

# 无感FOC电机控制在制冷机高效精准运行中的关键作用及实现途径

邱伟强<sup>1</sup> 叶 丰<sup>2</sup>

1. 浙江珏芯微电子有限公司 浙江丽水 323000

2. 浙江科马摩擦材料股份有限公司 浙江松阳 323400

**摘要:** 无感FOC电机控制技术作为现代电机控制领域的前沿技术,其核心在于实现对电机状态的实时、准确估计与控制。探讨了该技术在算法优化与实时性提升、无传感器控制技术的研究与应用以及系统稳定性与鲁棒性增强策略等关键方面的发展。通过算法优化、高性能硬件平台的应用以及先进控制策略的探索,有效降低了算法复杂度,提升了实时性能。无传感器控制技术的研究则关注于电机状态参数的精确估计,设计了冗余传感器系统和故障诊断机制,并探索了基于机器学习和人工智能的控制策略。为了提升系统稳定性与鲁棒性,采用了多种控制策略、设计合理的滤波器以及引入智能控制策略。这些策略的实施为无感FOC技术的广泛应用奠定了坚实基础,推动了电机控制领域的智能化、自主化发展。

**关键词:** 无感FOC电机控制技术; 算法优化; 实时性

## 引言

随着现代工业与自动化技术的快速发展,电机控制技术作为核心驱动技术之一,其性能与效率的提升对于整个系统的运行至关重要。无感FOC(Field-Oriented Control, 磁场定向控制)电机控制技术作为一种先进的电机控制策略,通过实时、准确地估计与控制电机状态,实现了对电机的高效、精确控制。在实际应用中,无感FOC技术面临着算法复杂度高、实时性难以保证、对位置传感器依赖大以及系统稳定性与鲁棒性不足等挑战。探索无感FOC电机控制技术发展的关键策略,提升其性能与可靠性,对于推动电机控制技术的发展具有重要意义。将从算法优化与实时性提升、无传感器控制技术的研究与应用以及系统稳定性与鲁棒性增强策略等三个方面,深入探讨无感FOC电机控制技术的发展现状与未来趋势。

## 一、无感FOC电机控制在制冷机中的应用与挑战

### (一) 无感FOC电机控制的基本原理

无感FOC电机控制技术,作为现代电机控制领域的一项重大突破,其基本原理在于无需位置传感器即可实现对电机的高效、精确控制。该技术通过实时采集电机的电流、电压等电气参数,结合先进的算法进行运算,从而准确估算出电机的转子位置和速度。在此基础上,

无感FOC技术进一步利用矢量控制和坐标变换原理,将电机电流分解为励磁电流和转矩电流两个分量,并分别进行控制,以实现电机的高效、平稳运行。无感FOC电机控制不仅简化了电机控制系统的结构,降低了成本,还显著提高了电机的控制精度和响应速度,为各种工业应用提供了强大的技术支持。

### (二) 无感FOC在制冷机中的应用优势

在制冷机领域,无感FOC电机控制技术的应用带来了显著的优势。由于无感FOC技术能够实现对电机电流的精确控制,从而大大提高了制冷机的能效比,降低了能耗。无感FOC电机控制的响应速度快,能够迅速适应制冷机负载的变化,保持系统的稳定运行。该技术还减少了制冷机的振动和噪音,提高了设备的可靠性和使用寿命。在制冷机的智能化控制方面,无感FOC技术也展现出了巨大的潜力,为制冷机的自动化、智能化控制提供了有力的支持。

### (三) 无感FOC电机控制的实现难点与解决方案

尽管无感FOC电机控制技术具有诸多优势,但在实际应用中,也面临着一些挑战。如何实现准确的电机转子位置和速度估算是最大的难点之一。为了解决这个问题,研究者们提出了多种算法,如扩展卡尔曼滤波、模型参考自适应控制等,以实现电机转子位置和速度的精确估算。无感FOC电机控制还需要解决参数变化、非线性因素以及外部干扰等问题。针对这些问题,研究者们提

出了自适应控制、鲁棒控制等策略，以提高系统的稳定性和鲁棒性。随着人工智能和机器学习技术的发展，无感FOC电机控制的智能化水平也将得到进一步提升，为各种工业应用提供更加高效、可靠的控制方案。

## 二、无感FOC电机控制技术面临的关键挑战与综合解决方案

### （一）算法复杂度与实时性矛盾

无感FOC电机控制技术，虽然能够显著提升电机的控制性能，但其算法复杂度较高，这对控制系统的实时性提出了严峻挑战。为了实现无感FOC，需要对电机的状态进行实时估计，这通常涉及大量的数学运算和数据处理。在实际应用中，尤其是对于那些对响应时间有严格要求的应用场景，如制冷机的快速启动和负载变化响应，算法的复杂度和实时性之间的矛盾就显得尤为突出。为了解决这个问题，研究者们采用了多种策略。一方面，通过优化算法结构，减少不必要的计算步骤，提高算法的执行效率；另一方面，利用高性能的数字信号处理器（DSP）或现场可编程门阵列（FPGA）等硬件平台，加速算法的执行速度。此外，还考虑采用并行处理技术，将复杂的计算任务分解为多个子任务，在多个处理器上同时执行，从而进一步提高实时性。通过这些方法，在保证算法精度的同时，有效提升无感FOC电机控制系统的实时性能。

