

# 3DH 系列可调恒流管性能和原理分析\*

洪云翔 吕品桢  
(杭州大学, 杭州)

**摘要** 本文分析了一种新型恒流器件的特性和原理, 由于采用恒流二极管供流和实现最佳温度补偿获得了非常稳定的输出电流。器件的动态阻抗大, 电流温度系数  $\alpha_H \leq 10^{-4}/^\circ\text{C}$ , 恒定电流  $I_H$  在 5—500mA 范围内具有连续可调等优点。

**关键词** 半导体器件; 恒流二极管; 电流温度系数

## 1. 引言

国内外普遍地采用场效应原理制成恒流二极管(简称 CRD)。由于直流阻抗小, 交流动态阻抗高、抗辐射能力强, 使用方便等优点, 在电子设备的稳压、稳流电路, 仪器、仪表的自动控制和保护电路中得到广泛的应用。CRD 标准系列产品 IN5283-5314, 电流  $I_{reg}$  值为 0.22—4.7mA。美国 TCY 公司近年又推出 CIL250-257 和 CIL350-366 系列,  $I_{reg}$  值分别达到 5—11mA 和 12—56mA, 电流值范围与标准系列产品电流相互衔接。

70 年代后期我国开始试制 CRD, 现在定型生产的 2DH 系列恒流二极管, 性能指标接近 IN5283-5314。电流  $I_H$  值是 0.1—6.0mA, 在常温区电流温度系数  $\alpha'_H$  一般在  $10^{-3}/^\circ\text{C}$  量级。

为了满足对较大电流的需求, 我们研制了 3DH 系列可调恒流管, 其内部电路原理如图 1 所示。用恒流二极管  $D_H$ 、稳压管  $D_Z$  组成高性能稳压电路, 使晶体管  $T$  基极电位保持不变, 从而获得非常稳定的放大的电流输出。  $I_H$  可高达 500mA, 而电流温度系数则下降到  $10^{-4}$ — $10^{-5}/^\circ\text{C}$  量级。与 2DH 管相比 3DH 恒流管既充分利用 CRD

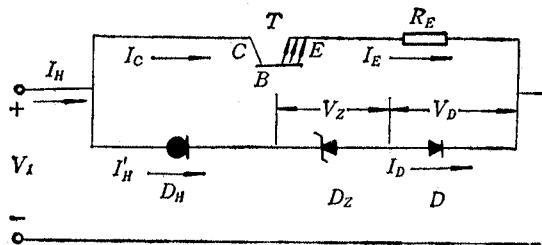


图 1

\* 1988 年 9 月 21 日收到, 1988 年 12 月 29 日修改定稿。

的优点,又克服了 CRD 本身的局限,在  $I_H$  值、温度性能、稳定性方面获得了明显的提高。表 1 给出目前我们生产的 3DH 系列恒流管的一般参数指标。

表 1

参数名称	$I_H(\text{mA})$	$V_S(\text{V})$	$V_B(\text{V})$			$S = \frac{\Delta I_H}{I_H}$	$C_{TI}(\text{°C}^{-1})$
			A	B	C		
测试条件	$V_i = 20V$	$I = 0.9 I_H$				$\frac{\Delta V}{V} = \pm 10\%$	$T = 0 - 70\text{°C}$
参数值							
器件型号							
3DH010	5-25	<7	>30	>50	>70	0.2%-0.05%	$(20-1) \times 10^{-4}$
3DH020	5-50	<7	>30	>50	>70	0.2%-0.05%	$(10-1) \times 10^{-4}$
3DH030	25-100	<8	>30	>50	>70	0.2%-0.05%	$(10-1) \times 10^{-4}$
3DH040	25-200	<8	>30	>50	>70	0.2%-0.05%	$(10-1) \times 10^{-4}$
3DH050	25-500	<8	>30	>50	>70	0.2%-0.05%	$(10-1) \times 10^{-4}$

2. 性能和基本原理

3DH 系列可调恒流管输出伏安特性曲线示于图 2。  $V_S$  是器件进入恒流工作区域所需的最低电压,称为起始电压。  $V_B$  是器件工作的最高允许电压或称击穿电压。  $I_H$  是器件工作在恒流区域时的电流称为恒定电流。  $V_S$  值为几伏,  $V_B$  值高的可达一百多伏。当输入电压  $V_i$  在  $V_S$  和  $V_B$  之间很宽的范围变化时,输出电流几乎保持不变,为  $I_H$ 。

