

T_1 为一脉冲变压器,脉冲信号经稳压管限幅输入脉冲变压器的一次侧。为了防止过高的对称信号击穿电路元件,脉冲变压器的二次侧输出电压被稳压管限幅后进入控制系统内部。脉冲发生器的输出电压波形如图 2 中 A 所示的方波,脉冲频率为 10 kHz。当手柄开关处于断开状态时,脉冲发生器产生的方波信号通过脉冲变压器传递到光耦输入端,使光耦导通,其输入端电压 U_{ef} 和输出端电压 U_g 波形分别如图 2 中 B, C 所示。整个电路的工作过程可以分为三个阶段。

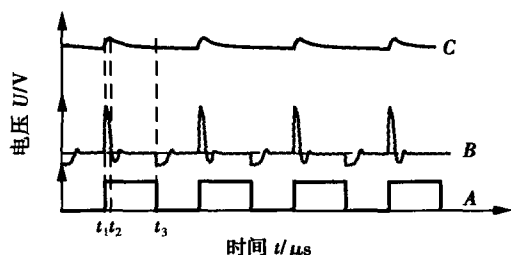


图 2 手柄开关断开时的波形
Fig.2 Wave of turn-off bat-handle switch

t_1 时刻,在方波信号上升沿,电压变化很快,使得脉冲变压器产生一个尖脉冲,可以看到, U_{ef} 迅速上升,加在光耦两端电压迅速增大,使光耦导通。

$t_1 - t_2$ 时刻为尖脉冲的维持时间,即光耦的导通时间。由于光耦中光电三极管导通,其内阻很小, VCC (供电电压) 对 C_4 快速充电,光耦输出端电压 U_g 升高,形成如图 2 中 C 曲线出现的小段脉冲。

$t_2 - t_3$ 时刻,方波信号为高电平,电压不变故脉冲变压器不工作,尖脉冲消失,光耦关断, C_4 开始放电。由于通过 R_4 至控制系统输入端的放电回路电阻很大,放电速度很慢,使得光耦输出端电压 U_g 在整个周期都维持高电平。如果控制系统检测到的电压信号为高电平,则说明手柄开关处于断开状态。

手柄开关 S_1 闭合时,相当于脉冲变压器的其中一个次级 a, b (图 1) 被短路,电流 I_1 迅速增大,导致变压器原边电流 I_2 增大,原边阻抗 R_3 上的电压降增加,这将使原、副边绕组端的电压 U_{cd} , U_{ef} 都下降至零,不能驱动光耦。此时,其输入端电压 U_{ef} 和输出端电压 U_g 波形分别如图 3 中 B, C 所示,均为低电平。即控制系统检测到光耦输出端电压 U_g 为低电平时则证明手柄开关已经闭合。这时控制引弧高频发生器启动,实现引弧。可见,在手柄开关信号传递的过程中,当手柄开关断开时,系统检测到的信号一直为高电平,此时由于高频引弧没有开始工作,检测到的高电平没有杂波,对控制系统几乎不会造成

干扰;当手柄开关闭合时,利用了该脉冲变压器下降外特性的特点,使光耦输入端保持为低电平,不能驱动光耦,系统检测不到任何信号。这样,既能有效隔离干扰信号,又能正确地传递焊接控制信息。

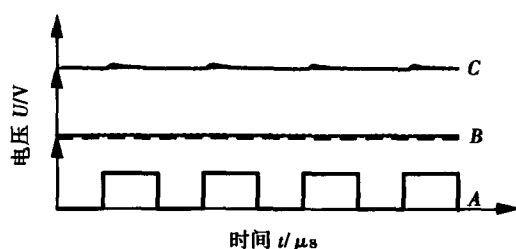


图 3 手柄开关闭合时波形
Fig.3 Wave of closing bat-handle switch

1.2 试验结果

在手柄开关信号传递的过程中,主要的干扰源是高频引弧信号。试验通过在手柄开关线上加上人为干扰,模拟高频干扰的极限情况,对设计的手柄开关信号传输电路进行了抗干扰测试。模拟干扰电路如图 1 中的抗干扰试验电路,包括 T_2 , R_5 和 AC。其中, T_2 为一普通的铁氧体铁心,为了减少附加在手柄开关上的感抗,铁心两端各绕一匝线圈; R_5 阻值为 10 Ω ; AC 为一干扰信号源。试验时在手柄开关线上加上不同频率和电压的人为干扰,通过测量铁心 T_2 原边电压和 R_5 两端电压来确定耦合到手柄开关线上的电压和电流,从而计算出其所能抑制干扰的强度。因为高频引弧频率一般在 100 ~ 260 kHz 之间,故试验过程中加在开关线上的干扰频率在 100 ~ 300 kHz 之间,试验结果如表 1 所示。

