

# 恒流电源设计

周海强 (航天工业总公司第三研究院, 100039)

摘要: 本文介绍了几种恒流电源电路, 比较了它们的特点, 分析了它们的原理。

关键词: 恒流源; 电路设计; 原理

中图分类号: TM 901

文献标识码: B

文章编号: 1004-0420(2005)04-0049-05

## Designs of constant current source

ZHO U Hai-qiang

(The 3 Research Institute of National Space Industry Corporation, 100039)

**Abstract:** This text has introduced several kinds of constant circuit power sources, compared their characteristics and analyzed their principles.

**Key words:** constant circuit source; design circuit; principle

在工业控制中, 在电子设备、仪器仪表及高科技领域中, 人们经常使用稳压电源, 因而稳压电源品种多、资料多, 人们比较熟悉。而恒流电源相对于稳压电源来说用的地方不多, 因而介绍的资料较少, 但实际上恒流电源涉足的范围越来越宽, 许多新兴科技领域如通信、超导、传感技术等电子设备用恒流源要比稳压电源更好。所谓恒流源, 即对应于一定的电压变化所产生的电流变化趋于零, 电流是一个恒定值, 有很高的动态输出电阻, 具有这种特性的器件称之为恒流源。例如: 霍尔式压力传感器的电源就使用恒流源。霍尔压力传感器是根据半导体的霍尔效应原理制成的。其公式:  $E_H = K_H \times I \times B$ , 式中:  $E_H$  为霍尔电势(mV);  $I$  为通过半导体的电流(mA);  $B$  为磁感应强度(T);  $K_H$  为霍尔元件灵敏度系数(mV/mA·T)。在实际应用中  $I$  和  $B$  两个量之一保持常数的话, 则另一个作为输入变量, 引起输出电压  $E_H$  与输入量成比例。所以为使所产生的霍尔电势与待测量成单一的线性关系, 必须保证给霍尔元件提供恒定的直流电流  $I$ , 故要配备恒流源。又如: 工业测温的测温传感器中测量电阻最好的方法是采用恒流源电路。在集成电路中, 广泛地应用于晶体管的偏置电路、差动放大电路的射极电路、直流

电平移动电路、放大电路的负载等。

## 1 基本恒流源电路

### 1.1 基本原理

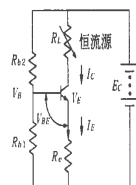


图1 基本电路

图1中利用半导体三极管输出特性, 如果认为  $V_B$  不受温度变化的影响, 而  $V_{BE}$  虽然受温度的影响, 但它的变化值 ( $-2 \text{ mV}/^\circ\text{C}$ ) 又远小于  $V_B$  的话, 则  $V_E$  也基本上不受温度变化的影响, 这个关系也同样适用于  $I_E$  和  $I_C$ 。从另一个角度来看, 一旦  $E_C$ 、 $R_{b2}$ 、 $R_{b1}$  和  $R_e$  确定之后,  $I_C$  就被基本确定; 而在一定范围之内与负载电阻  $R_L$  的大小无关, 只要使管子  $V_{CE}$  工作在特性曲线的平坦部分即可。

### 1.2 模拟恒流源电路

模拟恒流源电路如图2所示。在模拟电路中,  $T_1$ 、 $T_2$  是相邻的晶体管, 因此它们的性能参数基本相同。  $R$  与  $T_1$  管串联作  $T_2$  管的偏置电路,

并提供基准电流  $I_R$ 。  $T_1$  管的集电极与基极连接在一起,  $U_{CB} = 0$ , 它工作在临界饱和状态,  $I_{C1} = \beta I_{B1}$  仍成立, 因此, 可以认为  $T_1$ 、 $T_2$  均工作在线性区。因为  $U_{BE1} = U_{BE2}$ , 故有  $I_{B1} = I_{B2}$ ,  $I_{C1} = I_{C2}$ , 由图可知:

