

炒菜机直流电机控制器设计与实现

郑志雄, 张家洪, 赵振刚, 张长胜

(昆明理工大学 信息工程与自动化学院, 云南 昆明 650500)

摘 要: 针对滚筒式炒菜机的锅体、叶片和倾倒动作的快速响应和平稳运行, 设计了一种以 STM32F7671GT6 为主控制器的多电机协同控制器。采用 74HC244 隔离电路和双 BTN7960 芯片电机驱动电路实现电机控制, 增量式编码器和光电耦合器测速电路实现速度反馈, PID 算法实现速度的整定。试验表明, 设计的多电机协同控制器能够实现电机的快速响应, 电机在 0.04~0.06 s 稳定到预设速度, 锅体、锅铲、倾倒控制电机可以实现同步和独立工作模式, 并且相互影响可以忽略, 满足炒菜机的动作需求。

关键词: 炒菜机; 多电机协同控制器; 直流电机; PID 算法

中图分类号: TM 301.2 文献标志码: A 文章编号: 1673-6540(2020)05-0075-05

doi: 10.12177/emca.2020.005

Design and Implementation of DC Motor Controller for Cooking Machine

ZHENG Zhixiong, ZHANG Jiahong, ZHAO Zhengang, ZHANG Changsheng

(Faculty of Information Engineering and Automation, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract: Aiming at the quick response and smooth operation of the pan body, blade and dumping action of the drum-type cooking machine, a multi-motor cooperative controller with STM32F7671GT6 as the main controller is designed. The controller adopts 74HC244 isolation circuit and dual-BTN7960-chip motor drive circuit to realize motor control, incremental encoder and photocoupler speed measurement circuit to achieve speed feedback, and PID algorithm to achieve speed setting. The experiments show that the multi-motor cooperative controller can realize the fast response of the motor. The motors stabilize to the preset speed in 0.04~0.06 s. The pan body, blade, and dumping control motors can achieve synchronous and independent working modes, and the interaction is neglectable. This controller can meet the action needs of the cooking machine.

Key words: cooking machine; multi-motor cooperative controller; DC motor; PID algorithm

0 引言

近年来,炒菜机技术发展快速,市面上炒菜机已经形成一定的市场,主要分为家用和商用,2种炒菜机的控制器采用的主控制器种类各异,满足了人们对不同种类炒菜机的需求^[1-3]。2015年黄建杰^[4]采用 PIC 设计了智能炒菜机动作测控系

统,采用 LabVIEW 设计了人机交互界面。纪金灿^[5]结合单片机、PLC、工控机设计了一种智能炒菜机控制器。2018年时强胜等^[6]设计了一款控制器为三菱 FX2n 系列的智能炒菜机控制器。孙雪非等^[7]2019年采用 PIC18F87K22 单片机通过串口与电脑上位机通信,设计了一款智能炒菜机控制器。吴春诚等^[8]设计了一款 PLC 为核心的

收稿日期: 2020-01-15; 收到修改稿日期: 2020-03-12

作者简介: 郑志雄(1991—),男,硕士,工程师,研究方向为嵌入式系统,智能控制。

张家洪(1986—),男,博士,副教授,研究方向为信息检测与智能处理,光波导/光纤传感器及应用,微波光子技术与应用等。

赵振刚(1981—),男,博士,副教授,研究方向为通过集成的光波导传感器,光纤传感技术进行的电场和磁场测量领域以及变压器热回路模型。

标准化烹饪控制系统,实现了通过互联网的实时管理和控制。PIC 单片机的运行速度较低,在多个电机和多个器件同时控制时性能较弱,PLC 成本相对单片机较高,而且一般应用于工业领域,不利于后期系统优化。主流炒菜机中的滚筒式炒菜机^[9]炒菜动作的实现需要同时控制多个较大功率的直流电动机,容易出现某个电机动作响应迟钝、稳定性差的现象^[10]。使用合理设计的硬件电路,能够保证硬件支持较大功率直流电机的驱动,采用 PID 闭环控制的方式能够实现直流电机的控制^[11-12],使电机能够快速响应、稳定运行,同时可以增加电机的驱动能力^[13]。

