

电熔焊机电源设计

李 萍¹, 刘国忠²

(1.北京信息科技大学 自动化学院, 北京 100192; 2.北京信息科技大学 光电信息与通信工程学院, 北京 100192)

摘要: 随着聚乙烯 (PE) 压力管道在燃气输送、供水领域的广泛应用, PE 管件施工现场焊接便捷、可靠, 成为体现电熔焊机性能的关键。电熔焊机电源采用 BUCK 直流斩波开关电源电路, 以单片机为控制核心, 实时监测焊接电压, 经 PI 控制算法产生电压闭环控制 PWM 信号, 并根据施工现场环境温度在焊接时间上予以补偿。该焊接电源装置电路结构简单, 焊接可靠, 便于维护, 可实现大功率焊接。

关键词: 电熔焊接; BUCK 电路; PWM 控制

中图分类号: TG43 **文献标志码:** B

0 概述

聚乙烯管电熔焊接是用电熔焊机给镶嵌在电熔套管内壁的电阻丝通电加热, 管件连接界面处的熔融物在高温和压力作用下, 其分子链段相互扩散, 并逐步缠结, 自然冷却后界面达到必要的焊接强度, 形成可靠的焊接连接^[1]。焊接过程中根据不同的管件提供相应的稳定的焊接电压, 并依环境温度在焊接电压、时间上予以补偿, 是保证焊接质量的关键。焊接电源电路的拓扑结构、控制方式直接影响输出电压的稳定性。目前, 电熔焊机电源部分采用交流相控、交流全波控制和逆变技术较为广泛^[2]。BUCK 直流斩波开关电源电路结构简捷, 输出电压可在大范围内连续调节, 具有稳定的控制性能。本文提出焊机电源采用 BUCK 电路设计, 以满足较宽范围电熔管件的焊接要求, 实现焊接电源可靠控制, 达到最佳焊接效果。

1 电熔焊机系统设计

系统硬件由微处理器 PIC16F877 及其外围接口电路和焊接电源电路构成, 如图 1 所示。其可实现: 功能菜单切换; 实时钟显示与调整; 激光条码扫描输入显示焊接管件类型、焊接电压、焊接时间、温度、冷却时间等管件标准焊接信息; 环境温度检测与显示; 完成焊接电压闭环数字 PI 控制, 有效地实现电能变换, 精确输出焊接电压; 存储可供追溯的焊接管

件实际焊接过程中的各项参数; 提供可查询的焊接管件数据库^[3]。

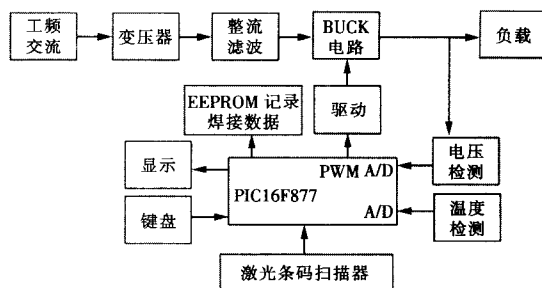


图1 电熔焊机系统设计框图

2 电熔焊机电源电路设计

降压变换器 (BUCK 变换器) 是将直流输入电压变换成平均电压较低的直流输出电压。其拓扑结构如图 2 虚框所示。通过改变功率开关器件的占空比实现控制输出电压^[4]。

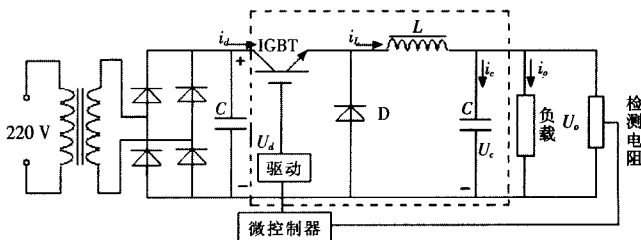


图2 电熔焊机电源电路原理图

负载为焊接加热套管内嵌的电阻丝, 其属于低阻负载, 阻值为几 Ω , 焊接过程中焊接电流可达到几十 A, 功率 kW 级, 属于大功率负载。直流变换电流是为解决系统效率, 特别是大功率系统的效率而提出

来的解决方案。采用 BUCK 电路可以有效地提高焊接系统的焊接效率。

电路结构为变压器将工频 220 V 电压变为 60 V, 经二极管桥式整流电路、滤波电容得到稳定的直流电压。通过功率开关器件的快速通断, 把直流电压斩成一系列脉冲电压, 控制开关器件的占空比即改变脉冲序列的脉冲宽度, 从而实现输出电压平均值的调节, 电路输出端经低通滤波器 L 、 C 电路, 使被控负载上得到电压、电流可控的直流电能。

