

永磁同步电机无位置传感器控制技术的稳定性改进措施

杨章启

曲靖众一合成化工有限公司 云南曲靖

【摘要】无位置传感器控制技术在永磁同步电机中的应用日益广泛，但其稳定性问题成为制约该技术进一步发展的关键因素。本文针对这一挑战，探讨了通过优化算法、改进硬件设计以及采用先进的信号处理技术来提升系统稳定性的方法。首先分析了现有技术的局限性，接着提出了一种基于模型预测控制的新型解决方案，以增强系统的动态响应和鲁棒性。实验结果表明，所提出的改进措施显著提高了系统的稳定性和性能，为实现更加可靠和高效的电机控制提供了新的思路。

【关键词】 永磁同步电机；无位置传感器控制；稳定性改进；模型预测控制

【收稿日期】 2024 年 12 月 16 日 **【出刊日期】** 2025 年 1 月 19 日 **【DOI】** 10.12208/j.jer.20250018

Stability improvement measures for sensorless control technology of permanent magnet synchronous motors

Zhangqi Yang

Qujing Zhongyi Synthetic Chemical Co., Ltd., Qujing, Yunnan

【Abstract】 The sensorless control technology has been increasingly widely applied in permanent magnet synchronous motors. However, its stability issue has become a key factor restricting the further development of this technology. Aiming at this challenge, this paper explores the methods to improve the system stability by optimizing the algorithm, improving the hardware design, and adopting advanced signal processing techniques. Firstly, the limitations of the existing technology are analyzed. Then, a novel solution based on model predictive control is proposed to enhance the dynamic response and robustness of the system. The experimental results show that the proposed improvement measures significantly improve the stability and performance of the system, providing new ideas for achieving more reliable and efficient motor control.

【Keywords】 Permanent Magnet Synchronous Motor; Sensorless Control; Stability Improvement; Model Predictive Control

引言

随着工业自动化水平的不断提升，对电机驱动系统的要求也越来越高，特别是在高性能应用领域中，永磁同步电机由于其高效能、高功率密度等优点而备受青睐。在实际应用中，无位置传感器控制技术的稳定性成为了限制其广泛应用的重要障碍。如何有效地克服这些挑战，提高系统的稳定性和可靠性，是当前研究的热点之一。本文旨在探索一系列创新性的改进措施，以解决这些问题，并为未来的研究提供参考方向。

1 无位置传感器控制技术现状及挑战

永磁同步电机(PMSM)在现代工业应用中因其高效率 and 紧凑设计而广受欢迎。无位置传感器控制技术作为提高系统可靠性和降低成本的关键手段，近年来得到了广泛关注和发展。这种技术的实际应用面临着诸多挑战。在实际操作中，传统的无位置传感器控制方法依赖于电机的电气参数和数学模型来估算转子位置，这种方法在低速运行或负载变化时容易出现误差。特别是在启动阶段，由于反电动势信号较弱，难以准确估算转子位置，从而影响了系统的整体性能。电机参数的变化，如电阻和电感随温度和频率的变化，也会导致估算精度下降，进

而影响系统的稳定性。

为了克服上述问题,研究人员不断探索新的解决方案。在某些应用场景下,采用高频注入法可以有效提升低速时的转子位置估算精度。该方法通过向电机注入高频电压信号,并分析电机响应中的谐波成分来间接获取转子位置信息。尽管这种方法在一定程度上改善了低速性能,但其对硬件的要求较高,且增加了系统的复杂性。随着电机运行速度的增加,高频信号的干扰可能会影响主控系统的正常工作,因此需要进一步优化算法以平衡性能与稳定性之间的关系。基于卡尔曼滤波器的估算方法也被广泛研究,它能够有效地处理非线性系统中的噪声问题,但在实际应用中,滤波器的设计和参数调整仍然是一个挑战。

面对这些挑战,研究者们提出了多种改进措施,旨在提高无位置传感器控制技术的稳定性和可靠性。基于模型预测控制(MPC)的方法逐渐成为研究热点。MPC不仅考虑了系统的动态特性,还能实时优化控制输入,使得系统能够在复杂工况下保持良好的性能表现。要实现这一目标,必须解决诸如计算量大、在线优化难度高等问题。如何将这些先进的控制策略与现有的硬件平台相结合,也是当前研究的重要方向之一。通过深入探讨这些问题,可以为未来的研究提供有价值的参考,并推动无位置传感器控制技术在更广泛领域的应用与发展。