本文设计了一种通过 STM32F7671GT6 实现炒菜机动作的控制器,使用的芯片运行速度较快,成本低。为了保证电机控制系统的稳定性,采用 74HC244 线路驱动器和双 BTN7960 芯片组成的桥式驱动电路^[14],光电耦合器件和增量式编码器组成的电机速度测量电路,通过 PID 控制实现电机的调速,实现了滚筒式炒菜机动作的快速响应和平稳运行。

1 控制器整体设计

1.1 炒菜机机械结构设计

为了实现炒菜的基本功能,设计炒菜机的锅体为滚筒式,锅体的中部设计锅铲用于搅拌菜品。炒菜机关键机构结构示意图如图 1 所示。炒菜机主要由锅体、锅铲、挡火罩、倾倒驱动杆、加热口、烟雾出口等组成。

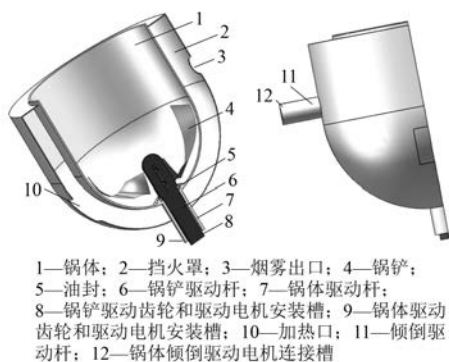


图 1 炒菜机关键机构结构示意图

为了完成炒菜机的翻炒动作,避免出现锅铲转动过程中菜品和锅铲同步转动,设计关键机构是以锅体的中心轴与地面夹角 60° 安装在工作台

上,这样能够利用重力原理实现菜品翻炒。炒菜过程中菜品由于重力作用在锅体的中下部位置,因此设计加热口在锅体中下部,可以利用大部分热量。为了锅体能够受热均匀,设计锅体能够顺时针转动,锅体驱动电机通过齿轮与锅铲驱动杆连接。锅铲顺时针转动搅拌菜品,锅铲驱动电机通过齿轮和锅铲驱动杆连接。自动倾倒过程的完成是通过倾倒驱动电机带动倾倒驱动杆,使锅口向下运动,该动作通过倾倒电机直接驱动倾倒驱动杆完成。

1.2 炒菜机电机控制器框架

炒菜机电机控制器主要实现锅体、锅铲和倾倒动作,STM32 控制器通过驱动电路驱动直流电机 1 来实现锅体转动;驱动直流电机 2 来实现锅铲转动;驱动直流电机 3 来实现倾倒动作的完成。3 台电机均有与电机转轴同轴转动的编码器可以测量电机速度,通过光电耦合器件将速度信息传给 STM32 控制器实现电机的闭环控制。炒菜机电机控制器系统框图如图 2 所示。

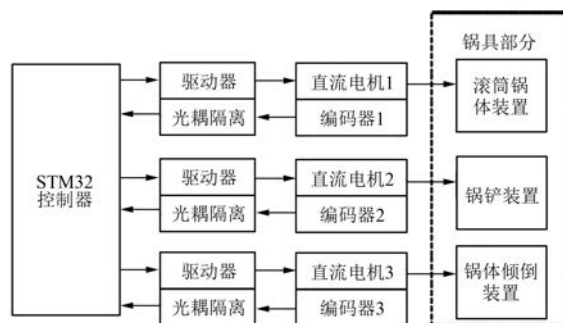


图 2 炒菜机电机控制器系统框图

2 控制器硬件设计

2.1 电机控制电路的实现

炒菜机的锅体转动、叶片转动和倾倒动作采用直流电机驱动的方式实现。考虑到炒菜机运行过程中的负载问题,采用 Z5D120-24GU 直流电机,选用 BTN7960 作为电机驱动芯片,工作电压 $6 \sim 27 \text{ V}$,输出最大电流 43 A ,满足电机功率需求^[15]。BTN7960 芯片的输出端有 2 个 CMOS 门组成,当输入端 IN、INH 均为高电平时,顶部的 CMOS 门接通,输出高电平;当输入端 IN 为高电平,INH 为低电平时,底部的 CMOS 门接通,输