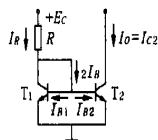


图2 模拟电路

$$I_R = I_{C2} + 2I_{B1} = I_{C1} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) = I_{C2} \left(1 + \frac{2}{\beta}\right) \quad (1)$$

从而得到:

$$I_{C2} = I_R \left(1 - \frac{2}{\beta + 2}\right) \quad (2)$$

若  $\beta > 2$ , 则:

$$I_{C2} \approx I_R \approx \frac{E - U_{BE}}{R} \quad (3)$$

它表明  $T_1$ 、 $T_2$  管具有电流“镜像”关系。这种恒流源电路也常称为“镜像”恒流源电路。由于  $U_{BE}$  与温度有关, 所以这种恒流源受温度影响较大; 此外, 当  $\beta$  值不高时,  $I_{C2}$  与  $I_R$  之间误差较大, 电路的镜像特性变差。因此, 在此电路的基础上出现了多种改进型镜像恒流源电路。

## 2 集成电路恒流源

### 2.1 场效应管电路

该电路简单, 当输出阻抗在几兆欧到几十兆欧内, 电路都具有恒流特性, 作为小容量电流的恒流源电路, 实用性很强。它的缺点是电流变化达  $\pm 5\%$ 。

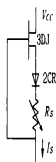


图3 场效应管电路

### 2.2 由 7800 系列集成稳压器组成大的恒流源电路

集成稳压器一般指把经过整流的不稳定电压转换成稳定的输出电压的集成电路。当输入电压

产生波动时, 输出电压保持相对稳定, 即具有较好的电压调整特性; 当负载电流波动时, 输出电压保持相对稳定性, 即具有较好的负载调整特性; 当工作温度发生变化时, 输出电压保持相对稳定性, 即具有较好的温度稳定性。具有过热、过电流、安全工作区自动保护功能, 使元件不易损坏。

三端固定正电压集成稳压器采用串联调整电路结构。内部集成了完善的稳压电路, 而其外部仅有输入 ( $V_i$ )、输出 ( $V_o$ ) 和公共地 (GND) 三个端子, 应用十分简便。

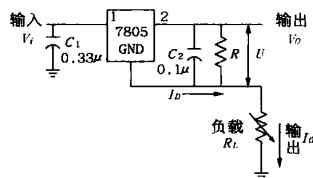


图4 7805 恒流源电路

7800 系列三端固定正电压集成稳压器可以组成正压恒流源, 此时集成稳压器是工作在悬浮状态; 在其输出端和公共端间接一个固定电阻, 形成固定恒流, 此时电流流过负载  $R_L$  后, 再返回至集成稳压器, 当外部负载  $R_L$  发生变化时, 集成稳压器通过改变自身压差的形式, 维持通过负载使恒流电流不变。为提高稳压器的工作效率, 最好选择 7805 系列, 即输出低电压的稳压器。利用 CW 7805 三端固定正电压集成稳压器的公共端可以浮地的特点, 用其组成恒流源电路, 如图 4 所示。通过设定恒流电阻  $R$  的值, 就可以得到所需的恒流电流。公共端输出电流  $I_D = 1.5 \text{ mA}$ , 此电流就是恒流源最小起始电流。当  $R$  较小时即恒流电流较大时, 可以忽略  $I_D$  的影响, 当  $I_D$  较小时, 输出电流  $I_o$  的变化可能会影响恒流精度。因此恒流电阻  $R$  应尽量小一些, 以提高电路恒流精度。

其输出电流计算公式:

$$I = \frac{U}{R} + I_D \quad (4)$$

其中,  $U = V_o = 5 \text{ V}$ ,  $I_D = 1.5 \text{ mA}$  ( $U$ —集成稳压器标称输出电压;  $V_o$ —输出电压;  $R$ —恒流电阻;  $I_D$ —静态电流)。

