

无刷直驱型圆刀裁布机的控制系统设计*

陈超, 陈小元, 王文梁, 周洪强
(丽水学院 工学院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 针对服装产业的发展需求, 采用无刷直流电机 (BLDCM) 驱动技术研制出一种直驱型圆刀裁布机的控制系统, 实现了综合性能的提升。设计由单片机及外围电路、功率及驱动电路、霍尔位置检测电路、操控电路和辅助电源组成的数字控制器硬件电路, 根据直驱结构的 BLDCM 特性和整个裁布机的工作特点, 分析设计转速闭环控制策略。通过负载测试试验证明, 调速性能精确高效; 通过堵转测试试验证明, 堵转时的过流保护迅速可靠。

关键词: 圆刀裁布机; 无刷直流电机; 数字控制器; 直驱

中图分类号: TM 33 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2019)06-0062-04

Design of BLDCM Control System for Direct-Drive Discal Knife Cutter*

CHEN Chao, CHEN Xiaoyuan, WANG Wenliang, ZHOU Hongqiang
(College of Engineering, Lishui University, Lishui 323000, China)

Abstract: Aiming at the development demand of garment industry, the control system of the direct-drive discal knife cutter was developed by using brushless DC motor (BLDCM) drive technology to improve the comprehensive performance. The total hardware circuit of the digital controller was composed of the single-chip microcomputer and peripheral circuit, power and drive circuit, Hall position detection circuit, operating circuit and auxiliary power supply. The speed closed-loop control strategy and control program were designed according the performance of direct-drive BLDCM and the working characteristics of discal knife cutter. The load test experiment proved that the speed regulation performance was accurate and efficient. The blocking test proved that the overcurrent protection during stalling was fast and reliable.

Key words: discal knife cutter; brushless DC motor (BLDCM); digital controller; direct drive

0 引言

无刷直流电机 (BLDCM) 具有功率密度高、调速性能好等优点, 在高端电动工具产品中的应用逐渐成为趋势, 已形成无刷电动螺丝刀、无刷电动扳手、无刷电动冲击钻、无刷驱动型高压无气喷涂机和无感无刷水泵等诸多应用^[1-4]。

电动圆刀裁布机是服装行业常用的裁布机器, 目前广泛采用串励电机驱动, 电机通常设计成与刀杆垂直, 通过蜗轮蜗杆换向后带动圆刀刀片

来裁剪布料。串励电机驱动的圆刀裁布机电机转速高、噪声大、振动大、易磨损、效率较低且重量较大, 导致效用低下且操作舒适度差。随着纺织行业逐步智能化, 一些电动圆刀裁布机配置在专机上, 要求能够根据指令进行自动化作业, 对调速性能和堵转性能等具体指标均提出了更高要求。因此, 迫切需要开发高效智能的无刷驱动型电动圆刀裁布机。

本文结合单片机的数字控制技术和电力电子驱动技术, 设计了一种调挡定速且有过流保护的

* 基金项目: 浙江省公益计划项目 (LGF18E070001); 浙江省高校实验室工作研究项目 (YB201715); 国家级大学生创新创业训练计划项目 (201510352002, 201610352001, 201710352003); 浙江省大学生科技创新活动计划暨新苗人才计划项目 (2016R431006)

