

基于 DSP 技术的高频熔炼炉功率分配器设计

朱敬花 宋东晨 庄燕

(九州职业技术学院 江苏 徐州 221100)

摘要: 高频熔炼炉作为当前对金属材料加热效率最高且速度最快, 能耗较低的加热设备。想要保障熔炼炉的连续浇注, 就需要利用功率分配器来实现熔炼与保温之间的转换。因此, 基于 DSP 设计的高频熔炼功率分配器用于单台额定功率供电时, 可以有效地实现多台熔炼炉之间的熔炼、保温与转换, 并且还能满足连续浇注的需求。因此, 本文以高频电源为标准, 对高频电源整流部分的余弦输出特性进行了线性化校正, 并对功率调节和整输出两者之间关系进行了探究。实践证明融入线性校正之后的合成功率率为单台额定功率 3 倍, 是校正前的 3.5 倍左右, 并且和单台供电电源变压器的额定功率相近。

关键词: DSP 技术; 高频熔炼炉; 功率分配器; 设计; 线性化

0 引言

在金属浇注的过程中, 只有拥有 2 台熔炼炉进行交替工作并保证熔炼和保温的状态下, 才能够实现连续浇注。同时, 想要满足上述情况还需要对相应的设备进行设计, 也就是将 2 台设备的功率总和限制在单台额定功率范围之中即可。这样不仅能够有效地减少对供电变压器容量的过度浪费, 还能够促进供电效率的提高。但为了进一步满足该要求的提出, 就需要利用“一拖二”的电源模式, 简单来说, 就是利用 1 台高频熔炼电源来带动 2 台炉体, 并借助调频的方式实现功率之间的互补分配。而基于 DSP 设计的高频熔炼炉功率分配器设计, 非常适用于超高功率级别的高频熔炼设备。

1 功率分配器的电路组成设计

首先, 高频熔炼炉浇注功率分配器的主控电路设计, 本质上是一种利用线性校正算法工作设计的双路调节电路。该功率分配器利用 DSP 技术设计的数据处理器来控制多台高频感应加热电源, 促使其在熔炼与保温的范围当中, 进行相应地功率分配互补调节。同时, 当满足供电允许时, 还能够将设备切换到单台独立工作的方式, 实现分别使用。因此, 在 DSP 技术的介入下, 设备不仅增加了相应的运行监测功能, 还可以利用 DSP 的 CAN 总线接口与传感器连接和计算机进行通信, 并完成相应的显示和记录等功能。

其次, 利用 DSP 技术设计而成的高频熔炼浇注功率分配器控制核心, 在设计过程中为了能够有效简化电路方面的设计, 这里选择利用合众达公司的

SEED-F2047 型号的 DSP 用户板。并且, 通过该用户板, 引出了 DSP 芯片 TMS320LF2407 的所有芯片的所有 I/O 口资源 (具体作用及功能如表所示)。

表 DSP 芯片 TMS320LF2407 的所有芯片的所有 I/O 口资源及作用分析

I/O 口资源	作用
ADCIN0	主要作用于高频熔炼炉的功率分配调节
ADCIN1、ADCIN2	主要作用于高频电压的检测输入
IOPC6、IOPC7	不仅可以用于 CAN 总线接口, 还可以用于挂接测温传感器
IOPA0、IOPA1	用于与上位微机进行通信
IOPC2、IOPC3、IOPC4	连接选择开关, 用于功能设置
IOPE1、IOPE2	作为开关两输出, 用于切换中频电源的调功输入端
IOPE3、IOPE4	作为 PWM 输出端, 用于提供调功控制电压
IOPE5、IOPE6	连接 E2PROM

此外, 功率分配器的控制电路选用了两组电源来实现供电, 其中一组作为总线以及通信电路的电源, 并在 DSP 用户板上的电源芯片进行稳压后, 为 DSP 提供了高频电源。另一组电源作为继电器控制电源, 并且经过相应的稳压之后, 能够得到相对稳定的电源来用于调功信号。

