

专题讨论——焊机中电子元器件的选择与应用

霍尔电流传感器在电焊机中的应用

王福生

(成都电焊机研究所,四川 成都 610051)

摘要:介绍了霍尔电流传感器的基本原理及其在电焊机焊接电流测试中的应用,同时提出了在焊机电流测试中提高焊接电流测试精度的措施和需要注意的问题。

关键词:霍尔电流传感器;电流测试;应用

中图分类号: TG43; TP212.9 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-2303(2007)05-0001-05

Application of Hall current sensor in electric welding machine

WANG Fu-sheng

(Chengdu Electric Welding Machine Research Institute, Chengdu 610051, China)

Abstract: This paper introduces the basic principle of Hall current sensor and its application in the welding current test of electric welding machine. It also puts forward the measures and attentions to increase the precision of welding current test.

Key words: Hall current sensor; current test; application

0 前言

霍尔传感器是一种磁传感器,用它可检测磁场及其变化,可以在各种与磁场有关的场合中使用。具有精度高、线性度好、响应速度快、体积小、质量轻、性能稳定等优点,在电子检测技术中得到了广泛的应用。在电焊机的焊接电流检测中,霍尔电流传感器是应用较多的电流传感器。

在焊接电源中,电流反馈信号的检测和传输是一个很重要的环节。电流信号的采集方式有多种,如焊接电源交流侧接交流互感器、直流侧接无感电阻或直流互感器。它们各有优缺点。在逆变焊接电源中,采用交流互感器和直流互感器由于受到频率的限制,一般也只宜用在晶闸管逆变焊接电源中。利用逆变输出电路中电流表的分流器上提取电流信号,这种方法简单,但信号较小,而且与主电路相联,控制回路与主电路有公共点,导致干扰增加,一般还要

通过光耦合来进行隔离,提高系统的稳定性。在中频变压一次侧电路中串联电阻提取电流信号的方法,除易受干扰外,电阻上的功耗也不可忽视。在要求快速检测和判断电流大小的频率较高的逆变电源中,霍尔电流传感器就起到了不可替代的作用。

1 霍尔电流传感器的基本原理

霍尔电流传感器可分为两种:直测式电流传感器和霍尔磁补偿式电流传感器。从使用角度来看,有两个必要条件:一是有纵向磁场 B ;二是有通入霍尔元件的横向电流 I_H ,如图1所示,即

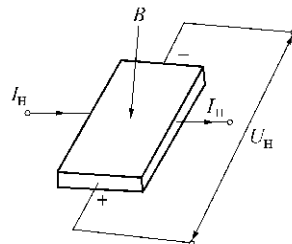


图1 霍尔元件原理

$$U_H = K_H B I_H, \quad (1)$$

收稿日期:2006-09-10

作者简介:王福生(1946—),男,四川成都人,教授级高级工程师,中国机械工程学会高级会员,主要从事电焊机产品的开发和研制工作。

式中 U_H 为霍尔电压; K_H 为霍尔型系数, 它与材料的性质及基片尺寸有关(又称霍尔灵敏度); B 为磁感应强度; I_H 为控制电流, 采用恒直流控制。

由于霍尔直测式电流传感器精度不高, 目前较少使用。霍尔磁补偿式电流传感器是常用的传感器, 它是基于磁平衡原理。其主要特点是: 穿过霍尔元件的主电流回路产生的磁场随时通过一个二次线圈产生的磁场进行补偿, 使霍尔元件始终处于检测零磁通的条件下工作, 如图 2 所示。