2.1 电源电路参数选取

笔者的设计指标有: 考虑工频交流电压波动, 输入电压范围为 175~250 V; 经变压器和整流桥后 BUCK 电路输入电压范围为 DC +43~61.3 V; 输出电压范围为 DC +8~50 V; 输出纹波峰峰电压为 5 V; 输出功率为 3 500 W; 输入功率为 3 800 W。

根据上述指标估算电源电路中元器件参数。

(a) 输入滤波电容

该电容流过与功率开关器件相同的电流, 电流波形是梯形的, 其工作条件比输出滤波电容恶劣得多。电容值由下式估算:

$$C_{in(min)} = \frac{P_{in}}{f_s (U_{ripple(p-p)})^2}, \quad (1)$$

式中: f_s 为开关器件工作频率; $U_{ripple(p-p)}$ 为输出电压纹波峰峰值; P_{in} 为输入功率。根据公式可计算得到最小输入滤波电容, 试验中选取 4 700 μF 电解电容。

(b) 功率开关器件

考虑 IGBT 在规定条件下安全地重复开关最大电流, 以及高频工况下的载流能力, 在试验中能承受的电压、电流, 同时考虑安全余量, 选择 IGBT 仙童公司产品 IMBH60D-100。

(c) 电感设计

最恶劣的工作情况是在高输入电压时:

$$L_{min} = \frac{(U_{in(max)} - U_{out})(1 - U_{out}/U_{in(max)})}{1.4 I_{load(min)} f_s}, \quad (2)$$

式中: $U_{in(max)}$ 为最大的输入电压; U_{out} 为输出电压; $I_{load(min)}$ 为最小负载时的电流; f_s 为工作频率。该公式可计算电感参数的最小值, 试验中选取 200 μH 。

(d) 输出滤波电容

输出最小电容值由下列公式确定:

$$C_{out(min)} = \frac{I_{out(min)}(1 - D_{(min)})}{f_s U_{ripple(p-p)}}, \quad (3)$$

式中: $I_{out(min)}$ 为最小输出电流; $D_{(min)}$ 为最小占空比。通过计算及考虑到实际应用, 选取电容值 100 μF 电解电容。

试验中把容量不小于设计值 1/2 的 2 个电容并联起来, 可以得到较小的电容等效电阻 ESR。

2.2 功率开关器件驱动及保护电路设计

IGBT 采用专用的混合集成驱动电路。根据驱动器件的容量、开关频率和输入电流幅值等参数的不同选取相应的驱动芯片。试验装置中使用三菱公司的 M57962L 集成芯片。该器件将退饱和与保护环节混合集成在单列直插式厚膜驱动片内, 为双电源方式。M57962L 驱动 IGBT 电路原理图如图 3 所示。1 管脚经高压快恢复二极管检测开关管集电极电位, 当电流过大时集电极电位升高, 迅速关断输出脉冲, 同时 8 脚电位降低, 通过外接光耦将故障信号传送到单片机, 并由其发出切断 14 脚脉冲。1 脚所接的 30 V 稳压管具有防止主电路的高压串入、保护驱动芯片的作用。栅射极之间的 2 只反串联的稳压管起嵌位保护作用^[5]。

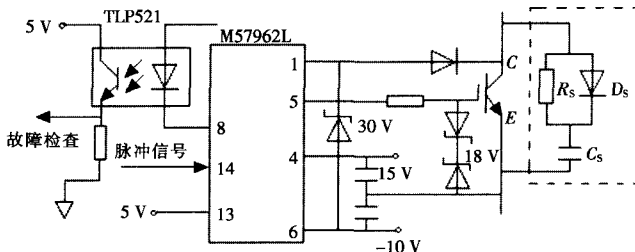


图3 功率开关器件驱动与缓冲电路原理图

2.3 功率开关器件缓冲电路设计

缓冲电路是抑制电力电子开关器件在导通、关断时产生过电压 du/dt , 过电流 di/dt , 减少器件开关损耗。试验装置采用与 IGBT 并联的 RCD 缓冲电路^[6] (图 3 中虚线框)。当 IGBT 关断时, 与其并联的 RCD 缓冲电路对管子集电极电流分流, 电容 C_s 通过二极管 D_s 充电至 U_{CE} , 当管子开通时, 电容 C_s 通过电阻 R_s 放电, 从而减小开关管的应力。电容参数值可通过式 (4) 确定:

$$C_s = I_c(t_r + t_f) / U_{CE}, \quad (4)$$

式中: I_c 为最大集电极电流; U_{CE} 为最大集射极电压; t_r 为最大集电极电压上升时间; t_f 为最大集电极电流下降时间。

满足 $R_s \leq \frac{t_{on}}{3C_s}$ 和 $R_s \geq \frac{U_{CE}}{0.25I_c}$, 可确定放电电阻

R_s 的值。放电电阻的功率 $P_R = \frac{1}{2} C_s U_{ce}^2 f_s$, 其中 f_s 为开关管的工作频率。

关于 D 的选择一般采用保证足够的电压、电流、开关速度的快恢复二极管。

通过理论计算和试验中调试, 选取 $C_s = 0.5 \mu F$, 耐压 70 V 的 CBB 电容, 放电电阻为水泥电阻 2Ω (8 W)。

3 电熔焊接软件设计

电熔焊接机完成一次管件的焊接, 首先通过激光条码扫描器扫描厂家附给管件的各项焊接参数, 提取焊接管件的焊接电压、焊接时间、理想焊接温度、冷却时间等信息, 实时检测当前环境温度变化情况, 计算带有温度补偿的焊接时间, 等待焊接指令。一旦控制器接收到焊接指令, 就进入焊接状态, 启动焊接定时器, 控制器根据焊接电压转换成一定占空比的脉冲信号驱动开关器件, 同时实时检测负载电压, 检测值与给定值比较, 经 PI 控制算法产生的控制量转化成一定脉宽的脉冲信号。该焊接系统是以单片机 PIC16F877 为控制核心, 以 BUCK 为主电路的焊接电压闭环控制系统, 最终达到恒压焊接。由于该系统控制带有滞后性, 因此焊接时间根据焊接过程检测输出电压达到给定电压值的迟滞情况实时予以补偿, 其目的是保证焊接质量。当焊接时间到时, 自动停止焊接, 并切断电源。同时, 定时器装载冷却时间常数, 定时到发出完成一次焊接的蜂鸣声, 表示可以拆除焊接电源与焊接管件的连接。工作流程参见图 4。

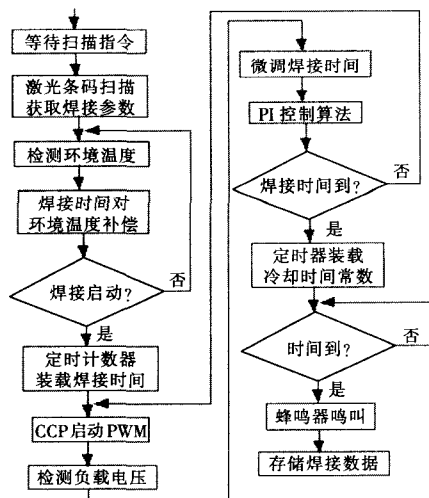


图4 控制焊接电源实现焊接的软件设计流程图

焊接过程是一个动态特性很强的过程, 要求相应的控制算法具有较强的实时性。采用数字化控制焊接机则可以通过程序实现动态控制, 试验中采用增量式 PI 控制算法, 可由下式导出:

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1),$$

$$\Delta u(k) = K_p \Delta e(k) + K_i \Delta e(k), \quad (5)$$

式中: $\Delta e(k) = e(k) - e(k-1)$, 增量式 PI 控制器的输出为本次执行机构动作的增量, 对应执行机构的输入应为控制增量的累加, 而第 k 次的输出 $u(k)$ 为 $\Delta u(k) + u(k-1)$, 因焊接电源控制量为脉冲信号, 将 $u(k)$ 转化成一定脉宽的脉冲信号。增量式控制算法具有控制灵活、误动作影响小、计算量小等优点。PI 系数通过理论计算、软件仿真以及在试验现场通过试验调整得到。

4 结论

文中以电熔焊接机电源设计为中心从电源电路拓扑结构、电路参数选取、功率开关器件的驱动电路、保护电路、缓冲电路设计以及焊接电源电压的动态控制软件设计等方面阐述, 通过试验修正设计参数, 最终达到优化焊接条件, 提高电压控制精度。该焊接电源可用于 PE 管件焊接, 具有较高的稳定性和动态控制性能, 结构简单, 控制便捷, 易于维护。

参考文献:

- [1] 肖燕, 贾晓辉. 聚乙烯管道的电熔焊接[J]. 新型建筑材料, 2007, 34(4): 15-17.
- [2] 屈稳太, 诸静. 大功率 IGBT 高频逆变电焊机的研究[J]. 电力电子技术, 2002, 39(4): 31-33.
- [3] 李萍, 刘国忠. 聚乙烯管道电熔焊机设计[J]. 微计算机信息, 2008, 24(23): 119-120.
- [4] Ron Lenk. 实用开关电源设计[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007: 131-141.
- [5] 华伟. IGBT 驱动及短路保护电路 M57959L 研究[J]. 电力电子技术, 1998, 35(1): 88.
- [6] 叶斌. 电力电子应用技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006: 324-326.

作者简介: 李萍 (1971—), 北京信息科技大学高级实验师, 主要研究方向为控制理论、检测与自动化装置。