表 1 不同频率时能抑制干扰的强度

Table 1 Intensity of anti-interference in different frequencies

干扰频率 f/kHz	T_2 原边电压 U_{m1}/V	R_5 两端电压 U_{m2}/V	通过 R_5 电流 I/A	噪声干扰 N_{EP}/mW
100	9	7	0.7	7
125	46	30	3	21
150	40	26	2.6	21
175	15	11	1.1	12
200	12	9	0.9	10
250	12	8	0.8	10
300	7	3	0.3	3

由表 1 可知,干扰频率在 100 ~ 250 kHz 时, 7 mW 以下的干扰都能够有效隔离。远远大于高频干扰信号耦合到开关线上的干扰,不会因为干扰造成误动作。

2 电弧电压检测电路的抗干扰分析

在 TIG 焊时,需要对电弧电压进行检测,其作用是一方面要显示电弧电压值;另一方面要判断电弧是否高频引弧成功,实现焊接工作程序的转换。设计的电弧电压信号检测电路如图 4 所示,从电源输出端 a, b 处采集电源输出电压,经过电感电容(LC)滤波器和线性光耦的吸收隔离,由 E 端输入到 DSP 控制系统。电压信号检测时,抗干扰和保证采样电压的真实性是需要重点解决的问题。通常,在电压信号检测时存在两个方面的干扰,由于检测电路与高频发生器和电源都是并联的(图 4),一方面,高频引弧频率为几百千赫兹,电压更可高达数千伏,其窜入能力比一般噪声要强烈,尤其是一旦旁路电容

被损坏,高频、高压信号会直接加到检测电路两端并通过导线窜入控制电路中,造成控制失败;另一方面由于电压信号是由电源输出端传递到控制系统中,主电路高频变压器和整流二极管在工作过程中引起的电压尖峰和电流尖峰^[4],会形成传导性电磁干扰,通过电弧电压检测电路传递到控制系统中,对控制系统造成干扰。针对以上干扰,通常解决的措施是滤波和隔离技术。采用光耦器件进行隔离简单易行,但一般开关光耦因为输入输出的线形较差,并且随温度变化较大,使电压检测信号的失真度很大,而系统对于电压信号的准确性又要求很高。为了解决以上问题,设计采用了线性光耦和 LC 滤波器抑制干扰,线性光耦既能完全隔离电压尖峰,又能实现线性传输,保证采集电压信号的真实性;LC 滤波器有效抑制了高频干扰。