$C_1$ 、 $C_2$  是输入和输出旁路电容。因为集成稳压器内部电路比较复杂, 放大级多, 开环增益高。

虽然电路工作在闭环负反馈状态下,但若不在外部采取适当补偿移相措施,电路可能会产生高频振荡,从而影响元器件的工作,甚至损坏无器件。具体来讲:在输入端加接  $C_1=0.33\ \mu\text{F}$ ,是为了改善纹波特性;在输出端加接  $C_2=0.1\ \mu\text{F}$ ,目的是为了改善负载瞬态响应。

### 2.3 由 LM 317 组成恒流源电路

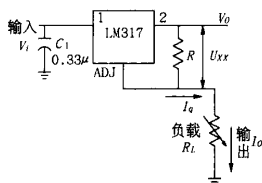


图 5 LM 317 恒流源电路

LM 317 是美国国家半导体公司的三端可调稳压器集成电路,输出电压稳压精度高,输出纹波小。这种集成稳压器有三个输出端,即电压输入端  $V_i$ ,电压输出端  $V_o$  和调节端 ADJ。它没有公共接地端,公共接地端往往通过串接电阻,再接到地。LM 317 输出电压为  $1.2\text{ V} \sim 35\text{ V}$ ,输出电流为  $0.1\text{ A}$ ,负载稳定度  $5 \times 10^{-3}$ ,纹波电压  $\leq 5\text{ mV}$ ,电压稳定度  $1 \times 10^{-3}$ 。

它的使用非常简单,仅需两个外接电阻来设置输出电压。可调整输出电压低到  $1.2\text{ V}$ ,保证  $1.5\text{ A}$  输出电流。

如图 5 所示,输出电流  $I_o = U_{xx}/R + I_{q0}$ 。一般在选择  $R$  时,应使  $I_o \gg I_{q0}$ ,以避免或减小  $I_{q0}$  变化时影响恒流特性,此电路可以给各种充电电池充电。实际使用时,可以将不同的电阻  $R$  接入,并用开关进行转换,可调整不同的充电电流。因为稳定的基准电压  $U_{xx}$  在电阻  $R$  上产生  $I = U_{xx}/R$  电流,这个电流全部流过负载,调节端本身的电流很小,也就是大约  $50\ \mu\text{A}$  左右,可以认为流过负载的是恒定电流。由于这种集成稳压器有很好的电压调整率,负载上的电压的变化由 LM 317 输入输出的差值作补偿。所以只要输入电压足够高,即使负载变化大,也能提供理想的恒定电流。如果将电阻  $R$  改为电位器,图 5 就是可调恒流源电路图。

## 3 恒流管电路

恒流二极管和恒流三极管是近年来问世的半

导体恒流器件,而恒流三极管又是在恒流二极管的基础上发展而成的。它是以低温度系数、高电流稳定度和产品一致性好为特征的精密集成电路恒流器件。起始电压低,可靠性高,恒定电流可调,实际使用呈二端式,串入电路中提供恒定电流,使用十分方便灵活。它们都能在很宽的电压范围内输出恒定的电流,并具有很高的动态阻抗。由于它们的恒流性能好、价格较低、使用简便,因此目前已被广泛用于恒流源、稳压源、放大器以及电子仪器的保护电路中。恒流二极管(CRD)属于两端结型场效应恒流器件。其电路符号和伏安特性如图 6 所示。恒流二极管在正向工作时存在一个恒流区,在此区域内  $I_H$  不随  $V_i$  而变化;其反向工作特性则与普通二极管的正向特性有相似之处。恒流二极管的外形与 3DG6 型晶体管相似,但它只有两个引线,靠近管壳突起的引线为正极。

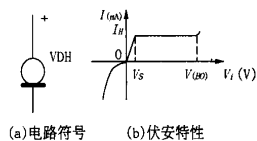


图 6 电路符号及伏安特性

恒流三极管是继恒流二极管之后开发出的三端半导体恒流器件。前已述及,恒流二极管只能提供固定值的恒定电流,外界无法改变;而恒流三极管增加了一个控制端,能在一定范围内对恒定电流进行连续调节,利用其可控端可在一定范围内对  $I_H$  进行连续调节,调节范围为  $0.08 \sim 7.00\text{ mA}$ ,视具体管子型号而定,这就给用户带来方便。