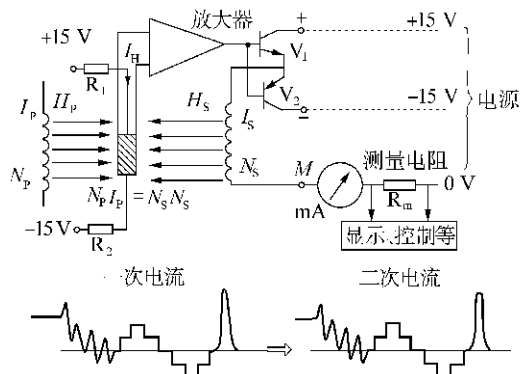


图 2 霍尔磁补偿式电流传感器

由图 2 可知, 被测电流 I_p 产生磁场 H_p 作用于加有电流 I_H 的霍尔元件上, 使霍尔元件产生的霍尔电压 U_H 经放大器放大后送入功率放大器中, 该功率放大器输出电流 I_s 通过二次线圈产生磁场 H_s 。 H_s 与被测电流 I_p 产生的磁场 H_p 方向相反, 使得霍尔元件输出的 U_H 变小, 直到 $H_p = H_s$ 时 I_s 不再增加, 这时霍尔元件就达到了零磁通检测。这一平衡所建立的时间在 $1 \mu s$ 之内, 是一个动平衡过程。在磁平衡时, 由于

$$I_p \cdot N_p = I_s \cdot N_s \quad (2)$$

对于大电流测量 $N_p = 1$, 所以 $I_p = N_s \cdot I_s$, 只要测得 I_s 值, 便知道 I_p 。当被测电流为小电流时, $N_p \neq 0$, 则按上式可计算出 I_p 。

2 霍尔电流传感器在电焊机中的应用

2.1 逆变器中电流波形的测量^[2]

在弧焊逆变电源中, 逆变器的开关频率一般都工作在 20 kHz 以上, 逆变器所用的电子器件如 MOSFET、IGBT、快恢复二极管、续流二极管以及 RC 网络元件等的开关特性将直接影响到逆变器工作的稳定性和可靠性。因此通过对其流过的电流进行定量的测试和分析是必不可少的。然而被测电流信号频率一般较高, 用工频电流传感器是无法测量的。

采用回路串电阻的办法除了与主电路有共同点而导致干扰增加外, 电阻本身呈现的感性也会使波形失真, 不能真实地反映原波形。用霍尔电流传感器进行高频电流的测量较好的解决了电流波形失真和精确度的问题, 为准确分析和判断高速开关器件和其他电子元件的质量以及逆变器工作的性能提供了可靠的依据。

图 3a 为逆变器中流过 IGBT 电流测试的示意图。将 IGBT 发射极的连线穿过霍尔传感器内孔, 接通传感器的控制电源, 当逆变器工作时就能方便地从测量电阻上观察到 IGBT 的电流波形, 如图 3b 所示。电流幅值的大小为

$$I = \frac{U_{Rm}}{R_m} / K \quad (3)$$

式中 U_{Rm} 为测量电阻上测得的电压; R_m 为测量电阻; K 为匝数比。

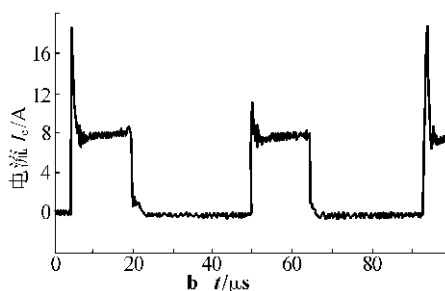
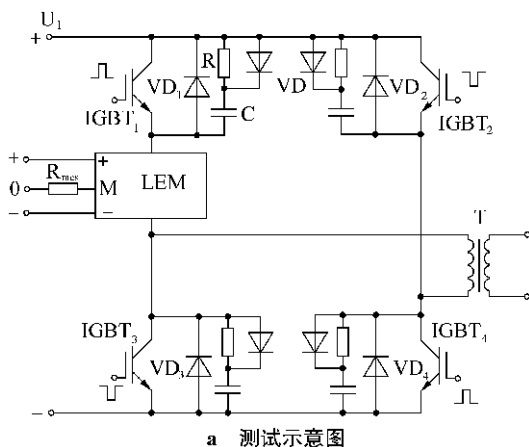


图 3 逆变开关管(IGBT)电流测试图及波形

由于霍尔电流传感器动态响应速度快(小于 $1 \mu s$), 频带宽($0 \sim 100 \text{ kHz}$), 测量精度高, 因而能真实地反映开关器件上的电流特性。

