

新型高效电机驱动控制系统的研究与实现

谢居潘

福建省宁德市福鼎市巨荣机械制造有限公司，福建省宁德市，352100；

摘要：本文通过分析传统电机自动控制系统的理论与方法，针对新型高效电机驱动控制系统的特点，对电机驱动控制系统的总体架构、核心硬件、控制算法及其优化方法进行了研究，并针对电机驱动控制系统的稳定性与鲁棒性进行了分析。在此基础上，设计并实现了一种新型高效电机驱动控制系统。系统包括基于 DSP 的高性能多电压矢量 PWM 控制器，基于 ARM 处理器的高性能嵌入式控制器和基于 FPGA 的数字信号处理器，以及电源管理模块。系统测试结果表明，新型高效电机驱动控制系统在不同工况下均能实现高效率、高精度、高响应速度及快速响应能力。

关键词：新型高效电机；驱动控制系统；研究与实现

DOI：10.69979/3060-8767.25.09.068

引言

近年来，随着我国工业转型升级步伐的不断加快，国家对电机驱动控制系统的性能提出了更高要求，以提升产品市场竞争力。在此背景下，一种新型高效电机驱动控制系统应运而生，它能够适应不同工况下电机的驱动需求，具有较高的效率和功率密度。但是当前国内对新型高效电机驱动控制系统的研究工作并不多，本文针对国内市场对新型高效电机驱动控制系统的需求，开展了相关研究工作。

1 新型高效电机分类及发展现状

当前国内对新型高效电机的研究主要分为两大类：一类是新型高效永磁电机，如永磁同步电机、无刷直流电机等；另一类是新型高效磁阻电机，如高功率密度、高效率永磁同步电机等。当前国内外在这两大领域均已取得较多研究成果，并且取得了较好的经济效益和社会效益。此外，近年来随着电力电子技术、微电子技术、计算机技术及现代控制理论的发展，出现了很多新型高效电机驱动控制系统，如多电压矢量 PWM 控制系统、直接转矩控制系统、无位置传感器控制系统等。这些新型高效电机驱动控制系统具有响应速度快、精度高、动态性能好及鲁棒性强等特点，已成为当前工业自动化领域的研究热点^[1]。

2 性能指标与工作原理

本文提出的新型高效电机驱动控制系统，是以新型高效电机为主体，包括功率变换器、变频器、控制器以及电源管理模块等组成的电机驱动控制系统。在工作过

程中，功率变换器作为核心器件，其主要作用是将直流电源转化为三相交流电源。变频器通过改变三相交流电源的频率来实现对电机的控制。控制器则是整个系统的指挥中心，负责对电机运行状态进行实时监控和控制。此外，电源管理模块是整个系统的能量来源，负责对电机运行所产生的多余电能进行回收与利用。电机驱动控制系统和电源管理模块是一个整体，共同完成电机驱动控制系统的任务^[2]。

3 电机驱动控制系统的理论与方法

3.1 电机驱动控制系统结构

本电机驱动控制系统主要由上位机、下位机和各种硬件电路组成。上位机负责接收上位机的命令和控制信号，根据所得到的数据，以一定的算法，发出控制指令。下位机主要完成各种控制信号的采集和处理工作。硬件电路由 TMS320LF2407、IR2110、DSP 芯片、电源芯片、信号调理电路、保护电路等组成。硬件电路功能是将接收到的各个上位机指令进行处理后，输出控制信号，以实现电机驱动控制。通过上位机对电机驱动控制系统进行各种状态显示和参数设置，同时对电机驱动控制系统进行各种故障判断和报警处理。

3.2 主流驱动控制方法

矢量控制是一种直接的速度、转矩和磁链控制方法，它的基本思想是利用坐标变换把交流电机的旋转磁场变换为电磁场，并根据不同的矢量作用在不同的坐标系下，利用坐标变换理论，按照一定的规律对空间电压矢量进行合成，从而产生一系列与之相应的控制量（包括

转矩和磁链)，进而实现对交流电机的控制。其主要特点是：直接对交流电机的转矩、转速和磁链进行控制，不需要任何中间环节。直接转矩控制简单、可靠、易于实现。直接转矩控制主要有以下三种策略：矢量直接控制、空间电压矢量间接控制和磁链间接控制。这三种方法都可以达到很好的效果^[3]。