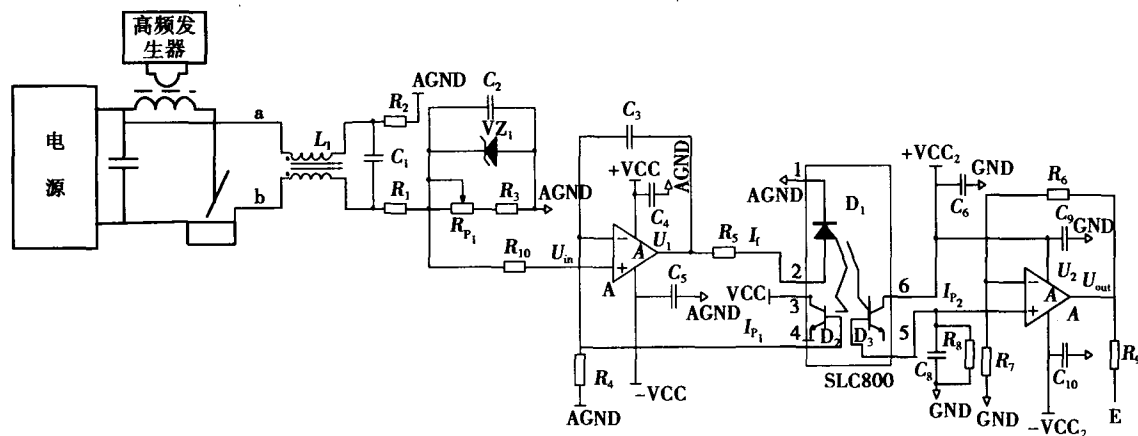


图 4 电弧电压检测电路

Fig.4 Sampling circuit of arc voltage

2.1 滤波器的设计

使用低通滤波器是抑制高频噪声传导最有效的手段,在交流电源滤波器中,通常采用简单的 LC 线路,如图 4 中包括共模电感 L_1 和滤波电容 C_1 所组成的滤波电路。由于 L_1 的两个线圈匝数相同,绕向一致,电源线中的往返工作电流在铁心中产生的磁通方向相反,互相抵消,同时使用了磁导率很高的磁心,因而基本上不起电感作用;当由高频信号辐射或窜扰到电路产生的共模电流通过共模线圈时,由于电流产生的磁通相互叠加,从而获得相当大的电感量,高频成分主要降在电感上,而低频成分几乎无衰减地通过电感并到达后级负载。根据给定的滤波器负载 Z 以及截止频率 f_c 可以计算出电感 L 值, $L = Z/\pi f_c$, 此处 L 值为电感 L_1 自感与互感之和。滤波器不仅能抑制共模干扰,而且,利用电感的漏感

和旁路电容 C_1 能抑制串模干扰,具有双向滤波作用, C_1 采用薄膜电容器,容量大致为 100 pF。整个滤波器采用半封闭结构,用钢板屏蔽,要尽量使输出端引线最短,并有良好的接地,否则会影响滤波效果^[5]。

如图 5 所示,在 a, b 处加一个干扰源,电源输出

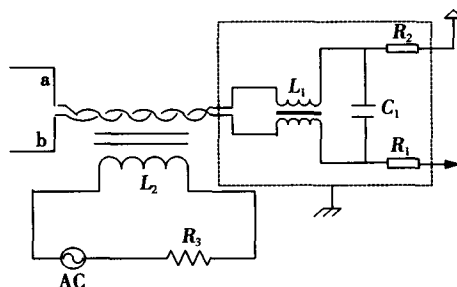


图 5 电弧电压检测电路抗干扰测试

Fig.5 Anti-interference test of sampling circuit of arc voltage

线以双绞线的形式绕在铁芯的一端,铁心的另一端绕有干扰信号线,这样就人为加上了共模干扰。试验结果如图 6 所示,在图 5 所示的负载下,共模扼流圈对 100 kHz 以上的高频干扰的衰减度达到 20 mW 以上,曲线斜率较陡,说明滤波功能频率响应变化快,滤波功效好。

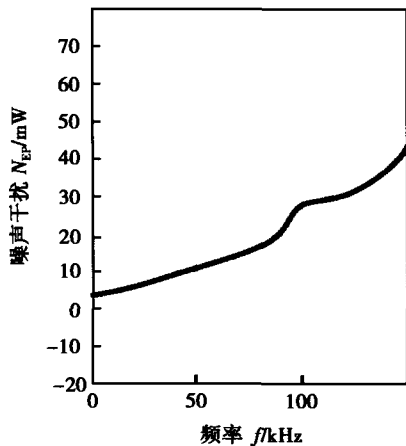


图 6 共模扼流圈对不同频率干扰的衰减度

Fig.6 Attenuation of common mode choke

2.2 线性光耦的原理及应用

光隔离是一种很常用的信号隔离形式。由于电信号以光线为传输介质,因而实现了输入和输出信号在电气上的良好隔离。设计中采用高性能线性模拟光耦器件 SLC800。它使用高匹配晶体管使伺服反馈回路和传递输出回路达到非常好的匹配。这些特性使 SLC800 的线性度很高,用于电弧电压检测电路时,采集到的信号失真度很小。其原理如图 4 所示, D_1 发光二极管分别与 D_2, D_3 两个光电三极管耦合形成反馈驱动回路和前级输出回路,左右两个部分的供电电源与地是完全隔离的。其中 D_2 光电管被用作输入伺服反馈, D_3 光电管被用于输出电路。SLC800 有两种配置方式,即光敏配置和光电配置,这两种配置方式对频率的响应是不一样的。