输出特性可以从原理图 1 得到解释,因为

$$I_H = I'_H + I_C \tag{1}$$

$$I_E = \frac{V_Z + V_D - V_{BE}}{R_E} \tag{2}$$

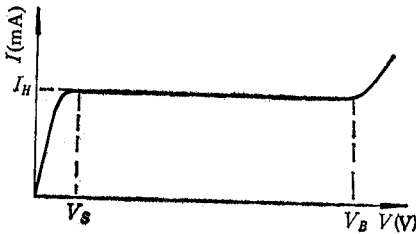


图 2

式中,  $I'_H$  表示恒流二极管  $D_H$  输出的恒定电流;  $V_Z$  和  $V_D$  分别是稳压管  $D_Z$  和二极管  $D$  两端的电压;  $V_{BE}$  是晶体管  $T$  的发射结正向压降。考虑到硅晶体管的  $I_{c\alpha}$  与  $I'_H$ 、 $I_E$  相比要小得多,

以及  $\beta/(\beta + 1) = 1$ ,所以

$$I_H \approx I'_H + I_E = I'_H + (V_Z + V_D - V_{BE})/R_E \tag{3}$$

由于采用恒流二极管  $D_H$  供流, (3)式右边的  $I'_H$ 、 $V_Z$ 、 $V_D$  和  $V_{BE}$  值都不随外界电压变化,即输入电压  $V_i$  在  $V_S$  和  $V_B$  间变化时,输出电流  $I_H$  值保持不变,所以器件具有很好的恒流特性。

当然,一个高性能的恒流器件,同时还应具备好的温度稳定性,电流温度系数  $C_{TI}$  要小。由(3)式知,  $I_H$  的温度效应取决于式中各量随温度变化的规律,为了改善器件的温度特性,我们采取了以下的措施:

- (1) 设计低温度系数的基准稳压管  $D_Z$   $p-n$  结电击穿基本机构有二种,即隧道

效应和雪崩效应。雪崩电流和隧道电流有相反的温度系数。合理设计版图并精确控制材料的掺杂浓度,即选择适当的  $V_Z$  值,当外界温度变化时,使上述两种效应的电流变化相互补偿,从而使  $V_Z$  具有极小的电压温度系数,  $\alpha_Z \equiv (1/V_Z)(dV_Z/dT) \approx 5 \times 10^{-5}/^\circ\text{C}$ 。

(2) 采用温度补偿二极管  $D$  晶体管  $T$  的  $V_{BE}$  随温度变化有

$$\frac{dV_{BE}}{dT} = - \left[ \frac{E_{g0}/q - V_{BE}}{T} + \frac{3K}{q} \right] \quad (4)$$

它引起  $I_E$  的漂移,影响  $I_H$  值稳定。所以在  $D_Z$  支路我们设置二极管  $D$ 。考虑到电压  $V_D$  随温度变化规律与  $V_{BE}$  一样,故当  $R_E$  选用低温度系数的精密电阻,忽略它的温度效应,则由(2)式得

$$\frac{dI_E}{dT} = \frac{1}{R_E} \cdot \frac{dV_Z}{dT} + \frac{1}{R_E} \cdot \frac{V_D - V_{BE}}{T} \quad (5)$$

因为流过二极管  $D$  的电流  $I_D$  为

$$I_D = I_{SD} \exp(qV_D/KT) \quad (6)$$

而晶体管  $T$  的集电极电流  $I_C$  为

$$I_C = I_{ST} \exp(qV_{BE}/KT)^{[4]} \quad (7)$$

所以

$$\Delta V = V_D - V_{BE} = \frac{KT}{q} \left[ \ln \left( \frac{A_T}{A_D} \right) + \ln \left( \frac{I_D}{I_C} \right) \right] \quad (8)$$