作者简介: 陈超 (1984—), 男, 硕士, 研究方向为电力电子技术和电机数字控制技术。

陈小元 (1980—), 男, 博士, 在站博士后, 副教授, 工程师, 研究方向为特种电机设计及控制。

模块、调速按键模块和照明灯模块组成。

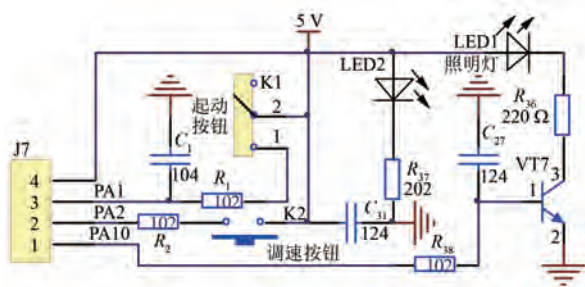


图 5 操控电路原理图

2.5 辅助电源设计

辅助电源电路如图 6 所示。采用基于电流型脉宽调制 (PWM) 控制芯片 VIPER22A 的反激式拓扑结构, 利用集成的高压起动电路和高压功率管以及过温、过流、过压、欠压等保护功能, 可以保证系统可靠性的同时简化电路。15 V 电压再经线性稳压芯片可以转换为系统所需的 5 V 和 3.3 V 电源。

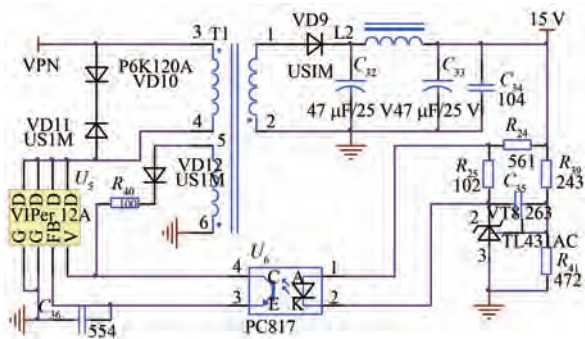


图 6 辅助电源电路原理图

设计完成的数字控制器及圆刀裁布机样机实物图如图 7 所示,数字控制器由上层板、下层板和操控板组成。上板集成了单片机及外围电路、功率及驱动电路和霍尔位置检测电路;下板集成了整流电路和辅助电源。操控板集成了起动按键模块、调速按键模块和照明灯模块。3 对极结构的 BLDCM 通过机身固定在中轴线上,圆刀刀片直接安装在 BLDCM 输出轴上,数字控制器上下板直接环扣在电机外围,操控板安装在手柄内,照明灯安装在刀口位置,整体结构紧凑轻便。

3 控制策略设计

BLDCM 驱动控制方法较多,本文采用典型的



图7 数字控制器及圆刀裁布机样机实物图

两相导通的 6 状态 PWM 控制方式,即实时有一个上管工作于 PWM 模式,一个下管工作于高电平模式^[4]。

结合各种布料等的材质对切割速度的要求,本圆刀裁布机设计为调挡定速工作。通过图 5 的调速按键设置转速设定值 n^* 以 800/1 000/1 200 r/min 的循环跳挡,结合转速闭环控制策略可以实现定速输出。

3.1 转速闭环控制策略设计

采用图 3(a) 的电流检测电路及两相导通的 6 状态 PWM 控制方式进行 BLDCM 的调速控制时, 电流检测信号 I_1 脉动比较剧烈, 采样精度无法达到单片机的计算要求, 故仅采用图 8 所示的转速闭环控制策略。由图 5 中调速按键 K2 设置转速设定值 n^* , 闭环给定值 n' 采用步长为 1 r/min 的逐步跟进策略逼近 n^* , 具有软起动作用, 防止起动时闭环算法过快饱和而导致电流过大。 n' 与转速实测值 n 作差得到差值 e_1 , 经过 PI 闭环后, 输出经限幅的占空比 D 。将 D 代入驱动控制策略算法, 计算后输出 6 路可控的 PWM 控制信号给功率及驱动电路, 最后产生三相电流驱动电机运行。

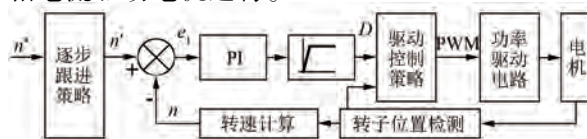


图 8 转速闭环控制策略结构框图

3.2 主控程序设计

控制器的主控程序由主程序和定时器中断程序两部分组成。主程序除执行单片机相关功能初始化配置处理外,在主循环中还要定时完成对启动键、调速键和照明灯键的操作检测处理,并获取操作控制命令。中断程序执行系统工作状态判断及相应处理,其流程图如图9所示。