3.3 控制策略及其优化

系统控制策略主要是针对永磁同步电机的矢量控制进行的，与传统的直接转矩控制相比，该系统在空间电压矢量调制下，可以实现更高的转矩响应速度和动态性能，并且可以使电机运行在更高的效率区间。为了进一步提高系统性能，本文对传统的直接转矩控制算法进行了优化和改进，提出了一种基于滞环控制的直接转矩控制策略，并且将该策略与基于空间电压矢量调制的直接转矩控制进行比较。仿真结果表明，与传统的直接转矩控制策略相比，该算法能够使电机在不同工况下均能实现更高效率和更高精度运行。此外，该算法还能够使电机在较低转速下也能实现较快响应速度。

3.4 系统稳定性与鲁棒性分析

系统稳定性分析是指在系统状态方程中，判断该状态是否会发生变化，以及变化的趋势如何。本文利用 Lyapunov 稳定性理论对基于滞环控制的直接转矩控制进行稳定性分析。通过对比实验，结果表明，基于滞环控制的直接转矩控制具有较好的动态性能和较强的鲁棒性。根据 Lyapunov 稳定性理论，可以知道，当系统在非线性区内时，其状态方程满足稳定性条件。本文对传统直接转矩控制系统和基于滞环控制的直接转矩控制系统进行仿真实验，将结果与理论推导相比较，验证了所提出算法的正确性和有效性^[4]。

4 新型高效电机驱动控制系统的设计与实现

4.1 系统总体架构设计

在系统总体设计上，我们将整个控制系统分为以下几个模块：（1）功率变换电路：其中主要包括逆变器、电流检测、驱动电路和过流保护等。（2）驱动电路：将电机的三相交流电通过电压型逆变器转换为直流电，并且在此基础上对电压型逆变器进行保护。（3）控制器：通过对电机电流的检测，并将其与设定值相比较，从而得出相应的控制指令，再根据此控制指令对 PWM 信号进行处理，使其输出到驱动电路中。（4）过流保护电路：当电机发生过流故障时，过流保护电路将会对

系统进行保护。（5）采样与数据处理模块：该模块用于接收功率变换电路输出的 PWM 信号。

4.2 核心硬件选择与实现

在系统硬件的选择上，我们采用 TI 公司的 TMS320F2812 作为主控制器。在控制电路设计上，我们选用的是 LM324 芯片，因为它具有高精度的电流测量、信号调理和模拟信号输出功能，同时它还具有低功耗、低成本以及低干扰等特点。在驱动电路设计上，我们选择的是 STM32F103 芯片作为控制核心，因为它具有高性能的数字信号处理器、丰富的 I/O 口以及丰富的定时器和中断源。在保护电路设计上，我们选用了美国 Motorola 公司生产的 PIC18F452 芯片，因为它具有可靠、高精度、高性能的数字信号处理器。

4.3 控制算法开发与优化

在控制算法开发上，我们采用了两种不同的控制算法。一种是基于传统滞环控制的直接转矩控制算法，另外一种是基于空间电压矢量调制的直接转矩控制算法。在对两种控制算法进行仿真和比较后，发现基于传统滞环控制的直接转矩控制算法在电机的实际运行中表现出较好的性能，但是由于其响应速度较慢，所以该算法不能很好地应用于电机的运行过程。而基于空间电压矢量调制的直接转矩控制算法则具有较高的响应速度和较好的效率。因此，我们将这两种算法相结合，开发出一种新的基于滞环控制的直接转矩控制算法，以进一步提高系统性能。

4.4 软件平台搭建与集成

上位机程序：该部分主要用于人机交互。上位机程序通过串口与控制器进行通信，以实现了对控制器的控制。

（2）软件运行平台搭建：由于系统软件需要在上位机运行，因此系统搭建需在上位机上完成。本系统采用的是 Keiluvision3 软件，它是一种面向对象的开发工具，具有强大的代码编辑和调试功能。本系统主要采用的是 C 语言作为开发语言，该语言具有简单、高效、可靠等特点，且具有较好的可移植性。（3）上位机程序集成：我们采用 Keiluvision3 集成开发环境，对系统进行开发和调试^[5]。

4.5 仿真与测试方法

通过仿真实验，验证系统的有效性。在仿真实验中，我们采用了两种不同的仿真模型：（1）速度环：通过分析不同负载条件下电机的转速变化情况，验证系统性

能否能够达到要求。(2) 转矩环: 通过对电机转速和转矩的实时监控, 以保证系统运行在较高效率区间。

(3) 电流环: 通过对电流的检测, 并将其与设定值相比较, 从而得出相应的控制指令, 以保证系统能够稳定、可靠地运行。此外, 本文所提出的基于滞环控制的直接转矩控制算法具有较好的动态性能和较快的响应速度, 因此该算法具有较好的实际应用价值。

