

威雅利电子於 STM32 在变频波轮洗衣机上的应用

近年来,随着国家节能减排政策的引导和人们对节能环保意识提高,变频技术已广泛应用于空调、冰箱、洗衣机等白色家电领域。洗衣机电机逐步开始由传统的交流电机向直流电机发展,受益于节能和静音的改善,变频洗衣机日益受到消费者追捧。所谓的变频洗衣机就是对洗衣机电机进行变频调速控制,其关键技术在于电机制造及其驱动控制技术。

变频波轮洗衣机采用直驱变频(DD)技术,所谓“直驱”,就是摒弃传统靠皮带动力传动方式,由电机直接驱动洗衣机波轮。大大改善了传统洗衣机靠皮带传动转矩小、噪声大、皮带易磨损等缺点。所谓‘变频’,就是对洗衣机使用的永磁同步电机(PMSM)进行变频调速控制。使用变频技术能自如地控制电机运行速度和加速度,为复杂的智能洗涤模式提供保障。

方案介绍

波轮洗衣机的洗涤原理是依靠电机带动装在洗衣桶底部的波轮正、反旋转,衣物在波轮的带动下上、下、左、右不停地翻转,同时在洗涤剂的作用下实现去污清洗。因波轮洗衣机的工作原理,洗衣机电机需要不停的正、反转切换,且电机启动时要具备足够大的力矩。

针对上述应用,威雅利电子方案选用 ST 公司 Cortex-M3 内核的 STM32F103C6T6A 微处理器和 ST 公司的智能功率模块(IPM)STGIPL14K60 为平台,采用 3 电阻电流检测和带霍尔传感器方法实现对洗衣机永磁同步电机(PMSM)的矢量控制(FOC)。

STM32F系列为ST发布的基于ARM公司Cortex-M3内核的微处理器,其拥有最高72MHz的运行频率,并内部集成了一个专门用于马达控制的 Advanced Timer,足以满足电机控制FOC运算的需求。同时ST提供了完整的电机驱动解决方案,通过免费提供的电机固件库及PC端的用户配置界面 MotorControl WorkBench,用户可以快速实现马达应用评估。

STGIPL14K60 为 ST 公司推出的智能功率模块(IPM),功率模块内集成 600V 15A IGBT、半桥驱动、运算放大器、比较器、NTC 等器件,能够简化电机控制逆变电路,仅需用一个功率模块即可替代几十个分立器件,有效提高控制系统的可靠性,并减小 PCB 尺寸和降低系统成本。

系统结构框图

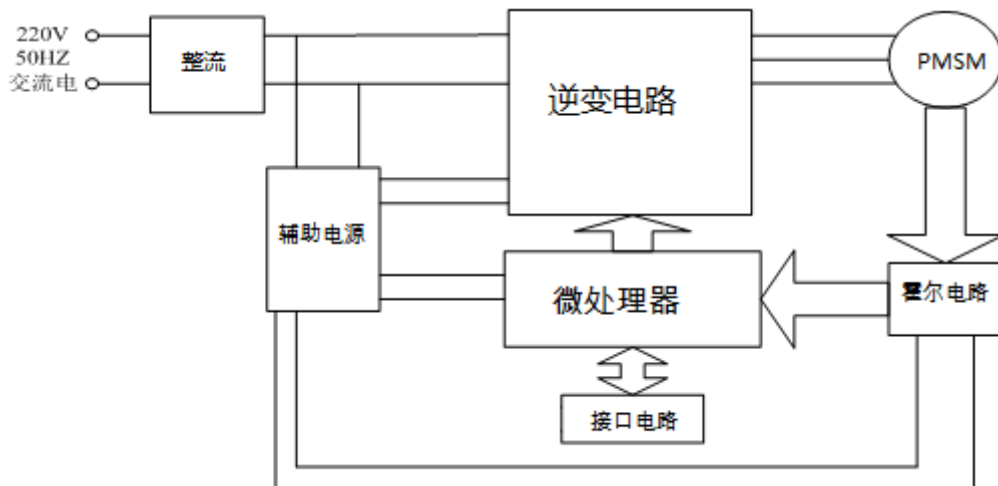


图 1 系统结构框图

如图 1 所示，系统结构主要分为四个主要部分：逆变电路、微处理器、接口电路、辅助电源。逆变电路主要实现电机的功率输出转换，微处理器完成电机驱动及系统控制，接口电路实现与控制面板的通讯，辅助电源提供系统所需低压电源。