2 基于 DSP 设计的功率分配其软件设计

结合高频熔炼炉对功率分配器的要求, 基于 DSP 技术设计而成的功率分配器全部程序流程图, 如图 1 所示。首先, 上电复位之后, 该程序就会进行最开始的

初始化, 并完成 I/O 口和 A/D、PWM 等方面的条件配置。接着开始对 S_1 闭合问题进行判断; 然后, 当 S_1 闭合经过程序判断完成之后, DSP 控制会进入功率分配的控制状态。这时需要开始完成 A/D 转换、线性校正以及功率分配等主要工作。线性校正是该系统控制过程中最重要的算法。因此, 在高频熔炼电源三相整流部分进行输出特性并不是线性关系, 而其调功输出同样不是线性关系。所以, 需要线性校正对其进行校正。但三相整流输出端具有平波电抗器, 可以对其输出进行感性负载处理。进而可知, 三相可控全桥输出的特性, 整流输出的电压为 U_d 。因此, 整流输出电压和导通控制角 α 两者之间的关系可以利用下列公式来表示, 同时该公式中的 U_2 为变压器二次电压的有效值。

U_d 计算公式:

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{3} + \alpha}^{\frac{2\pi}{3} + \alpha} \sqrt{6} \cdot U_2 \sin \omega \cdot t d (\omega \cdot t)$$

同时 $U_d = 2.34 U_2 \cos \alpha$ 导通角还实现了调功, 因此, 从上述公式中可以对其关系线性判断, 是余弦形式。这就

说明了在调功的过程当中, 不能够对功率进行直接的分配。如果对功率进行直接地分配, 可能导致 2 台电源的总功率超过单台额定功率的现象。

3 实现

研究以单路信号为例, 对功率分配调节输入至整流输入之间的信号传递过程进行分析。发现在线性变化下, 调功信号控制的作用下, 会使得三相整流电源导通控制角 α 。这时三相整流输出 U_d 就会呈现出余弦变化。同时, 也说明了在信号传输过程中, 发生了余弦环节。具体如图 2 所示。



图 2 信号传递等效流程图

从图 2 中可以看出, 当输出电压为最大值时, 其 U 为 DSP 输出调功信号。并且在 DSP 中信号传递会在前两个环节完成, 并且最后一个电源会在高频电源中实现。不过, 为了有效确保调节输入和整流输出两者之间的线性关系, 可以在 DSP 中的传输铜套中融入反余弦环节来解决该问题的出现。同时, 借助查表的方式来实现, 不过该方法仅适用于精度不高的单片机控制系统。

而基于 DSP 技术设计的控制核心系统, 完全可以利用函数运算来完成。因此, 高频熔炼炉的功率分配器主程序流程图中的线性校正环节的编程基础可以以相应的公式来表达。从中可以发现, 当系统在运行过程中每一次数据的输出时会连续调用两次, 并且这两次的 A/D 转换输入结果呈现互为补数。

4 实践验证分析

为了进一步验证基于 DSP 技术设计的高频熔炼炉功率分配器性能, 研究以 2 台 1000kW 的高频熔炼电源联调实验, 并在 90° 移相电路范围之中, 分别对功率分配器引入相应的线性算法。并取得相应的结果。实践证明, 当线性校正环节没有加入功率分配器时, 经实测的最大输出功率是单台额定输出功率的 3 倍, 其峰值处于控制角 $\alpha = 47^\circ$ 。而当线性校正环节加入功率分配器时, 经过验证发现其最大输出功率发生在 α 控制角的两端位置。其单台的额定功率为本来的 1.6 倍和 1.3 倍, 最小的输出功率发生在 $\alpha = 45^\circ$ 之处, 为单台