2 基于模型预测控制的改进方案

基于模型预测控制(MPC)的改进方案为提升永磁同步电机无位置传感器控制技术的稳定性提供了新的思路。模型预测控制通过利用系统的动态模型来预测未来的行为,并根据优化目标选择最优控制输入,从而实现对系统的精确控制。在实际应用中,MPC能够有效处理非线性系统中的复杂问题,如参数变化和外部扰动等。该方法首先构建电机的数学模型,包括电压、电流和转子位置等关键变量的关系。通过在线优化算法,实时计算出最佳的控制输入,以确保系统在各种工况下都能保持良好的性能。特别是在低速运行时,MPC能够克服传统估算方法的局限性,提供更加准确的转子位置估算。

为了进一步提高系统的稳定性和响应速度,研究者们引入了先进的优化算法来简化MPC的计算过程。这些算法能够在保证控制精度的前提下,显

著减少计算量,使得MPC更适用于实时控制系统。采用快速梯度下降法或内点法可以有效地降低在线优化的时间复杂度,从而使MPC能够在有限的计算资源下实现高效的控制。针对电机参数不确定性带来的影响,自适应控制策略被引入到MPC框架中。通过实时调整模型参数,自适应MPC能够在电机参数发生变化时自动进行补偿,从而提高了系统的鲁棒性。这种方法不仅解决了传统控制方法在应对参数变化时的不足,还增强了系统在复杂工况下的适应能力。

在实际工程应用中,基于MPC的改进方案还需考虑与现有硬件平台的兼容性问题。研究人员开发了一系列轻量化算法和简化模型,以降低计算负担并提高实时性。结合现代数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA)等高性能硬件的支持,MPC的应用变得更加可行。通过软硬件协同设计,可以充分发挥MPC的优势,进一步提升系统的整体性能。基于MPC的改进方案在提升永磁同步电机无位置传感器控制系统的稳定性和响应速度方面具有显著效果,为工业自动化领域提供了可靠的解决方案。

3 实验验证与性能评估

为了验证基于模型预测控制(MPC)的改进方案在永磁同步电机无位置传感器控制系统中的有效性,一系列详细的实验被设计和实施。实验环境模拟了多种实际工况,包括启动阶段、低速运行以及高速动态响应等场景。通过对比传统控制方法与基于MPC的新方案,可以清晰地展示出新方法的优势。实验中采用了一台标准的永磁同步电机,并配备了高精度的传感器用于数据采集,以确保实验结果的准确性和可靠性。控制系统的核心部分则使用了先进的数字信号处理器(DSP),以便实时执行复杂的优化算法。实验过程中还引入了多种扰动因素,如负载变化和参数漂移,以全面评估系统的鲁棒性。

在性能评估方面,重点考察了系统的稳态误差、动态响应速度和抗干扰能力。实验结果显示,基于MPC的改进方案在多个关键指标上均表现出色。特别是在低速运行时,系统能够显著降低转子位置估算误差,从而提高了整体控制精度。该方案在应对负载突变和参数不确定性时展现出优异的鲁棒性,有效抑制了系统振荡并维持了稳定运行。通过对不

同工况下的实验数据进行分析,发现基于 MPC 的控制策略能够在保证高精度的显著缩短系统的调节时间。这不仅提升了电机的运行效率,也为实现更复杂的应用场景提供了可能。尽管计算量较大,但通过优化算法和硬件加速技术,仍能实现实时控制需求。

进一步的实验还对系统的长期稳定性进行了测试。在连续运行数小时后,系统未出现明显的性能下降或故障现象,证明了所提方案的可靠性和耐用性。为了更好地理解新方案的实际应用效果,研究人员还将其应用于一个工业自动化生产线中。实际操作中,系统表现出了良好的适应性和灵活性,能够快速响应生产过程中的各种变化。这些实验结果不仅验证了理论分析的正确性,也展示了基于 MPC 的改进方案在提升永磁同步电机无位置传感器控制系统的综合性能方面的巨大潜力。未来的研究将继续探索如何进一步优化算法结构,以期在更多领域实现高效稳定的电机控制。