永磁同步电机的驱动控制理论

永磁同步电机矢量控制(FOC)的实质就是对定子电流空间矢量的控制。如图 2 所示，通过检测功率模块输出到电机的电流，得到三相空间坐标系的三相电流矢量 i_{abc} ，接着对 3 相电流矢量进行 CLARK 坐标变换，得到两相电流空间矢量 $i_{\alpha\beta}$ ，接着再进行 PARK 坐标变换，最终将定子电流分解成在旋转坐标系的 i_{ds} 、 i_{qs} ，即矢量控制的励磁电流和转矩电流,当永磁体转子确定之后，电机的转矩就可以通过 i_{ds} 和 i_{qs} 来调节，这就变得和普通的直流有刷电机一样易于控制了。

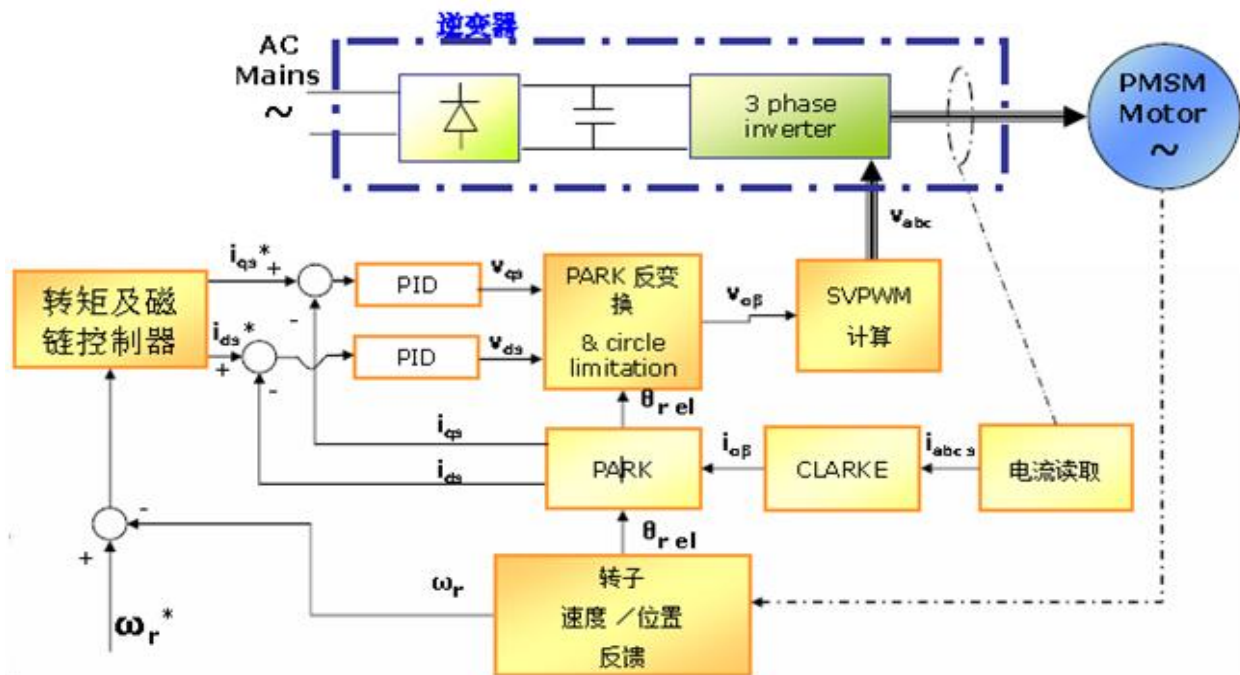


图 2 永磁同步电机矢量控制框图

变频洗衣机软件设计

变频洗衣机的软件包含两个主要部分：一是电机驱动控制部分，另一是洗衣机运动控制部分。电机驱动控制部分软件负责实现永磁同步电机矢量控制策略，洗衣机运动控制部分软件负责电机正反转、加减速、刹车等运动控制。

电机驱动控制部分软件设计

因波轮洗衣机电机工作时需不停的正、反转切换，电机启动时要具备足够大的力矩，我们采用带霍尔传感的矢量控制(FOC)，这种控制的目的在于对外界负载变化或干扰能快速响应，且具有稳速精度高，噪音低的特点。

电机驱动控制部分软件是基于 ST 提供的 STM32 电机固件库，通过该固件库可快速配置基于磁场定向控制 (FOC) 为基础的三相永磁同步电机 (PMSM) 驱动，库提供了完整的函数代码，包括具有微调开关功能的力矩控制和转速控制以及基于单电阻的电流检测专利算法、嵌入式永磁体同步电机 (IPMSM) 的 MTPA 控制、弱磁控制、前馈电流调节和制动策略等功能。固件提供的 C 代码符合

MISRA-C 2004 规则及 ISO/ANSI 标准。

同时库也包含可支持使用 Hall 传感器或编码器的转速检测和位置检测或无传感器算法。配合最新版的库专用图形配置工具 MC Workbench，可方便导入多种类型配置，方便设计人员灵活地选择最适合的应用方案。

电机驱动控制软件是基于状态机实现，如图 3，将整个电机运行过程分为 IDLE、INIT、START、RUN、STOP、WAIT、FAULT 七个状态，各状态机按照一定的条件切换，保证系统稳定可靠地运行。