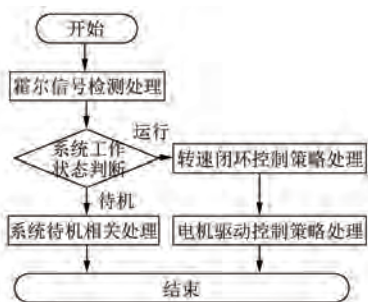


图9 中断程序流程图

在中断程序中,首先执行霍尔信号检测处理,根据3个霍尔信号判断转子位置,并结合信号变化时长计算出转速实测值 n 。然后根据主程序循环中得到的操控制令配置电机工作于不同状态。在待机状态时,关闭电机驱动功能;在运行状态时,根据调速处理程序输出的 n^* 执行转速闭环控制策略程序,计算得出PWM占空比信号 D ,将 D 代入电机驱动控制策略程序。最后由单片机相应管脚输出6路控制信号。

4 试验验证

以圆刀裁布机切割布料为例,进行空载启动试验、负载试验和堵转试验来测试验证所设计的控制系统。

n^* 设定为1000 r/min。图10所示为空载启动及负载运行过程的电流检测信号 I_1 和霍尔信号HALL_A的波形图。在空载启动过程放大图中, I_1 在启动时比稳定运行时稍大;HALL_A完成2个电平变化周期用时约为56 ms,第二个周期持续时间约22 ms,对应转速为909 r/min。在空载到负载的切换过程放大图中,HALL_A稳定空载时完成一个周期用时约为20 ms,对应转速为1000 r/min;负载后转速也基本不变。

从负载到堵转过程的电流检测信号 I_1 和霍尔信号HALL_A波形如图11所示。堵转后, I_1 迅

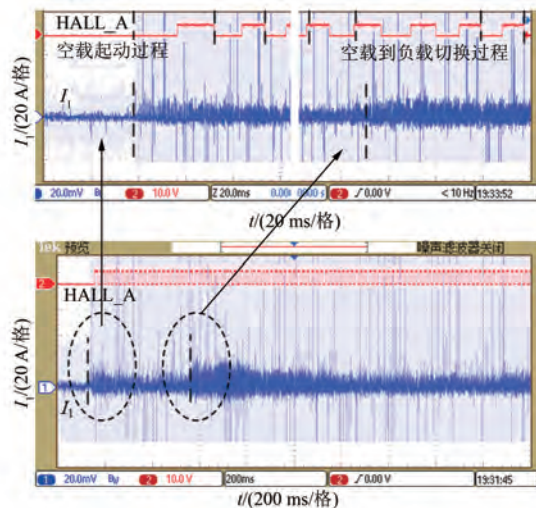


图10 空载启动及负载运行过程的 I_1 和HALL_A波形

速增大,达到IR2136S的9号脚的电压阈值后,IR2136S输出低电平故障信号给单片机PA9脚,单片机判断处理后迅速切断三相逆变输出,电流归零。在保证系统安全的同时为使圆刀裁布机具有极限剪切能力,延时8 ms后,系统将恢复工作,直至恢复运行或再次堵转,因此图11的堵转过程中电流呈脉动状,直至堵转取消后恢复空载运行。

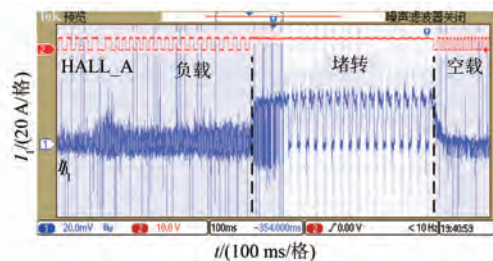


图11 从负载到堵转过程的 I_1 和HALL_A波形

5 结 语

本文研制了1套直流无刷直驱型圆刀裁布机。从单片机及外围电路、功率及驱动电路设计、霍尔位置检测电路、操控电路和辅助电源5个模块详细分析设计了数字控制器的硬件电路;圆刀刀片直接安装在3对极BLDCM输出轴上,数字控制器上下板直接环扣在电机外围,操控板安装在手柄内,实现了整体结构的紧凑轻便;采用调速按键循环跳挡设置结合转速闭环控制策略作为系统控制方案,并给出了中断控制流程图。负载试

