

基于 FPGA 的感应加热控制系统

周跃庆, 刘栋苏, 许任男

(天津大学 电气与自动化工程学院, 天津 300072)

摘要: 设计了基于 FPGA 的感应加热控制系统, 其主要功能是实现负载谐振频率的跟踪、逆变工作状态的控制和逆变器的启动。相对模拟逆变电路而言, 其优势在于: 调试比较方便、内部参数更改容易、可在线观察数据。实验结果表明, 该系统适用负载范围宽、可调节性强。

关键词: 感应加热; FPGA; 谐振频率; 逆变控制

中图分类号: TP924.5

文献标识码: A

Induction heating control system based on FPGA

ZHOU Yue Qing, LIU Dong Su, XU Ren Nan

(School of Electrical Automation & Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The paper describes an induction heating control system based on FPGA. The main function of this system is to trace the resonant frequency of loads, control the work-state of the inverter, and start up the inverter. Compared to the analog inverter circuit, the system is more convenient to debug and alter the inner parameter. It can also be used in examining data on-line. Experimental results verify that it can be applied to a wide-range of loads.

Key words: induction heating; FPGA; resonant frequency; inverter control

感应加热电源以其环保、节能等优点在工业生产中得到了广泛的应用, 逆变控制电路是直接影响感应加热电源能否安全、高效运行的关键因素。目前的感应加热装置多采用模拟电路控制, 存在电路触点多、系统可靠性低、元件工艺性要求高、控制参数不易改变及灵活性差等缺点。针对这种情况, 本文设计了基于 FPGA 的感应加热控制系统, 实现了逆变电路的数字化, 提高了系统的智能化, 并利用液晶显示与用户建立良好的交互界面。

1 感应加热逆变控制电路的拓扑结构

感应加热主电路及逆变控制系统的拓扑结构^[1]如图 1 所示, 在驱动信号 g_{13} 和 g_{24} 作用下, 使 T_1 、 T_3 管和 T_2 、 T_4 管分别交替工作; u_1 、 i_1 表示负载上的电压和电流。系统根据采样得到的负载上的电压 u_1 , 调整 IGBT 的驱动信号 g_{13} 和 g_{24} , 使得负载工作在谐振状态, 即负载上的

电压电流同频同相。

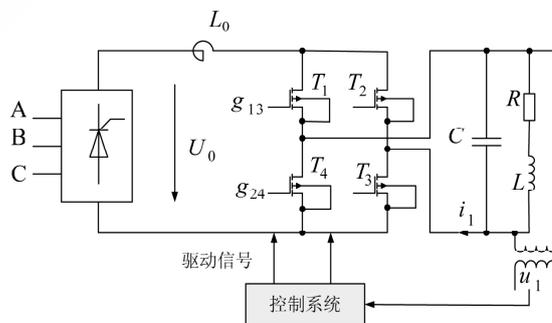


图 1 并联逆变主电路

2 逆变控制系统结构及工作原理

逆变控制系统结构如图 2 所示。该系统由检测电路、A/D 转换电路、液晶显示电路、FPGA 控制模块、故障指示电路、键盘和 IGBT 驱动电路组成, 其中虚线框中为 FPGA 控制模块, 是本系统的核心。逆变控制系统工作原理为:

(1) 检测电路通过电压传感器获取负载上的相关信息，并在过流、过压等危害情况发生时，产生相应的保护动作，同时将这一信息传递给 FPGA 模块，且在液晶显示屏上示出；

(2) FPGA 模块完成负载谐振频率的锁定，并输出 IGBT 的驱动信号；

(3) IGBT 模块由 4 个 IGBT 管和相应的保护电路组成，负责直-交变换；

(4) 键盘负责提供扫频启动所需的最高和最低频率。因为采用扫频启动方式，可以控制它激频率在设定的最高频率和最低频率之间扫描，以适应不同谐振频率的负载。

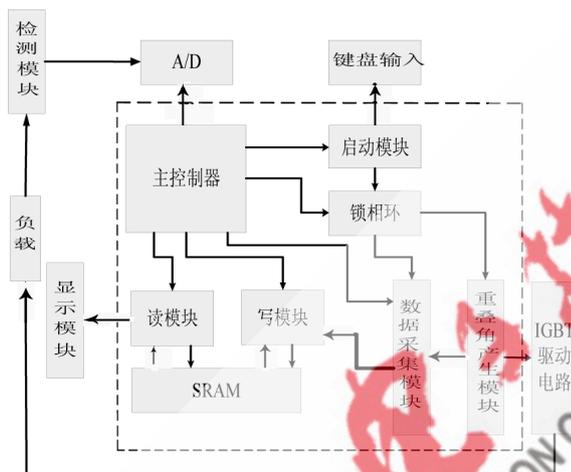


图2 逆变控制系统的结构图

3 FPGA 控制模块设计及控制策略

3.1 FPGA 控制器组成

FPGA 控制器可分为以下几个模块：

(1) 主控制器：该控制器是控制系统的核心，完成对逆变状态的控制、外围接口控制、各模块的协调工作以及整个工作流程操作等。它由硬件状态机实现，采用同步时序逻辑设计，相当于简单处理器的功能；