2.2 在逆变器电流负反馈中的应用

为了满足弧焊工艺的要求, 弧焊逆变器输出的外特性必须具有相应的适应性, 而弧焊逆变器的不同形状的外特性曲线是利用电子控制系统和不同

专题讨论——焊机中电子器件的选择与应用

大小量的电流、电压负反馈对逆变器实施闭环控制而获得的^[3]。该闭环控制系统结构框图如图4所示,其输出的外特性曲线如图5所示。

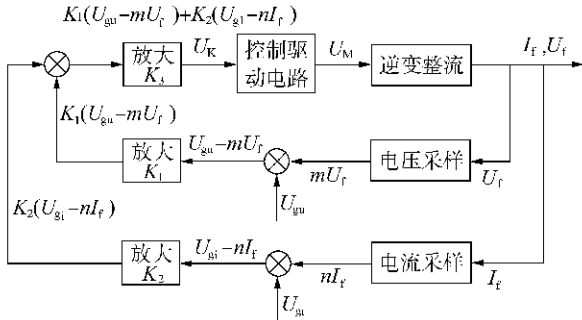
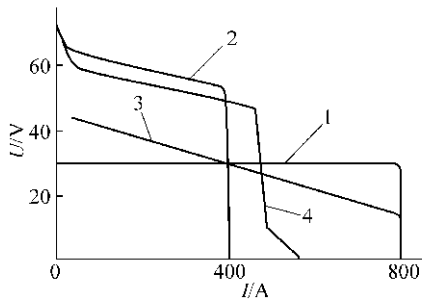


图4 弧焊逆变器闭环控制系统示意



1—恒电压特性;2—恒电流特性;3—缓降特性;4—恒电流外加外拖特性。

图5 弧焊逆变器的外特性

由图4可知,输入控制驱动电路的控制电压 u_k 为

$$U_k = K_3 [K_1 (U_{gi} - mU_f) + K_2 (U_{gi} - nI_f)] \quad (4)$$

式中 K_1, K_2, K_3 、为放大环节放大倍数; m 和 n 分别为分压比和分流比。

U_k 一般只有零点几伏至几伏,而放大倍数 k_3 一般较大,因而 U_k/K_3 可近似为零。进而当只取电压负反馈时,即 $mU_f \neq 0, nI_f = 0$,可得到恒电压外特性 $U_f = \frac{1}{m} U_{gi}$,如图5中曲线1。当只取电流负反馈时,即 $nI_f \neq 0, mU_f = 0$ 时,可得恒电流外特性 $I_f = \frac{1}{n} U_{gi}$,如图5中曲线2。当电压和电流负反馈同时采用时,即 $U_{gi} \neq 0, I_{gi} \neq 0$ 时,可得到外特性曲线如图5中曲线3。当电压大于一定值时只取电流负反馈,而当电压小于此值时,电压负反馈和电流负反馈同时采用时,得图5中曲线4的恒电流外拖特性曲线。

由以上分析可看出,借助于电流、电压负反馈和电子控制电路可实现逆变器外特性曲线的变化。而电流负反馈在外特性曲线的变化中起到了至

关重要的作用。以逆变式直流弧焊电流为例,在霍尔电流传感器未被普遍推广应用之前,大多采用分流器对焊接电流进行采样。用分流器得到的电流信号是毫伏级(小于等于75 mV),信噪比小,而且控制回路与主电路之间存在公共点,致使干扰信号增加,系统的稳定性受到影响。采用霍尔电流传感器对焊接电流采样并进行负反馈控制,如图6所示,实现了与逆变电源输出回路的完全隔离,动态响应速度快,采样电流与输出焊接电流实现了同步线性控制。图6中,霍尔电流传感器置于经整流、滤波后的直流侧,获得的反馈信号为伏级(可达4 V左右),抗干扰能力强。因此采用霍尔电流传感器负反馈,其电源外特性不仅能满足TIG焊的焊接工艺要求,与电压负反馈配合后还能满足焊条电弧焊和气保焊等的焊接工艺要求。

