~ 6	60	1	5	1	450	
5S2F	0.65 ~ 0.85	5 ~ 8	60	1	5	1	450	
BT31A	0.3 ~ 0.55	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31B	0.3 ~ 0.55	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31C	0.45 ~ 0.75	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31D	0.45 ~ 0.75	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31E	0.65 ~ 0.85	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT31F	0.65 ~ 0.85	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32A	0.3 ~ 0.55	3 ~ 6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32B	0.3 ~ 0.55	5 ~ 10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32C	0.45 ~ 0.75	3 ~ 6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32E	0.45 ~ 0.75	5 ~ 10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32E	0.65 ~ 0.85	3 ~ 6	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT32C	0.65 ~ 0.85	5 ~ 10	≤ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	300	
BT33A	0.3 ~ 0.55	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33B	0.3 ~ 0.55	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33C	0.45 ~ 0.75	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33D	0.45 ~ 0.75	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33E	0.65 ~ 0.85	3 ~ 6	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33F	0.65 ~ 0.85	5 ~ 10	≥ 60	≤ 1	≤ 5	≤ 2	500	
BT33A	0.3 ~ 0.4	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4	< 4	300	
BT33B	$> 0.4 \sim 0.5$	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4	< 4	300	
BT33C	$> 0.5 \sim 0.65$	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4.5	< 4	300	
BT33D	> 0.65	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4.5	< 4	300	
BT35A	0.3 ~ 0.4	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4	< 4	500	
BT35B	$> 0.4 \sim 0.5$	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4	< 4	500	
BT35C	$> 0.5 \sim 0.65$	≥ 2	≥ 30	< 2	< 4.5	< 4	500	
BT35D	> 0.65	≥ 2	≥ 60	< 2	< 4.5	< 4	500	

注: BT33 型单结晶体管有两种外形, 因而也有两种参数, 可根据外形确定属于哪一类。

第六节 晶体发光二极管

晶体发光二极管 (简称 LED) 是一种把电能变成光能的半导体器件。

一、发光二极管的种类和命名方法

1. 种类

发光二极管的种类很多, 按发光颜色来分, 有红色、橙色、黄色和绿色等, 还有人眼看不见的红外光; 按外形来分, 有圆形、方形、符号形及组合形等多种形状; 按功率大小来分, 有小功率管 (1 ~ 10mW)、中功率管 (10 ~ 100mW) 及大功率管 (100 ~ 500mW 以上)。

2. 命名方法

为了便于使用和生产, 可见发光二极管的型号统一规定如下:

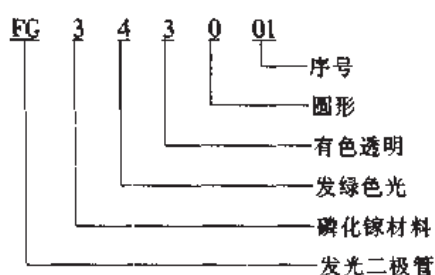
FG 1 2 3 4 5 6

各部分含义见表 2.1.20。

表 2.1.20 半导体发光二极管命名方法

文种	汉语拼音	阿 拉 伯 数 字				
全称	FG	[1]	[2]	[3]	[4]	[5] [6]
表示内容	器件型号	材 料	颜 色	封装形式	外 形	序 号
说明	“发光”两字汉语拼音的第一个字母	1: 磷砷化镓 (GaAsP) 2: 镓铝砷 (GaAsAl) 3: 磷化镓 (GaP)	1: 红色 2: 橙色 3: 黄色 4: 绿色 5: 蓝色 6: 变色	1: 无色透明 2: 无色散射 3: 有色透明 4: 有色散射	0: 圆形 1: 长方形 2: 符号形 3: 三角形 4: 方形 5: 组合形 6: 特殊形	

示例:



二、发光二极管的结构和特性

1. 结构

发光二极管大体采用两种结构: 一种是将管芯烧结在金属底座或陶瓷底座上, 用透明环氧树脂封装; 另一种是将管芯烧结在金属引线上, 用塑料全封装。不论哪种结构, 其管芯都是一个 PN 结。发光二极管的结构和符号见图 2.1.20。

2. 特性

发光二极管的特性较多, 这里只简要介绍电气特性。

(1) 伏安特性 发光二极管的伏安特性曲线与普通小功率的二极管相比, 除正向死区电压稍高一点 (1~2V, 材质不同, 压降亦不同) 外, 在电气性能上完全相同, 因此不再重述。

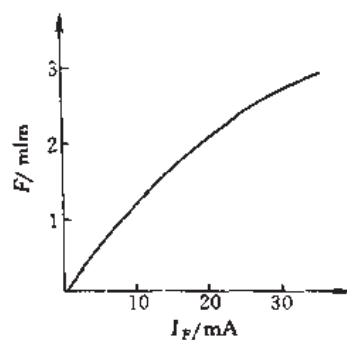
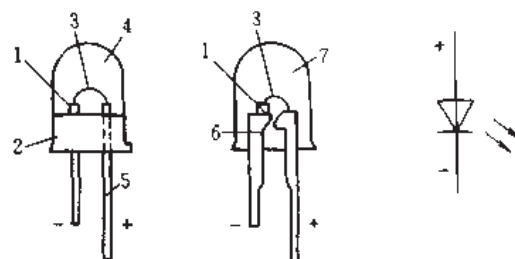


图 2.1.21 发光二极管
电流-亮度特性曲线



(a) 结构之一 (b) 结构之二 (c) 符号

图 2.1.20 发光二极管的结构和符号

1—管芯; 2—金属座; 3—金属线; 4—环氧树脂;
5—引线; 6—金属引线架; 7—塑料全封

(2) 电流-亮度特性 发光二极管的电流-亮度特性曲线见图 2.1.21。由图可见, 当工作电流约在 25mA 以内时, 亮度大致随电流呈直线上升, 工作电流超过 25mA 时, 多数管子的亮度与电流就不成线性关系了, 但不会趋于饱和。有的管子的亮度趋于饱和 (如红色光 GaP 管)。

三、发光二极管的应用

1. 应用范围

发光二极管的应用主要在两个方面, 一是作光电控制电路的电源, 二是作显示器件。

有些发光二极管, 如磷砷化镓管, 是光控电路中较理想的控制光源, 广泛应用于光电读出、光电计数、光电开关、光电检测及光电隔离等电路中。还有一种发光二极管, 叫砷化镓管, 发出的红外光人的眼睛看不见, 具有很强的保密性, 可用于防盗、报警及其他安全控制电路中。

2. 驱动方式