(2) 启动模块：负责感应加热电源的正常启动，性能指标包括启动时间（越短越好）、启动过程的稳定性和启动过程的成功率等。加热启动之后，控制它激频率在设定的最高频和最低频之间扫描；当它激频率扫描到接近槽路谐振频率时，负载能量便建立起来并反馈到自动调频电路^[2]；

(3) 锁相环模块：在启动模块的协助下，实现稳定、快速的启动过程，并保证频率的正常锁定，主要性能指标包括锁相范围、锁相速度、锁相稳定性等。锁相环是

系统中的主要工作模块，直接影响逆变系统是否正常运行；

(4) 重叠角产生模块：作为锁相环和 IGBT 驱动电路的中间环节，将 IGBT 驱动信号进行预处理，以实现逆变工作状态的的实际要求；

(5) 数据采集模块：在系统中，能根据工作人员的需要采集数据，以供试验和调试等；

(6) 读、写模块及 SRAM：系统中融合这 3 个模块的目的是能将有用的数据及时地保存起来或者制作一个备份，以备外围调试、设定参数等应用。

3.2 主控制策略

主控制器的工作流程如图 3 所示。主控制器的控制策略是以逆变控制系统的成功启动、正常工作状态控制为主的。当系统刚上电时，主控制器给出时钟信号，发出 1 s 的 RESET 复位信号，对各模块进行初始化。初始化过程中各模块并不工作，即没有使能信号。初始化完成后，由输入模块写入各工作寄存器配置值，进入启动模块。扫频过程要同时使能启动模块和锁相环。系统根据配置寄存器的值，完成扫频。如果扫频成功，则进入锁相环节，如果锁相环并未成功锁定频率，处于失锁状态；如果多次、连续出现失锁，则表明负载频率不在扫频范围之内，即发出“启动失败”信号，系统进入异