采用的光敏配置方式,其响应带宽为 0 ~ 200 kHz。如图 4 所示,当输入电压 U_{in} 为零及输入电流 I_f 为零时, U_1 有一个大的开环增益值。随着 U_{in} 值的升高, U_1 的输出值开始进入 VCC 的轨迹上。随着 U_1 输出的增大, I_f 开始有电流值而发光二极管也进入工作状态。接着,光电三极管 D_2, D_3 收到发光二极管所发出光的照射而导通,并分别产生电流 I_{P1}, I_{P2} 。当 I_{P1} 流经过 R_4 ,在运放 U_1 的反向输入端便产生电压 U_A ,即

$$U_A = R_4 \cdot I_{P1} \quad (1)$$

使得放大器进入反馈工作状态。当 U_A 的值与 U_{in} 相等时 I_f 的值便不再增加,电路处于稳定的闭环状态。发光二极管所产生的光同时照在两个发光三极管 D_2, D_3 上, D_3 产生的输出电流 I_{P2} 与发光二极管 D_1 的发光强度有关,而这一强度的改变也直接反映在 D_2 产生的反馈电流 I_{P1} 上,虽然两个光接受电路都是非线性的,但两个光接受电路的非线性特性都是一样的,这样,就可以通过反馈通路的非线性来抵消直通通路的非线性,从而达到实现线性隔离的目的。线性光耦的输出电压为

$$U_{out} = I_{P2} \cdot R_8 \quad (2)$$

驱动电流 I_f , 反馈驱动电流 I_{P1} 和前级输出电流 I_{P2} 存在如下关系式

$$I_{P1} = K_1 \cdot I_f \quad (3)$$

$$I_{P2} = K_2 \cdot I_f \quad (4)$$

式中: K_1, K_2 分别为线性光耦的伺服增益和线性增益。综合式(1) ~ 式(4)可得

$$\frac{U_{out}}{U_A} = \frac{R_8 \cdot K_2}{R_4 \cdot K_1} \quad (5)$$

设 K 为光耦的传递增益, $K = K_1/K_2$,典型值为 1,稳定状态时 $U_{in} = U_A$,所以线性光耦 SLC800 的传输特性为

$$\frac{U_{out}}{U_{in}} = \frac{R_8}{R_4} \quad (6)$$

在应用中,可以通过电阻匹配,使得 $R_8 = R_4$,则有 $U_{in} = U_{out}$,也可以通过 R_4, R_8 不同阻值的匹配实现信号放大。另外由于光耦会产生一些高频的噪声,通常在 R_8 处并联电容 C_8 ,构成低通滤波器,具体电容的值由输入频率以及噪声频率确定。可见,光耦输入、输出的电压值最终是由电阻决定的,而电阻受外界条件影响很小,通常情况下是非常稳定的,所以,采集到的电压信号失真度非常小。这样,既实现了电弧电压的线性传递,又抑制了电压尖峰对数字控制系统的干扰。

3 结 论

(1) 采用脉冲变压器隔离的手柄开关信号传输电路能够将高频、高压信号与控制系统完全隔离开来,有效抑制了高频引弧对控制系统的干扰。

(2) 所设计的简易式单极 LC 滤波器其特点是当电流频率低于其截止频率 f_c 时,滤波器的阻抗等于某一常数;当电流频率高于 f_c 时,滤波器阻抗趋于无限大,有效抑制了噪声干扰。

[下转第 80 页]

喷嘴压缩角小,则喷嘴与阴极之间的间隙变大,拉长了电弧,提高了电弧电压。文献[8,10]表明,减小孔径,使电弧的压缩效应得到加强,从而提高电压。试验出现的现象是,随着孔径的减小,电弧电压也减小。在这方面,作者的研究与以前研究者有不一致的试验结果,得出相反的结论,究其原因,可能是阳极弧根的位置并不是都在喷嘴直孔道处,有的喷嘴阳极弧根的位置在喷嘴的压缩段处,而不在直孔道处,它是受气体的拉力和电弧本身的洛伦兹力相互作用而不断变化的。如果阳极弧根在直孔道处,那么它受孔径的影响大,并随着孔径减小,机械压缩效应增强,使电压增大。但当阳极弧根不在直孔道时,这时孔径越大,阳极弧根位置就越有可能因阳极弧根的变动而处于直孔道处,而使电弧受压缩,电压增大。