恒流三极管的电路符号、典型接法如图 7 所示。与普通晶闸管(SCR)相似,它也有三个电极:阳极(A),阴极(K),控制极(G)。在电路中,A 极接正电压,K 极接可调电阻  $R_K$ ,G 极接  $R_K$  的另一端。由图 7(b)可见,当  $R_K=0$  时,G-K 极间短路,恒流三极管就变成了恒流二极管,此时输出电流为最大,有关系式:  $I_o = I_{H\max}$ 。接入  $R_K$  之后,  $I_H$  就减小,并且  $R_K$  越大,  $I_H$  越小。因此,调节  $R_K$  就能获得连续变化的恒定电流。

国产 3DH 系列恒流三极管包含 3DH1 ~ 3DH15(金属壳封装)15 种型号。4DH 型和 3CR 型恒流管是以低温度系数、高电流稳定度和产品

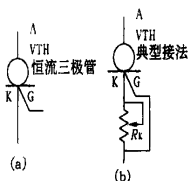


图7 恒流三极管的电路符号、典型接法

一致性好为特征的精密集成电路恒流器件, 由于全新设计、一流工艺和优良管理, 使这新一代系列化产品从电性能指标到内在质量均达到国际先进水平, 是恒流器件中的精品。该产品的突出优点是: 电流稳定度高, 温度特性优良, 起始电压低, 可靠性高, 恒定电流可调和温度系数可调(4DH 型)。实际使用呈二端式, 串入电路中提供恒定电流, 使用十分方便灵活。主要应用于各类传感器变送器、直流放大器、光电转换电路、基准电压源、光电源、稳压电源和充电器等电路中的精密恒流供电或限流保护, 已成为各种光电设备、程控机和仪器仪表的常用器件。

4DH 系列采用 B-3 四引线金属管壳封装, 3CR 系列采用 B-1 和 B-3 三引线金属壳封装或 T092L 塑料封装。

3.1 4DH 型、3CR 型电路符号及外形尺寸如下。



图8 4DH 型恒流管电路符号



图9 3CR 型恒流管电路符号

3.2 图 10~图 13 分别给出各种型号恒流管的连接方式。

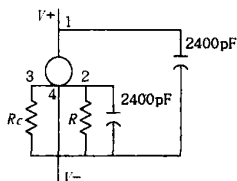


图10 4DH1 连接方式

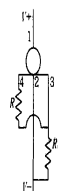


图11 4DH2 连接方式



图12 4DH7 连接方式



图13 3CR 连接方式

3.3 根据所选恒流管型号, 参照图 10~图 13 所示连接方式接受外接电阻  $R$ 、 $R_c$ (对 4DH 型)或外接电阻  $R$ (对 3CR 型), 其中  $R_c$ 、 $R$  的阻值按所选恒流管型号由以下方法决定:

4DH1 型: 恒流值  $I_H$  与  $R$ 、 $R_c$  关系为:

$$I_H = \frac{330 \text{ mV}}{R}$$

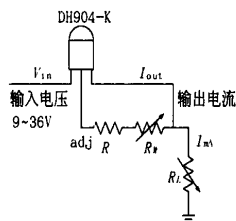
4DH7 型和 3CR 系列: 恒流值  $I_H$  与  $R$  关系

均由下式确定  $I_H = \frac{1240 \text{ mV}}{R}$ 。

4 以 DH 900 恒流源器件组成恒流源电路

DH 900 为新型超精密恒流源器件, 恒流源在现代电子技术中应用广泛, 但原有恒流源器件恒流范围小且性能不佳, 只能适用于要求不高的场合, 原因在于传统器件的温度稳定性这一关键问题一直未获解决。新型恒流源器件突破传统技术, 在低温漂、低噪声问题上取得重大进展, 优化了器件设计, 成功地将电流温度系数降低了一、二个数量级, 并完成了器件系列化, 恒流范围扩展到  $1 \mu\text{A} \sim 20 \text{ A}$ , 各项指标远优于国外同类器件。