出低电平。图 3 所示为锅体(WOK)电机驱动电路。WOK_Y6 和 WOK_Y8 连接在 STM32 的同一个脉宽调制(PWM)输出口,当 U13 的 IN

(WOK_Y5)为 1,U14 的 IN(WOK_Y7)为 0 时,电机正转;当 U13 的 IN 为 0,U14 的 IN 为 1 时,电机反转。

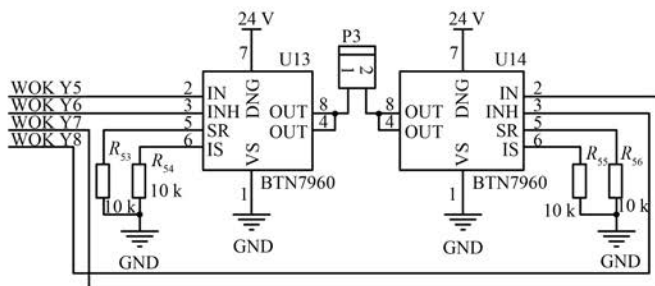


图 3 电机驱动电路

在电机起动时会产生较大的起动电流,需要提供大于 CPU 能够承受的拉电流,因此采用 74HC244 作为驱动器对 CPU 的输出信号进行功率放大,以实现隔离保护 CPU。74HC244 的输入端接一个 30 k Ω 的下拉电阻,保证 74HC244 输入为低电平,如图 4 所示。其中,VANE_postive 表示

叶片正转控制端口,VANE_PWM 表示锅铲 PWM 调节端口,VANE_versa 表示锅铲反转控制端口,WOK_postive 表示叶片正转控制端口,WOK_PWM 表示锅铲 PWM 调节端口,WOK_versa 表示锅铲反转控制端口。

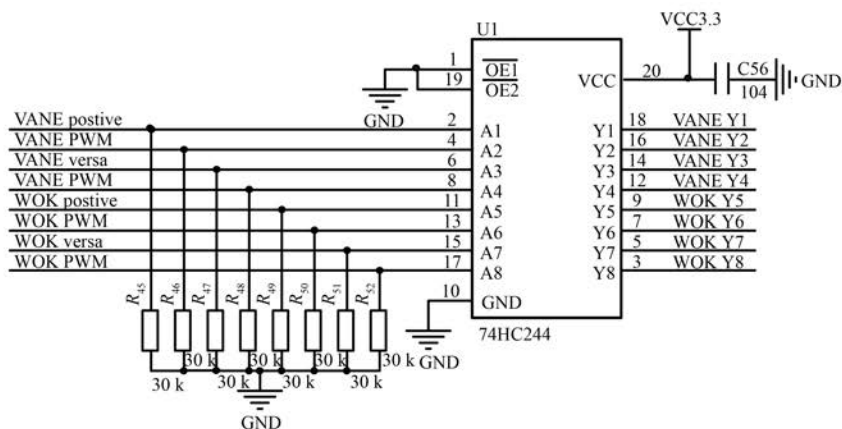


图 4 74HC244 隔离电路

2.2 电机测速模块

在硬件设计中为了电源的统一性,增量式编码器采用与电机驱动电压相等的 24 V 电压,但是 STM32 不能够直接采集 24 V 的直流电压,因此采用 TPL521 光耦隔离,将编码器的输出电压由 24 V 转换为 3.3 V,保证电压在 STM32 输入电压的范围之内。由于 TPL521 的额定输入电流为 0~25 mA,额定输出电流为 0~10 mA,故设计 TPL521 的输入电阻 R_{37} 、输出电阻 R_{36} 均为 2.7 k Ω ,以获得约为 $24/2.7 \text{ k}\Omega = 8.8 \text{ mA}$ 的输入电

流,和 $3.3/2.7 \text{ k}\Omega = 1.2 \text{ mA}$ 的输出电流。电机测速电路如图 5 所示。

3 控制器软件的设计

首先对 STM32 的外设进行初始化,根据菜谱需求给定电机的初始速度。然后进行 PID 整定,改变 PWM 的占空比,从而改变电机的速度。最后对电机的测量速度和初始速度进行比较,如果速度相同则进入循环,反之,退回到 PID 输入端,实现速度的调节。控制器算法流程图如图 6 所示。