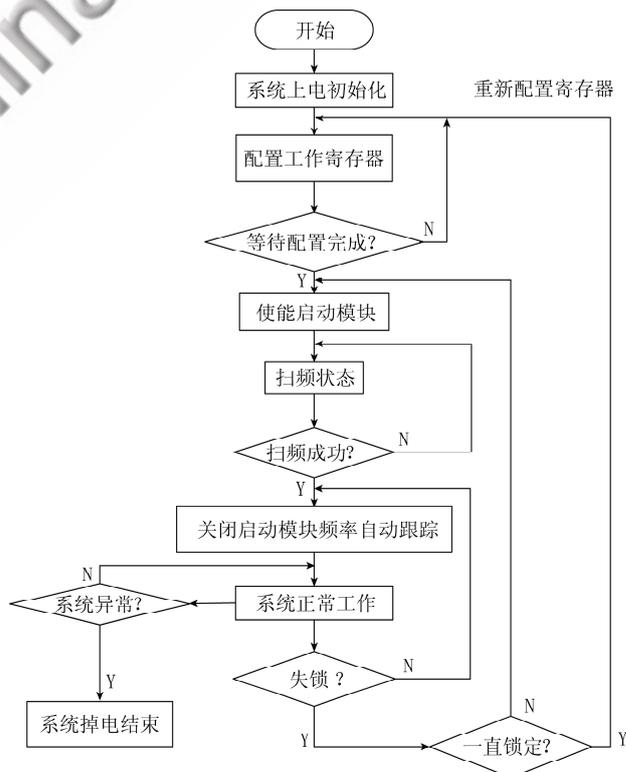


图3 主控制器工作流程图

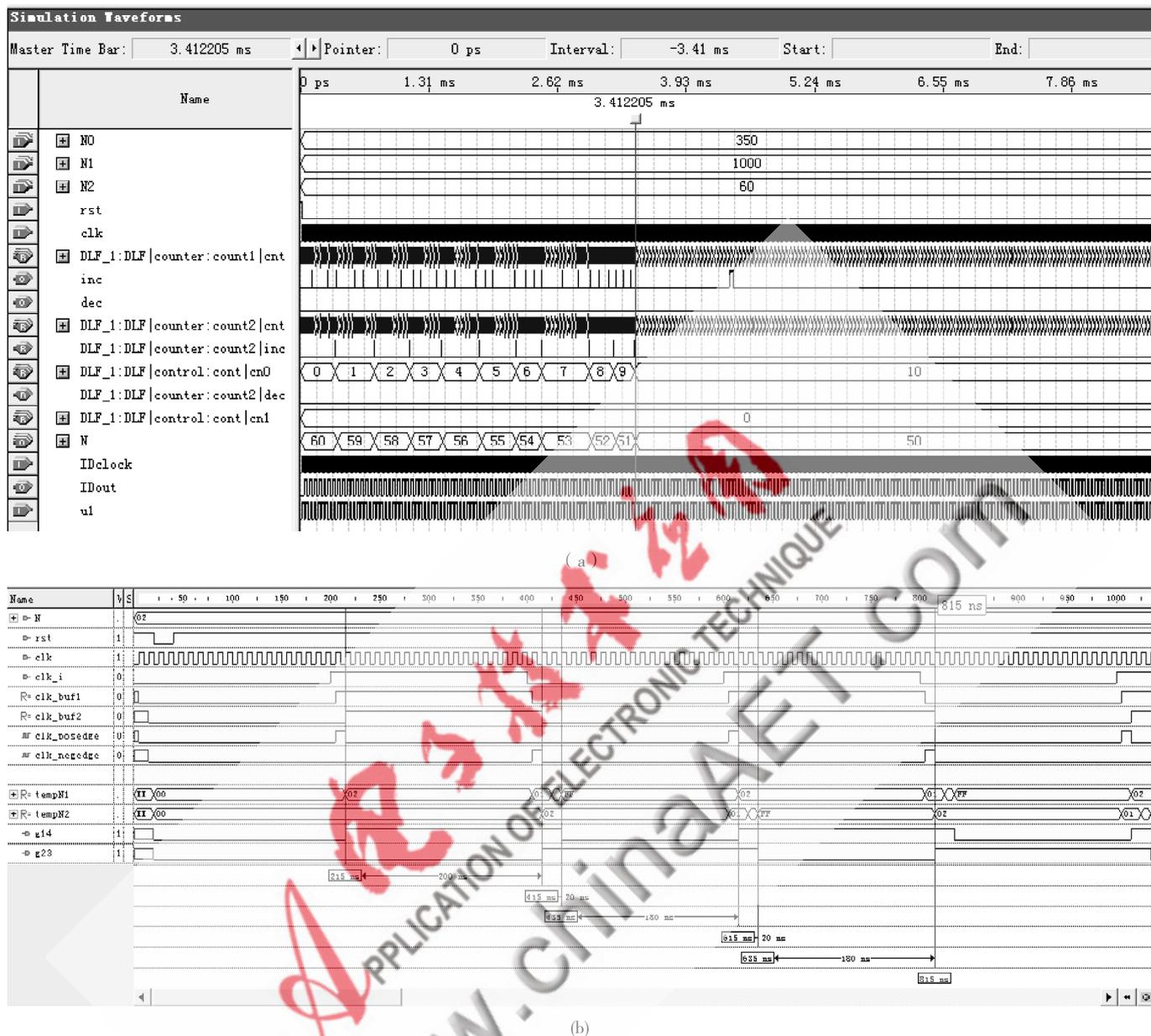


图4 仿真结果

常处理, 用户需要重新设定寄存器。在系统成功锁定频率后, 因某种原因再次导致失锁, 则开启启动模块, 重新开始扫频过程, 等待扫频成功。

4 系统仿真

由于篇幅有限, 省略了VHDL源代码。在Maxplus2环境下, 运用其自身的仿真工具完成仿真, 仿真结果如图4(a)和图4(b)所示。

从图4(a)可以看出, 当环路滤波环节中的分频模数 N 为50时, 锁相环的输出IDout能够跟踪 u_1 (u_1 为负载两端的电压信号), 达到锁定状态。从图4(b)中可以看出, IGBT驱动信号 g_{13} 和 g_{24} 具有一定的重叠时间, 从而能够实

现IGBT管的软关断, 提高了感应加热的效率。

参考文献

- [1] 潘天明.现代感应加热装置.北京:冶金工业出版社,1996.
- [2] 周跃庆,王鸿隽.并联逆变电源的扫频启动电路[J],工业炉,2007,29(1):34-36.
- [3] 潘松,王国栋.VHDL实用教程.成都:电子科技大学出版社,2000.

(收稿日期 2009-03-23)