5 实验与性能分析

5.1 实验平台搭建

本系统采用了 TI 公司的高性能 16 位 DSP 芯片 TM320F2812。其具有高速数据采集与处理能力, 能够完成采样、AD 转换和 PID 控制等功能, 可以完成实时控制算法。为了方便对系统性能进行测试, 本系统搭建了一套基于 DSP 的双闭环仿真测试系统, 即以 TMS320F2812 为核心, 采用转速和电流双闭环控制策略, 以电机的位置、速度和转速为反馈量, 利用 PI 控制器实现对电机运行的控制。根据电机参数以及负载特性, 分别对电机启动、调速和堵转等情况进行测试。实验结果表明, 本文设计的双闭环控制器具有较好的控制效果。

5.2 关键性能参数测试

(1) 效率测试。本系统采用 PWM 技术, 对系统的效率有较大影响。在理想情况下, 无位置传感器的逆变器系统效率最高。本系统通过使用电机矢量控制策略, 利用相电流矢量的数学模型, 对逆变器进行控制, 从而得到理想的效果。将本系统与传统 PID 控制方法进行了效率测试。(2) 响应速度测试。本系统通过改变控制周期, 实现了对电机转速的快速响应, 从而有效地提高了电机驱动的效率。在本系统中采用基于 PID 控制器的控制策略, 当电机转速达到设定值时, 便会对 PID 控制器进行调参, 从而在很大程度上提高了控制效率。

5.3 实验结果与分析

该电机驱动系统可以满足高效运行要求。首先, 当系统输入电源电压为 380V, 三相输入电流为 70A 时, 系统在整个负载范围内都具有良好的启动性能。当电机运行在额定转速时, 调速范围也很大。其次, 电机在额定转速运行时, 系统能够按照设定的模式进行调速控制。此外, 由于该系统采用了新型的电流控制策略, 使得电机在动态过程中能够快速响应负载变化。如果电机负载变化较大, 在启动和停止过程中也能很好地保持良好的调速性能。同时该系统具有良好的抗干扰性能, 保证了

在各种恶劣工况下都能安全可靠运行。

5.4 系统稳定性与可靠性验证

本文提出的基于滞环控制的直接转矩控制策略和基于空间电压矢量调制的直接转矩控制策略在 MATLAB/Simulink 中分别搭建了模型, 然后对所提出的两种算法进行了仿真对比, 结果表明, 在相同工况下, 两种算法的转矩响应速度和精度基本一致。为了验证所提出的控制策略的可行性, 在两台电机上分别进行了实验。在实验中, 我们选用两台相同规格的电机, 分别使用所提出的直接转矩控制策略和空间电压矢量调制策略, 然后对它们进行了测试。结果表明, 在相同工况下, 基于滞环控制的直接转矩控制策略和空间电压矢量调制策略均能实现很好的转矩响应速度和精度。

6 结语

本文通过对电机驱动控制系统的研究, 提出了一种基于滞环控制的直接转矩控制算法, 并将其应用于电机自动控制系统。通过 MATLAB/Simulink 对其进行了仿真分析, 结果表明, 在相同工况下, 该算法能够有效地提高电机驱动的效率。此外, 我们还通过对两种算法的仿真对比分析, 表明了该系统具有较好的动态性能和较快的响应速度。

通过对电机驱动控制系统的研究, 我们可以发现, 基于滞环控制的直接转矩控制算法和基于空间电压矢量调制的直接转矩控制策略具有很好的优势。因此, 在以后的研究中, 我们将继续对这两种算法进行研究, 以期得到更好的结果。

参考文献

- [1] 郭海, 高效电机用新型节能亚纳米软磁合金产业化研究。浙江省, 宁波中科毕普拉斯新材料科技有限公司, 2021-01-27.
- [2] 钱斌亮, 基于新型转子结构的高效单相电机。浙江省, 浙江时代马电器有限公司, 2020-10-27.
- [3] 樊英, 雷宇通, 张秋实. 新型交替极混合励磁电机宽速域电流高效协调控制[J]. 中国电机工程学报, 2020, 40(24): 7918-7927+8229.
- [4] 李超. 新型高效低谐波绕组设计[J]. 电机与控制应用, 2019, 46(05): 47-50.
- [5] 王岳, 超高效电机制造工艺优化及新型核心装备研发。江苏省, 南通通达砂钢冲压科技有限公司, 2017-12-01.