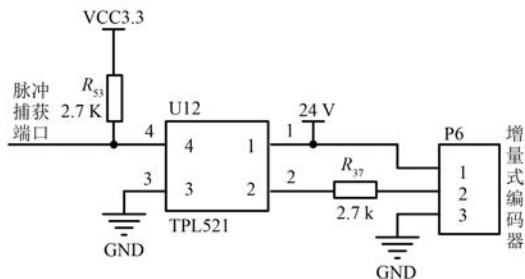


图5 电机测速电路

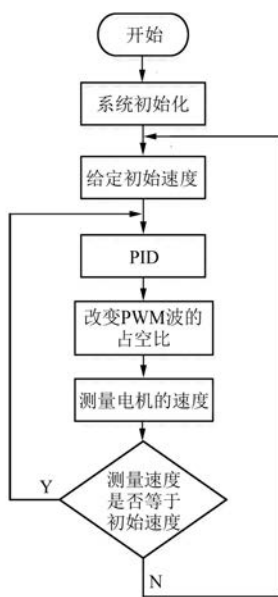


图6 控制器算法流程图

给定一个电机的初始转速 $r_{in}(t)$ 。电机测速使用 400 线的编码器,得到电机预定脉冲频率:

$$f_{in}(t) = r_{in}(t) \times 400/60 \quad (1)$$

由增量式 PID 原理,可得离散化之后的增量式 PID 算法计算式为

$$\Delta P(k) = K_p [E(k) - E(k-1)] + K_i E(k) + K_d [E(k) - 2E(k-1) + E(k-2)] \quad (2)$$

初始脉冲频率和测定的编码器脉冲频率误差值为

$$E(k) = f_{out}(k) - f_{in}(k) \quad (3)$$

通过 STM32 的捕获模块采集编码器的输出频率 $f_{out}(k)$,通过式(3)得出 $E(k)$ 代入式(2),可得 $\Delta P(k)$ 。

$d(t)$ 的计算式为

$$d(t) = \Delta P(k) \cdot k \quad (4)$$

其中: k 通过试验得出, $d(t)$ 与 PWM 的占空比成正比,PWM 的占空比和电机的转速是近似线性的关系,实现电机转速的控制。

4 试验

炒菜机试验平台如图 7 所示。电源使用 24 V/10 A 的开关电源,控制器连接 3 台电机的正负极。通过联轴器将编码器与电机主轴相连,编码器的 A 相输出端反馈给控制器。为了不影响控制器对电机的控制,采用另外一个 STM32 来实现测速功能,将编码器的 B 相与试验测速电路 STM32 相连,以保证控制器转态的完整性,试验测速电路将速度数据发送给上位机。

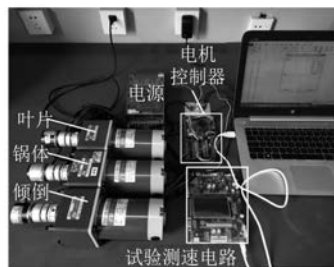


图7 试验平台实物图

对炒菜机的电机控制器的性能进行测量,依据炒菜机基本工作流程设计相应的电机测试试验,主要是提取锅体、锅铲、倾倒 3 台电机的工作过程^[16]。炒菜机基本工作流程如图 8 所示。

炒菜过程中等待油加热、炒制、搅拌调料等时间较长不利于试验测量和数据分析,为了试验方便需要将炒菜流程中的时间减少,具体试验过程如下:锅体电机以 60 r/min 中的转动速度起动,等待 1 s 食用油加热的时间后锅铲以 45 r/min 的转动速度起动,炒制 2 s 之后,减小锅铲的转速到 20 r/min 将调料搅拌均匀,1 s 后停止锅铲和锅体转动,1 s 倾倒电机以 12 r/min 起动的速度转动完成倾倒。通过编码器 B 相输出的脉冲可以测出电机转速^[17],运行状况如图 9 所示。