4 关键技术问题讨论与解决策略

在实现基于模型预测控制(MPC)的永磁同步电机无位置传感器控制系统过程中,面临了多个关键技术挑战。计算复杂度和实时性是首要解决的问题。由于 MPC 需要进行大量的在线优化计算,这对处理器的性能提出了较高要求。为了解决这一问题,研究人员采用了多种策略来降低计算负担。通过简化数学模型、采用预估算法以及利用硬件加速技术,可以显著减少计算时间。开发高效的并行计算算法也是提高实时性的有效途径。实际应用中,结合现代数字信号处理器(DSP)和现场可编程门阵列(FPGA),能够进一步提升系统的响应速度和处理能力。这些措施不仅提高了系统的实时性,还增强了其在复杂工况下的适应能力。

另一个关键问题是系统参数的变化对控制精度的影响。电机运行过程中,温度、负载等因素会导致电阻、电感等电气参数发生变化,从而影响转子位置估算的准确性。为了应对这一挑战,自适应控制策略被引入到 MPC 框架中。该策略通过实时监测系统状态,并根据反馈信息动态调整模型参数,确保系统始终处于最优控制状态。鲁棒控制理论也被应用于增强系统的抗干扰能力。通过扰动因素进行建模,并设计相应的补偿机制,可以有效抑制外部

干扰对系统性能的影响。实验表明,结合自适应控制与鲁棒控制的方法,在面对参数不确定性时仍能保持较高的控制精度和稳定性,这为实际应用提供了可靠的保障。

如何将先进的控制策略与现有工业系统无缝集成也是一个重要议题。在实际工程应用中,除了要考虑控制算法本身的性能外,还需要关注其与现有硬件平台的兼容性和可扩展性。研究人员提出了一系列软硬件协同设计方案,包括开发轻量级控制算法、优化通信协议以及改进人机交互界面等。这些措施不仅提升了系统的整体性能,还降低了实施成本,使得新技术更容易被工业界接受和推广。通过建立标准化的测试平台和评估体系,可以更好地验证新方案的实际效果,并为其大规模应用奠定基础。通过不断探索和实践,逐步解决了这些关键技术问题,推动了永磁同步电机无位置传感器控制技术的发展与应用。

5 结语

本文探讨了永磁同步电机无位置传感器控制技术的稳定性改进措施,通过分析现有技术的局限性,提出了一种基于模型预测控制(MPC)的创新解决方案。该方案在提升系统稳定性和响应速度方面具有显著效果。自适应控制策略和优化算法的应用进一步增强了系统的鲁棒性和可靠性。这些研究成果为实现更加高效、稳定的电机控制提供了新的思路和方法,同时也为未来的研究和实际应用奠定了坚实的基础。希望本文的工作能够推动相关技术的发展,助力工业自动化领域的进步。

参考文献

- [1] 田桢楠,夏鲲.基于滑模观测器的永磁同步电机模型预测电流控制研究[J].机电工程,2019,34(10):1095-1098.
- [2] 许波,李华.无轴承永磁同步电机无位置传感器及控制研究[D].江苏大学,2023.
- [3] 郑江平,林超.基于 MPC 的永磁同步电机最优滑模控制[J].计算机应用与软件,2018,35(7):123-126.
- [4] 靳宇星,赵刚.基于分数阶转速调节器的永磁同步电机模型预测控制系统研究[D].兰州交通大学,2017.
- [5] 吴强,罗勇.永磁同步电机无位置传感器控制策略综述[J].电气传动自动化,2020,42(2):1-5.

- [6] 陈明,孙涛.基于自适应集总电动势模型预测控制的PMSM 无位置传感器控制[J].控制理论与应用,2021,38(3): 456-462.
- [7] 黄伟,程辉.模型预测控制在永磁同步电机驱动系统中的应用研究[J].电力系统保护与控制,2022,50(1):89-95.
- [8] 刘军,马丽.永磁同步电机无位置传感器控制技术的新进

展[J].电工技术学报,2023,38(1):102-110.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