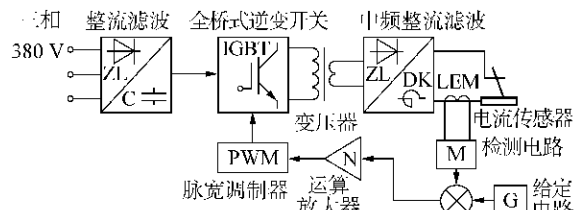


图6 使用LEM传感器采样的IGBT弧焊逆变器原理

2.3 逆变电源的过载或短路保护

在逆变焊接电源发生过载或短路时,霍尔电流传感器检测到的焊接电流值超过过电流保护电路的电流设定值时,经过电流保护电路中比较器判断,其输出对PWM调制系统(或PFM调制系统)进行控制(参阅图6),封锁住PWM(或PFM)输出脉冲,使逆变器中所有功率器件由于无输入脉冲而关断,逆变器输出电流降为零,进而对逆变电源不致于因焊接电流的过载或短路而遭破坏。

3 霍尔电流传感器电焊机应用中应注意的问题

3.1 磁路设计中提高霍尔电流传感器测试精度的措施

由式(1)可知:霍尔电压的大小与加在霍尔元件上的控制电流 I_H 及磁感应强度 B 成正比。

图7为开了一个缝隙的环形磁路,缝隙中放入霍尔元件H。磁路的中心长度为 L 、截面积为 S 、磁导率为 μ_1 、气隙长度为 L_0 、截面积为 S_0 、空气的磁导率为 μ_0 ,在忽略漏磁影响,并认为磁通是连续的(即 $\varphi = \varphi_0$)情况下,当绕组匝数 N 通以电流 I 时,加在

专题讨论——焊机中电子元器件的选择与应用

霍尔元件气隙中的磁感应强度 B_0 为^[4]

$$B_0 = NI\mu_0\mu S / (\mu_0 S_0 L + \mu SL_0) \quad (5)$$

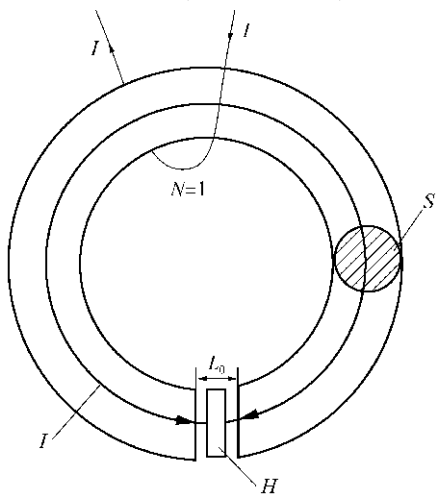


图 7 磁路示意

由式(5)中可知,为了提高霍尔元件的输出电压 U_H , 希望增加磁隙中磁感应强度 B_0 时应增加 μ_0 、 μ 和 S ; 同时设法减小 L 、 L_0 和 S_0 。减小 L 会受到使用场合的限制, 减小 L_0 受到霍尔元件厚度的限制。增加 S 与减小 L 一样会受到工作场合的限制。因此, 磁路的选择应根据使用条件综合考虑以上各因素, 达到灵敏度高、体积小、性价比高的目的。

除了选择高导磁材料构成磁路外, 使气隙端面收缩, 提高 S/S_0 的值也是增强气隙中磁感应强度的常用方法。图 8 中端面收缩后使 S_0 减小, 气隙中的磁感应强度 B_0 增加。可以把 S_0 减小到霍尔元件面积范围内, 以集中更多的磁能。但收缩不能过大过急, 否则漏磁的影响就十分突出, 反而会使 B_0 减小。

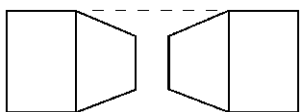


图 8 为增加 S/S_0 在磁路端面收缩

此外还存在以下影响测试精度的问题:

(1) 磁心的剩磁问题。

当被测载流体电流 $I_f=0$ 时, 磁场强度 H 亦为零, 而磁心的剩磁 $B=B_s$, 此时霍尔元件会输出霍尔电压, 对测量产生误差。

这个问题可以靠采用剩磁小的高导磁材料来解决, 据资料记载: 目前国际上已研制出剩磁接近于零的高导磁材料。

(2) 大地磁场(或其他外磁场)的影响。

由于大地磁场穿过霍尔元件, 所以霍尔元件的输出有大地磁场所产生的分量 U_{H0} 。如果改变霍尔电流传感器的位置, 使大地磁场不穿过霍尔元件, 则由大地磁场引起的霍尔输出电压 $U_{H0}=0$, 此时就可消除大地磁场对测量造成的误差影响。此外其他外界的干扰磁场所造成的误差也是一个不可忽略的重要因素。如焊接车间是各种焊接设备较集中的地方, 产生的各种电磁干扰也就客观存在。为避免这些外磁场干扰引起的测量误差, 将霍尔传感器用金属屏蔽起来, 不让杂散磁场进入霍尔元件而被隔离在屏蔽壳上^[5], 进而也就消除了大地磁场或其他干扰磁场对测量精度造成的误差影响。

(3) 元器件的选择。

a. 传感器中所用的放大器应选用高增益、低漂移、低噪声的放大器, 如 F07、F7650 等。

b. 选用的电阻应是高稳定度的精密电阻, 如 RX70 系列的精密电阻或 EE 系列的金属膜电阻。

c. 传感器选用的半导体材料是既要保证温度系数小, 以使其在温度变化的情况下能保证输出的霍尔电压不变, 又要保证线性度好、高稳定度的霍尔元件。

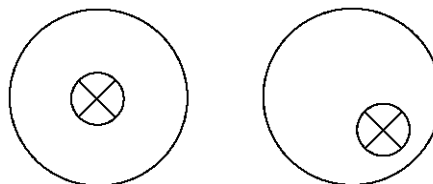
在电阻焊焊接电流测量应用中, 由于焊接电路电流很大, 如果磁性材料本身的磁饱和强度较小, 则容易使磁介质达到饱和, 导致输出的霍尔电势下降, 因此用于电阻焊大电流测量的霍尔传感器应采用: ①磁饱和强度高的材料作导磁介质; ②降低磁感应强度, 如增大磁心缺口, 则磁感应强度 B 减小, 霍尔传感器输出 U_H 也随之减小。

3.2 霍尔电流传感器使用中应注意的问题^①

作为焊接大电流测试的首要环节——霍尔电流传感器具有精度高、线性度好、可靠性高、响应速度快等优点外, 正确地使用是保证这些优点得到充分发挥的必要条件, 因此使用霍尔电流传感器时必须注意以下几点:

(1) 根据测量对象的不同, 正确选用不同型号的传感器。

(2) 为了得到较好的动态特性和灵敏度, 注意一次线圈和二次线圈的耦合, 如图 9 所示。



a 导线居中 b 导线偏旁

图 9 用霍尔传感器测电流

①中端合资莱姆电子有限公司.LEM 电压传感器模块应用手册。

霍尔传感器在图 9a 和图 9b 两种不同位置所测得的电流值是不同的。图 9a 所测得的电流大。为了得到较高的精确度,使被测带电体在传感器中耦合良好,位置正确,最好用单根导线作为被测带电体,并且导线埋满传感器模块孔径。

(3)使用中当大的直流通过一次线圈时,而二次侧电路没有接电源或二次侧开路时,则传感器磁心被磁化,产生剩磁而影响测试精度,发生这种情况时,要首先进行退磁,其方法是:二次侧电路不加电源,而在一次侧电路中通一交流电流并逐渐减小其值。

(4)传感器在大多数应用中一般都能满足外磁场干扰的要求,但当有较强的磁场干扰时,就要采取适当措施来解决。除前面提到的可以采用外磁场屏蔽罩外,调整传感器模块的方向,使外磁场对霍尔元件没有作用也是一个行之有效的办法。另外也可设计或选用两个或几个补偿电路或具有补偿功能的模块来抵消外磁场的干扰。