$A_D$  是二极管  $D$  的结面积,  $A_T$  是晶体管  $T$  发射结面积。3DH 恒流管工作时  $I_C > I_D$ , 所以要求  $A_T > A_D$ , 并且设计成多发射极晶体管,当恒流管型号变化时,通过改变结面积使  $\frac{A_T}{A_D}$  有较合适的比值,则(8)式方括号中两项抵消使  $\Delta V \rightarrow 0$ , (5) 式将简化成

$$\frac{dI_E}{dT} = \frac{1}{R_E} \cdot \frac{dV_Z}{dT} \quad (9)$$

(3)  $I'_H$  的温度效应 恒流二极管  $D_H$  的  $I'_H$  值随  $T$  的变化主要由栅结自建电势  $V_i$  和沟道电导率  $\sigma$  随温度变化引起,两者变化符号相反,理论上可证明<sup>[4]</sup>:

$$\frac{dI'_H}{dT} = -g_m \frac{d|V_i|}{dT} + \frac{I'_H}{\sigma} \frac{d\sigma}{dT} \quad (10)$$

根据我们的经验,  $I'_H$  取 2—5mA 时,  $\alpha'_H \equiv (1/I'_H)(dI'_H/dT) = -1 \times 10^{-3} - 5 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 。

最后,由(3)式和(9)式,得 3DH 恒流管电流温度系数为

$$C_{TI} \equiv \frac{1}{I_H} \cdot \frac{dI_H}{dT} = \frac{I'_H}{I_H} \alpha'_H + \frac{\alpha_Z \cdot V_Z}{R_E \cdot I_H} \quad (11)$$

由于  $R_E I_H \approx V_Z$ , 所以

$$C_{TI} = \frac{I'_H}{I_H} \alpha'_H + \alpha_Z \quad (12)$$

考虑到  $|\alpha'_H| \gg |\alpha_Z|$ ,  $I_H \gg I'_H$ , 所以  $|C_{TI}| \ll |\alpha'_H|$ , 即达到  $10^{-4} - 10^{-3}/^\circ\text{C}$  数量级。

实际的恒流源输出伏安特性曲线不可能是理想的水平线,常用动态阻抗  $r_d$  (或电流

稳定度  $s$ ) 表示变化情况, 即  $1/r_d \equiv |(dI_H/dV_I)|$ .

由原理图 1 的微变等效电路可求得 3DH 恒流管动态阻抗为

$$\frac{1}{r_d} \leq \frac{1}{r'_d} + \frac{1}{r''_d} \quad (13)$$

式中  $r''_d = r_{ce}[1 + \beta R_E/(r_{be} + R_E)]$ ;  $r'_d$  是恒流二极管  $D_H$  的动态阻抗;  $r_{ce}$ 、 $r_{be}$  和  $\beta$  分别是晶体管  $T$  的输出电阻、输入电阻和放大系数.

针对不同的  $I_H$  值, 理论上计算的  $r_d$  值从几十千欧到几百千欧, 与实验测试数据基本相等.

### 3. 结语

3DH 系列恒流管结构简单、合理, 恒定电流大, 稳定性好, 是一种性能较好的恒流器件. 并且可以通过改变  $R_E$  的阻值, 实现  $I_H$  在 5—500mA 内连续调节, 以满足各种电路的设计要求, 调试非常方便.

几年来它已在基准电压源、高精度稳压电源、发光管和显象管的限流保护和恒流供电以及传感器技术、全数字程控时分电话交换机和 UFT-1 型油雾探测器等仪器上得到广泛应用. 但是, 3DH 系列恒流管起始电压  $V_S$  偏高, 功耗较大, 还需进一步改进.

### 参 考 文 献

- [1] R. J. Widlar, *IEEE Trans. on CT*, **CT-12**(1965)12, 586—588.
- [2] A. B. Grebene, S. K. Ghandhi, *Solid-State Electronics*, **12**(1969)7, 573—58.
- [3] H. E. Talley, *Physical of Semiconductor Devices*, Chap.7, The Iowa State University Press, (1976).
- [4] 亢宝位, 场效应晶体管理论基础, 科学出版社, 1985 年, 第 76—81 页.

## ANALYSIS OF THE CHARACTERISTICS AND PRINCIPLES OF 3DH SERIES ADJUSTABLE CURRENT REGULATOR

Hong Yunxiang Lu Pinzhen  
(Hangzhou University, Hangzhou)

**Abstract** The characteristics and principles of a new current regulator are analysed. As a result of adopting the current regulator as the current supply and realizing the optimum temperature compensation, a very stable output current have been obtained. The device not only has large dynamic impedance, current temperature coefficient less than or equal to  $10^{-4}/^{\circ}\text{C}$ , but also has the advantage of continuous adjustability of output current from 1mA to 500 mA.

**Key words** Semiconductor device, Current regulator; Current temperature coefficient