因此,在一定范围内,通过增加进气流量,不但使得等离子弧长度增加,粉末加热时间增加,而且使气体流速增大,这有利于提高喷涂粉末的加热温度和飞行速度,有利于提高喷涂层的质量。

3 结 论

(1) 在主辅气流量和压力以及电弧电流相同条件下,等离子喷枪使用不同喷嘴时电弧电压有所差异。为了满足不同粉末的喷涂需要,设计喷枪时应设计多种规格的喷嘴。

(2) 喷嘴的压缩角和孔径对电弧电压有影响。在喷嘴总长度相同的情况下,电弧电压随着压缩角的增大而减小,随着孔径的减小而减小。

(3) 喷涂时所用的工作气体种类和流量对等离子弧的电弧电压有较大的影响,电弧电压随着气体

流量增加至一定值时会出现下降。加入少量的氢气会明显地提高电弧电压。喷涂时,根据粉末的特点和对涂层的质量要求,应选择合适的工作气体种类、流量、工作电流等工艺参数。

参考文献:

- [1] 吴子健,吴朝军,曾克里,等.热喷涂技术与应用[M].北京:机械工业出版社,2006.
- [2] 王海军.热喷涂技术问答[M].北京:国防工业出版社,2006.
- [3] Trelles J P, Heberlein J V R. Simulation results of arc behavior in different plasma spray torches[C]// Proceedings of the 2006 International Thermal Spray Conference, Seattle, Washington, USA, 2006.
- [4] Dorier J L, Hollenstein C. Influence of external parameters on arc fluctuations in a F4 DC plasma torch used for thermal spraying[C]// Proceedings of the 1st International Thermal Spray Conference. Montreal, Quebec, Canada, 2000: 37-43.
- [5] 韦福水,蒋伯平,汪行恺,等.热喷涂技术[M].北京:机械工业出版社,1986.
- [6] 安连彤,高阳.阳极弧根位置对热喷涂等离子喷枪特性的影响[J].焊接学报,2005,26(6): 31-34.
- [7] 过增元,赵文华.电弧和热等离子体[M].北京:科学出版社,1986.
- [8] 沈肖镇.等离子喷枪静态伏安特性、总焓和热效率的研究[J].航空制造技术,1995(s1): 56-60.
- [9] 严志军,高阳,安连彤.直流非转移弧等离子喷枪中电弧的工作特性研究[J].材料保护,2003,36(11): 1-4.
- [10] 周庆生,周立.对提高等离子喷枪的热焓和热效率因素的分析[J].机械科学与技术,1983(5): 36-39.

作者简介: 杨 晖,男,1965 年出生,副教授,博士研究生。主要从事热喷涂技术的研究工作。发表论文 30 余篇。

Email: yanghui-yang@126.com

[上接第 76 页]

(3) SLC800 精密线性光耦器件应用在隔离技术上,使得电路简单可靠,实现容易。将该器件用于 IGBT 数字化逆变 TIG 焊机电弧电压检测电路中,电压采集准确可靠,并在提高控制电路抗干扰性能上发挥了重要作用。

参考文献:

- [1] 钟和清,邹云平,徐志新,等. DSP 数字控制系统的电磁兼容设计[J].通信电源技术,2004,21(4): 13-15.

- [2] 杜贵平,黄石生.逆变焊机的高频干扰分析及抑制方法探讨[J].电焊机,2001,31(8): 31-34.
- [3] 王福生.焊机电源的噪声干扰源分析及抑制措施(一)[J].电焊机,2004,34(8): 45-49.
- [4] Zollner F L. EMI considerations for high frequency power supplies [C]// High Freq Power Conversion Conf Proc. USA, San Diego, 1992.
- [5] Glickstein S S. Unique ways to apply the personal computer to welding [J]. Welding Journal, 2002, 81(6): 79-82.

作者简介: 王守艳,女,1982 年出生,硕士研究生。主要研究方向为焊接过程自动控制。发表论文 2 篇。

Email: wangshouyan123@163.com