(5)霍尔传感器的最佳精度是在额定值得到的,所以当被测电流低于额定值时,为了得到最佳精度,一次侧可使用多匝,即 $I_1 N_1 = \text{额定安匝数}$ 。

(6)安装霍尔传感器的焊接回路电流排或馈线温不应超过 $80\text{ }^\circ\text{C}$,这是因为霍尔传感器温度变化将引起传感器精度误差的变化。为了在温度变化的情况下保证霍尔电势不变,除前面所述选用温度系数小的半导体材料外,还可采用适当的温度补偿电路。

(7)霍尔传感器的控制电流要求是一个稳定的

恒电流源。这是因为霍尔元件的输出电压 U_H 与控制电流 I_H 成正比。换句话说,控制电流 I_H 的不稳定,会造成输出电压 U_H 不稳定,增大了测量精度的误差。

4 结论

焊接电流具有非线性、值大、特别是电阻焊设备其焊接电流变化范围大,持续时间短,对焊接电流控制精度的高低,直接关系到焊件质量的优劣,关系到焊件的使用性能和使用寿命。在焊接质量控制中,检测焊接电流的手段——传感器则是测试设备中最关键的环节。它的质量优劣、精度高低,以及焊接测试中产生的误差,将对焊接质量产生直接的影响。霍尔传感器的推广应用,促进了大电流测试技术的提高,推动了焊接技术的发展。正确地设计和应用霍尔传感器将是充分发挥其在测试技术方面的优势的必要条件。

参考文献:

- [1] 申忠如.现代测试技术与系统设计[M].西安:西安交通大学出版社,2006.
- [2] 王志强.莱姆(LEM)电流传感器在弧焊逆变器研究中的应用[J].电焊机,1993(2):19-21.
- [3] 黄石生.逆变理论与弧焊逆变器[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [4] 卢文科.霍尔元件与电子检测应用电路[M].北京:中国电力出版社,2005.
- [5] 王福生.空芯线圈传感器在阻焊大电流测试中的探讨[J].电焊机,1992(1):10-13.

惰性气体保护焊常用保护气体的性质及特点

惰性气体保护焊用保护气体有氩、氦、氩-氦混合气体和氩-氦混合气体。

(1)氩气。氩气是惰性气体,具有高温下不分解又不与焊缝金属起化学反应的特性,密度比空气大 37%,使用时不易漂浮失散,所以是一种理想的保护气体。氩气是分馏液态空气时的副产品,常含有一定数量的氧、氮、二氧化碳及水分,直接影响焊缝质量。因此,使用氩气的纯度应大于 99.95% 以上。

(2)氦气。属惰性气体,但与氩气相比,性质有较大差别。

a. 在氦气中容易引弧,电弧稳定而柔和,氩气则较差。

b. 同样电流和弧长,氦弧的电压明显比氩弧高,所以氦弧的温度高,发热大且集中,是氦弧焊的最大优点。在同等条件下,钨极氦弧焊的焊接速度比钨极氩弧焊快 30%~40%,且可获得熔深较大的窄焊道,热影响区也明显减小。

c. 氦气的密度大,易形成良好的保护罩。为了获得同样的保护效果,氦气流量必须比氩气大 1~2 倍。

但由于氦气价格高昂,目前应用还很有限。

(3)氩-氦混合气体。氩气电弧稳定柔和,阴极清理作用好;氦气电弧发热量大且集中,具有较大的熔深。采用氩-氦混合气体可同时具有两者的优点,一般混合气体体积比例是氩 75%~80%,氦 25%~20%。

(4)氩-氦混合气体。氩气中添加氦气可提高电弧电压,从而可提高电弧热功率,增加熔深,并且防止焊缝产生咬边,抑制 CO 气孔的作用。氩-氦混合气体的应用只限于焊接不锈钢、镍基合金和镍-铜合金,因为氦在一定含量范围内对这些材料不会引起有害的冶金影响。常用的成分是 $\text{Ar}+\text{He}15\%$,所以焊接厚度为 1.6 mm 以下的不锈钢对接接头,焊接速度可比用纯氩气时快 50%。