试验表明电机起动、调速的时间为 0.04 ~ 0.06 s。由图 9 可知,电机能够平稳运行,且在运行过程中相互几乎没有影响,能够满足炒菜机的需要。

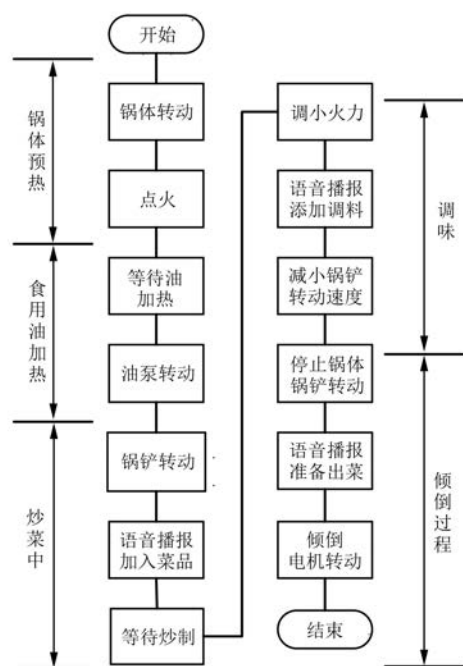


图8 炒菜机基本工作流程

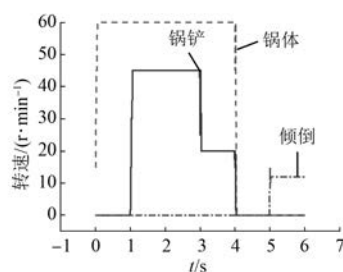


图9 锅体和叶片驱动电机的速度变化图

5 结 语

本文以 STM32F7671GT6 为核心设计的控制器具有电路结构简单、成本低等优点,通过 PWM 输出,实现了对多节点、多路输出的控制,软件通过 PID 整定实现电机快速响应和平稳运行。试验结果表明,炒菜机的电机能够在 0.04~0.06 s 稳定到预设速度,并且平稳运行,满足炒菜机对多电机的控制要求,具有良好的应用前景。

【参考文献】

- [1] 朱文政,李辉,鞠美玲,等.基于烹饪机器人的中式快餐发展模式[J].扬州大学烹饪学报,2011(3): 30.
- [2] 邢斌,吴庆梅,宋原,等.一种自动烹饪机器人的设计与实现[J].电机产品开发与创新,2016(1): 76.
- [3] 冯安文,冯伟龙.全自动炒菜机的设计及构造[J].中国科技博览,2018(24): 206.
- [4] 黄建杰.基于 PIC 的智能炒菜机动作测控系统设计[D].广州:广东工业大学,2015.
- [5] 纪金灿.智能炒菜机火控与炒菜机装置的机电一体化设计[D].广州:广东工业大学,2015.
- [6] 时强胜,刘世豪,陈世平.基于 CAD 和 PLC 协同的智能炒菜机设计[J].食品机械,2018,39(5): 246.
- [7] 孙雪非,张涛.基于 PIC18F87K22 的智能炒菜机设计[J].制造业自动化,2019,41(7): 85.
- [8] 吴春诚,王梁梁.一种新型环保自动炒菜机的设计[J].集成电路应用,2019,36(4): 87.
- [9] 王永寿,姚兴基,覃艳芳.滚筒式自动炒菜机的电机散热分析与结构优化[J].机械工程师,2015(12): 162.
- [10] 王维强,曾晓松,夏茂树.电动汽车永磁无刷直流电机控制器设计[J].华侨大学学报,2019,40(1): 20.
- [11] 丁少云,薛达.无刷直流电机的 PID 调速控制系统[J].变频器世界,2019(2): 77.
- [12] 郑直.基于 STM32 的无传感器无刷直流电机闭环控制系统[J].电子设计工程,2018,27(10): 178.
- [13] 马朝骥,冯雯雯,庞佑兵,等.一种有刷直流电机驱动器的设计[J].微电子学,2019,49(3): 351.
- [14] 周琦.一种适用于桥式电路的碳化硅 MOSFET 驱动器[J].电力电子技术,2018,52(11): 43.
- [15] 张修太,翟亚芳,赵建周.基于 STM32 的无刷直流电机控制器硬件电路设计及实验研究[J].电子器件,2018,41(1): 141.
- [16] 赵兴.增强自动烹饪机器人燃气系统安全设计[J].大众科技,2016,18(2): 87.
- [17] 贾兴丹,万秋华,赵长海,等.光电编码器测速方法现状与展望[J].仪表技术与传感器,2018(3): 102.