DH 904—K 型恒流管,是以低温度系数、高电流稳定性和产品一致性好为特征的精密集成电路恒流器件。当其正负二端间电压从零增加时,其输出电流变化如图 6 所示。其中,  $V_S$  为起始电压,  $V_M$  为最高工作电压,  $I_H$  为恒定电流值。



$R_W$ —电位器最大限度  $1\text{ k}\Omega$   
 $R$ —电流调整电阻  $220\Omega$   
 $R_L$ —负载

图 14 恒流管组成恒流源电路

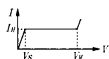


图 15 数据图

以输出  $1.5\text{ mA}$  为例,对其电路进行实验,数据如表 1。

表 1 数据表

输入电压(V)	$R_W$ 电位器( $\Omega$ )	输出电流 $I_{mA}$ (mA)
10	607	1.51
17	607	1.51
24	607	1.51

从这几个数据看出,DH 904—K 恒流管组成恒流源电路确实恒流。方案精炼,结构简单,安装方便。

## 5 结束语

本文介绍的几种恒流源电路,设计简单、实用,恒流值稳定。

### 参考文献:

- [1] 赵家贵,付小美,董平.新编传感器电路设计手册[M].北京:中国计量出版社,2002
- [2] 任致程.经典集成电路 400 例[M].北京:机械工业出版社,2002.
- [3] 赵继文.传感器与应用电路设计[M].北京:科学出版社,2002.
- [4] 清华大学电子学教研室.模拟电子技术基础简明教程[M].北京:高等教育出版社,1994.
- [5] 张国峰,张维编.实用稳定电源 150 例[M].北京:人民邮电出版社,1989.
- [6] 标准集成电路数据手册——集成稳压器[Z].
- [7] 康华光.电子技术基础[M].北京:高等教育出版社,1992
- [8] 英豪电子公司网站.
- [9] 何希采.新型集成电路及其应用实例[M].北京:科学技术出版社,2002

收稿日期:2004—12—14

(上接 48 页)分,使各环节依靠输入与输出形成一条动作支路,当动作支路数较多或有分支时,应适当扩充有关环节输出触头的数量,或在有关环节的输入部分进行触头的串、并联接法;

c. 各基本环节应根据其功能确定继电器或接触器型号。例如,前面所举例子中,如果延时环节控制的不是电动机的停止而是另一台电动机的启动,则可将中间继电器  $KM_2$  换成接触器,直接控制另一台电动机的启动与停止;

d. 各基本环节在简化过程中,如果简化不合理,可能容易形成寄生线路。所谓寄生线路,是指在正常回路之外还存在着其它的通路,一旦这一通路接通,就会产生误动作。寄生线路的分析和查找比较困难,特别在一些复杂的线路中,线路可能的状态很多,不同状态下的不同操作对应的情

况较多,因此就会隐藏一些不易察觉的电流通路,在设计时应特别注意防止上述情况出现;

e. 对线路进行改进,或组合基本线路之后,在分析线路功能时,可能出现一些事先没有考虑到的细节问题,或功能实现上的问题。例如,上述的按钮不松开时的延时问题,如果可能出现故障,则一定要采取措施进行预防。如果是功能实现上的细节问题,如触头的数量、并联线圈的匹配等,则应根据具体要求,改进线路。

## 6 结论

机床电气控制线路无论是在设计还是在分析具体线路时,我们都可以将复杂的线路划分为基本控制环节。各基本环节在组合时,要灵活运用,不能拘泥现成线路一成不变。

收稿日期:2004—11—03