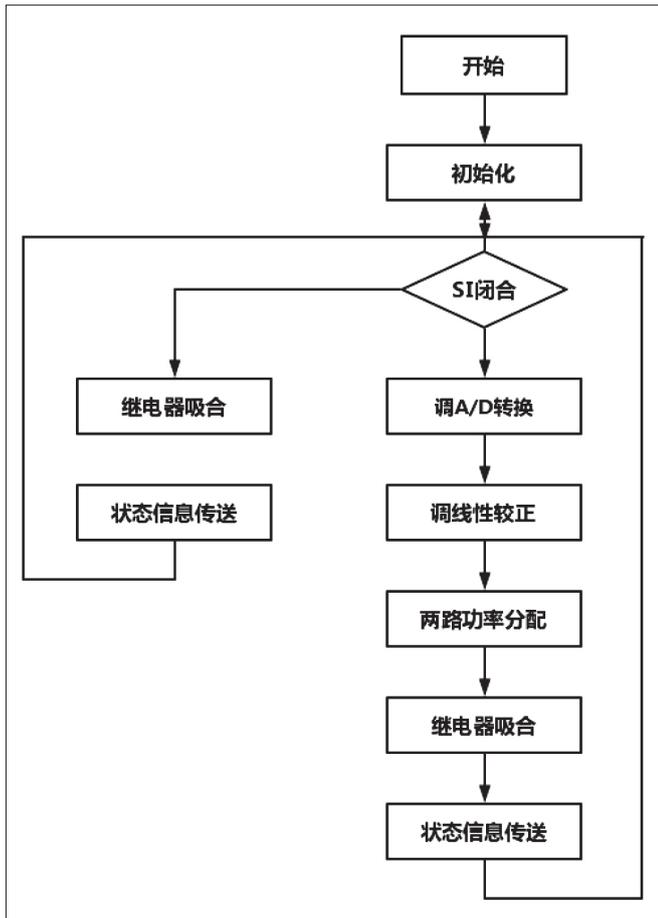


图 1 功率分配主程序设计流程图

(下转第 23 页)

口与出风口空气温度值(表3)。

表3 优化设计前后功率模组实际测试温度值

优化设计前	位置	温度 /℃	优化设计后	位置	温度 /℃
	进口空气温度	25.1		进口空气温度	25.1
出口空气温度	35.1	出口空气温度	42.2		
T1-1	63.4	T2-1	50.3		
T1-2	77.6	T2-2	62.7		
T1-3	67.8	T2-3	55.4		

结果显示,实测数据与仿真数据存在一定误差,在允许范围之内,实际测试结果与FloTHERM仿真结果基本一致。优化后的出口空气温度比优化前提高7℃,散热空气对流散热效果提升。功率模组优化设计后比优化设计前MOS管温度明显降低,功率模组散热器的散热能力得到提高。

4 结语

通过优化设计,功率模组的散热空气对流散热效果得到提升,验证了优化方案具有可行性。

参考文献:

[1] 余建祖,高红霞,谢永奇.电子设备热设计及分

析技术(第2版)[M].北京:北京航空航天大学出版社,2008.

[2] 李波,李科群,俞丹海.FloTHERM软件在电子设备热设计中的应用[J].电子机械工程,2008,24(03):11-13+30.

[3] 朱其安.基于FloTHERM的某型电源模块热设计与优化[J].机电工程技术,2020,49(08):231-233.

[4] 王长昌,杜广群.基于FloTHERM的车载电气设备风冷散热器参数优化设计[J].铁道车辆,2019,57(04):17-20.

[5] 李波.FloTHERM软件基础与应用实例[M].北京:中国水利水电出版社,2014.

[6] 梅宇.基于FloTHERM分析的某插箱热设计研究[J].舰船电子对抗,2018,41(05):111-113+117.

[7] 杨雨薇,王婉人,周尧,等.某机载设备散热器的优化设计[J].机械研究与应用,2021,34(01):99-100.

[8] 毛杨础,许升,谢磊.基于FloTHERM的风冷机箱散热设计及优化分析[J].雷达与对抗,2019,39(04):36-40.

作者简介:周小岗(1986-),男,汉族,河南新乡人,硕士,工程师,研究方向:机电产品研发。

(上接第19页)

额定功率的2倍。

5 结语

综上所述,实践验证基于DSP技术设计的高频熔炼炉功率分配器,能够充分地实现总输出率限制下的电源功率分配。并且可以实现两台熔炼炉一台在保温,另一台连续浇注的需求。不过想要利用该类型的调节形式来满足更大功率的电源,就需要注重对谐波抑制问题的重视。

基金项目:2021年度江苏省大学生创新训练项目(项目编号:202112054002Y)

参考文献:

[1] 杜彬,张志斌,雷云清,等.电子束冷床炉熔炼TA15钛合金的工艺技术[J].中国有色金属学

报,2020,30(11):2706-2713.

[2] 李宏.谈我国大功率低频电源的发展[J].电源学报,2020,18(04):200-205.

[3] 李韵豪.铸造工业的感应加热第二讲感应熔炼电炉容量确定与功率和频率的选择[J].金属加工(热加工),2020(02):63-71.

[4] 贾庆功,王珑,马乐.电子束熔炼炉自动化控制系统设计[J].设备管理与维修,2021(06):61-62.

[5] 张研,樊永辉.离心浇注球墨铸铁铸管车间除尘系统设计[J].现代铸铁,2021,41(02):58-60+64.

作者简介:朱敬花(1986-),女,汉族,山东临沂人,硕士,讲师,研究方向:智能控制技术;宋东晨(2002-),男,汉族,河南商丘人,本科,研究方向:智能控制;庄燕(1981-),女,汉族,江苏徐州人,本科,讲师,研究方向:数控技术。