(下转第83页)

【参考文献】

- [1] 唐任远.现代永磁电机:理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 郭思源,周理兵,齐歌.双三相永磁同步电机电磁性能解析计算[J].电工技术学报,2014,29(5): 17.
- [3] FORNASIERO E, ALBERTI L, BIANCHI N, et al. Considerations on selecting fractional-slot nonoverlapped coil windings [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2013, 49(3): 1316.
- [4] 陈益广,潘玉玲,贺鑫.永磁同步电机分数槽集中绕组磁动势[J].电工技术学报,2010,25(10): 30.
- [5] KWON H S, RO J S, JUNG H K. A novel social insect optimization algorithm for the optimal design of an interior permanent magnet synchronous machine [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2018, 54(12): 8110706.
- [6] LEE J H, KIM J W, SONG J Y, et al. Distance-based intelligent particle swarm optimization for optimal design of permanent magnet synchronous machine [J]. IEEE Transactions on Magnetics, 2017, 53(6): 7206804.
- [7] 李立毅,唐勇斌,刘家曦,等.多种群遗传算法在无

铁心永磁直线同步电机优化设计中的应用[J].中国电机工程学报,2013,33(15): 69.

- [8] 孙玉坤,张宾宾,袁野.飞轮储能用磁悬浮开关磁阻电机多目标优化设计[J].电机与控制应用,2018,45(10): 53.
- [9] 许实章.交流电机的绕组理论[M].北京:机械工业出版社,1985: 21.
- [10] 郭冰,冷政,杨仲源.永磁电机固有电压调整率降低措施的定量研究[J].电机与控制应用,2012,39(8): 16.
- [11] 张经纬,王雪帆,熊飞,等.基于实验和遗传算法的无刷双馈电机参数估算[J].中国电机工程学报,2008,28(36): 103.
- [12] 包子阳,余继周.智能优化算法及其 MATLAB 实例[M].北京:电子工业出版社,2016.
- [13] 范瑜,金荣洪,耿军平,等.基于差分进化算法和遗传算法的混合优化算法及其在阵列天线方向图综合中的应用[J].电子学报,2004,32(12): 1997.
- [14] 王艾萌,温云.基于混合遗传算法的内置式永磁同步电机的优化设计[J].电机与控制应用,2017,44(3): 59.

收稿日期: 2019-02-17

(上接第 65 页)

验时通过分析电流检测信号和霍尔信号波形,验证了转速闭环的精确控制及负载变化时的稳定性;堵转试验时,通过分析电流检测信号波形,验证了短路保护的可靠性及极限剪切能力。试验表明,控制器的硬件设计合理可靠,控制策略清晰有效,性能满足要求。

【参考文献】

- [1] 孙超英.浅谈无刷直流电机在电动工具中的应用[J].电动工具,2014(5): 1.
- [2] 王开,苏海军,王柳云.基于 ARM 的无传感器无刷电机水泵控制系统研究[J].电机与控制应用,

2015,42(7): 39.

- [3] 于秉田,陈小元,陈超,等.基于 UC3843 的无刷电动螺丝刀用开关电源的设计[J].丽水学院学报,2016,38(2): 92.
- [4] 陈超,陈小元,于秉田,等.陀螺感应型无刷电动螺丝刀调速控制研究[J].微特电机,2016,44(1): 59.
- [5] 郭旭,李先峰.单周控制方法在电静液作动器无刷直流电机系统中的应用[J].电机与控制应用,2017,44(5): 32.
- [6] 程启明,杨小龙,高杰,等.基于参数可变 PID 控制器的永磁无刷直流电机转速控制系统[J].电机与控制应用,2017,44(1): 18.

收稿日期: 2019-02-10