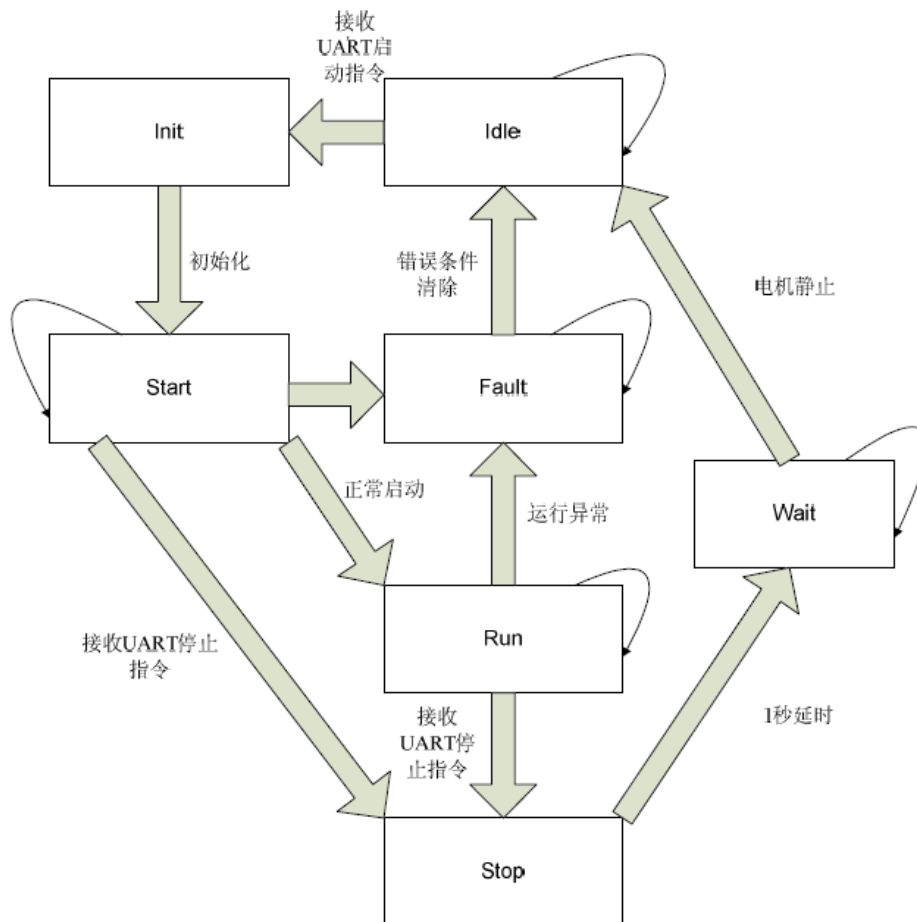


图 3 系统运行状态图

洗衣机运动控制部分软件设计

变频洗衣机因其具备良好的调速性能，可根据衣物的种类和质地选择合适的洗涤转速、洗涤时间、脱水转速、脱水时间以实现复杂的洗涤流程。不论怎样复杂的洗涤流程，其核心为洗涤控制和脱水控制。波轮洗衣机工作在洗涤状态时，电机带动波轮转动的速度较慢，而工作于脱水状态时，脱水桶需要高速地旋转，波轮式洗衣机是依靠离合器内部的齿轮实现高低速和力矩的变换。

洗衣机洗涤控制流程设计

洗涤运动的正常流程是先按照指令加速，到达目标速度后恒速，至预设时间结束后再减速，确保在指令所要求的停止时间内是电机停转，为等待电机的下一次启动做准备。到达指令预定的停止时间后，电机开始反向运动，依次为反向加速、反向恒速、反向减速和反向停止。整个洗涤运动共八种状态，如图 4。

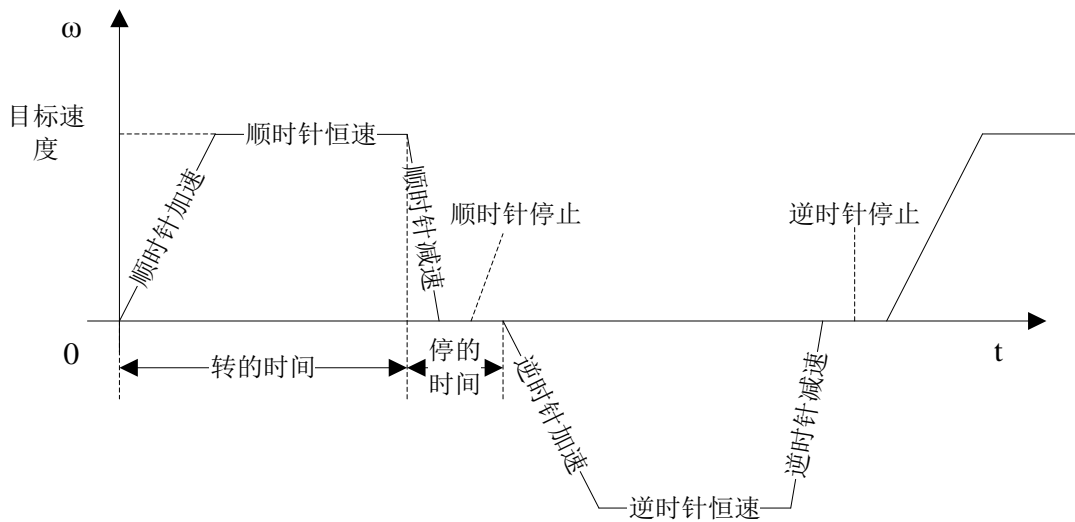


图 4 洗衣机洗涤运动形式

图 5 为洗衣机带负载洗涤时电机电流波形，从波形中我们可以清楚地看到加速->恒速->减速->刹车停止过程。采用 FOC 控制后，电流响应更快，刹车时电流更稳定。

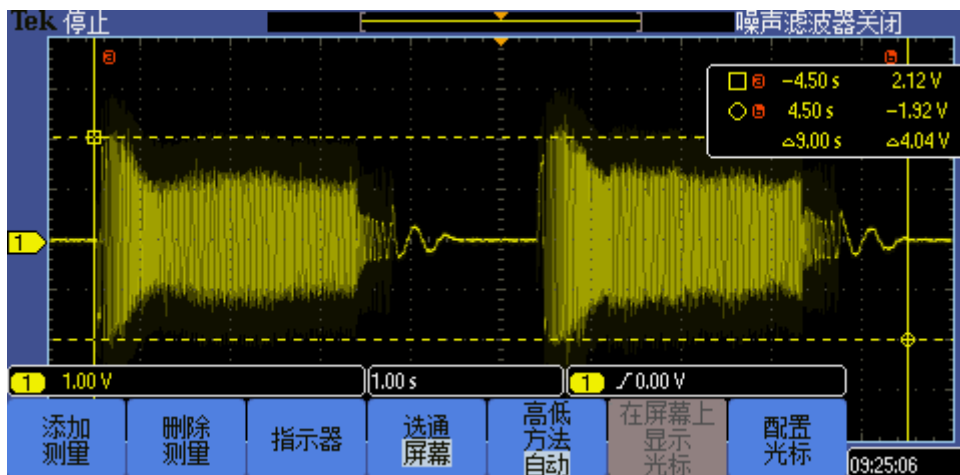


图 5 洗衣机洗涤时电机电流波形

洗衣机脱水控制流程设计

脱水运动的正常流程是先按照指令加速，当电机达到目标速度后，以一恒定速度运行一段时间，然后减速，速度减为零后停止一段时间再进行加速，如此重复，整个脱水运动共四种状态，如图 6。

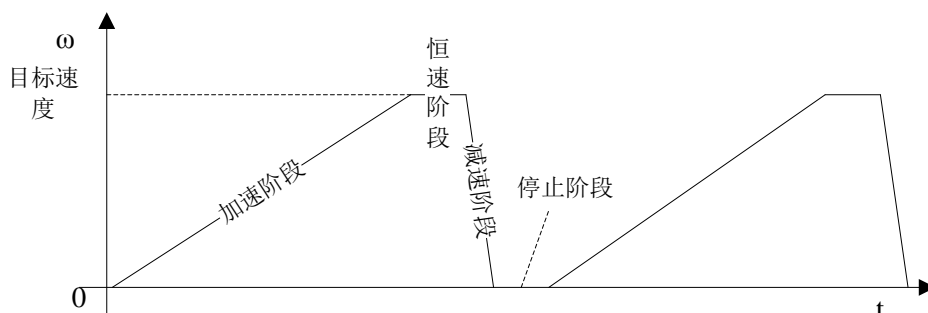


图 6 洗衣机的脱水运动形式

综上所述，以 STM32F103C6T6A 和 STGIPL14K60 为核心的洗衣机 FOC 变频波轮方案，具有输出力矩大、可靠性高等特点，与传统波轮洗衣机相比，节能、静音效果明显。

如对变频技术方案有任何查询，欢迎向威雅利电子查询。

参考文献

- 1 Shigeo Morimoto, Masayuki Sanada. Sinusoidal Current Drive System of Permanent Magnet Synchronous Motor with Low Resolution Position Sensor. Conference Record of the 1996 IEEE. 1996, (1) : 9-14
- 2 Stefano Frattesi, Luca Pasqualini. A three-phase motor drive for domestic washing machines. International Appliance Manufacturing 2004. 2004, (1) : 146-152
- 3 STM UM0492 : STM32F103xx permanent-magnet synchronous motor sensorless FOC software library v2.0
- 4 STM RM0008 - STM32F10xxx Reference Manual v13
- 5 STM STGIPL14K60 Datasheet