### （二）传感器依赖与故障风险

尽管无感FOC电机控制技术旨在减少对位置传感器的依赖，但在实际应用中，仍然需要一些传感器来提供必要的电机状态信息，如电流传感器、电压传感器等。这些传感器的故障或失效，将直接影响无感FOC算法的执行效果和电机的控制性能。为了降低传感器故障带来的风险，采取多种措施。选择高质量的传感器，并定期进行维护和校准，以确保其准确性和可靠性。设计冗余传感器系统，当某个传感器出现故障时，自动切换到备用传感器，以保证系统的连续运行。还利用先进的故障诊断和预测技术，实时监测传感器的状态，提前发现潜在故障，并采取相应措施进行修复或更换。通过这些方法，有效降低传感器故障对无感FOC电机控制系统的影响。

### （三）系统稳定性与鲁棒性挑战

在实际应用中，无感FOC电机控制系统往往会受到负载波动、电源电压波动以及电机参数变化等多种外部干扰和内部参数变化的影响。这些因素导致系统性能下降，甚至引发系统失稳，对系统的稳定性和鲁棒性构成

严峻挑战。为了应对这些挑战，研究者们采取了多种策略来提升无感FOC电机控制系统的稳定性和鲁棒性。他们引入了先进的控制算法，如自适应控制和滑模控制等。这些算法能够根据系统的实时状态灵活调整控制参数，从而增强系统的适应性和抗干扰能力。自适应控制算法能够实时监测并补偿系统参数的变化，确保系统在各种工况下都能保持稳定。而滑模控制算法则通过设计合理的滑模面和切换控制律，使得系统能够在受到干扰时迅速恢复到稳定状态。设计合理的滤波器也是提升系统稳定性和鲁棒性的重要手段。滤波器能够对输入信号进行预处理，有效滤除噪声和干扰成分，从而确保系统接收到的是准确、可靠的信号。这对于提高系统控制精度和稳定性具有重要意义。研究者们还探索了智能控制策略在无感FOC电机控制系统中的应用。模糊控制和神经网络控制等智能策略能够充分利用系统的历史数据和实时信息，通过学习和优化控制策略，实现更加精确的控制决策。这些策略不仅提高了系统的鲁棒性，还使得系统能够更好地适应复杂多变的应用环境。通过采用先进的控制算法、设计合理的滤波器以及引入智能控制策略等方法，显著提升无感FOC电机控制系统的稳定性和鲁棒性。这些策略的实施为无感FOC技术在各种复杂环境下的广泛应用提供了有力保障。

## 三、无感FOC电机控制技术发展的关键策略与进展

### （一）算法优化与实时性提升

无感FOC电机控制技术，作为现代电机控制领域的前沿技术，其核心在于对电机状态的实时、准确估计与控制。这一技术的实际应用却面临着算法复杂度高、实时性难以保证的严峻挑战。为了破解这一难题，算法优化成为了关键所在。研究者们深入剖析无感FOC算法的数学模型，通过精心识别并剔除冗余的计算步骤，成功简化了算法结构，从而大幅度降低了计算负担。这一举措不仅提升了算法的运行效率，更为无感FOC技术的广泛应用奠定了坚实基础。针对实时性要求极高的应用场景，研究者们进一步采取了高性能硬件平台与并行处理技术的结合策略。他们选用了高性能的数字信号处理器（DSP）或现场可编程门阵列（FPGA）等硬件平台，利用这些平台的强大计算能力，将复杂的计算任务巧妙地分解为多个子任务并行执行。这一策略的实施，显著提升了算法的执行速度，使得无感FOC技术能够更好地满足实时性要求。研究者们还积极探索了基于模型预测控制等先进控制策略的应用。通过预测未来状态并提前调整控制参数，这些策略进一步缩短了响应时间，提升了

系统的实时性能。这不仅增强了无感FOC技术的适应性，更为其在各种复杂环境下的广泛应用提供了有力支持。通过算法优化、高性能硬件平台与并行处理技术的结合以及先进控制策略的应用，无感FOC电机控制技术的算法复杂度和实时性问题得到了有效解决。这些策略的实施不仅保证了算法的高精度，还显著提升了控制系统的实时性，为无感FOC技术的广泛应用开辟了新的道路。

## （二）无传感器控制技术的研究与应用

无传感器控制技术作为无感FOC电机控制技术的核心组成部分，其重要性不言而喻。该技术致力于通过精确估计电机状态参数，减少对位置传感器的依赖，从而在降低系统成本的同时，显著提高系统的可靠性。在无传感器控制技术的研究领域，研究者们对电机状态参数的精确估计方法给予了高度关注。他们积极探索并应用了多种先进的算法，如扩展卡尔曼滤波和模型参考自适应控制等，以实现电机转子位置和速度的准确估计。这些算法的应用，不仅提高了无传感器控制的精度，还为无感FOC技术的进一步发展奠定了坚实基础。针对实际应用中出现的传感器故障或失效情况，研究者们还设计了冗余传感器系统和故障诊断机制。这些措施能够在传感器出现故障时，及时切换至备用传感器或采取相应的故障处理策略，确保系统在无传感器状态下仍能稳定运行。这不仅提高了系统的容错性和可靠性，还为无感FOC技术在复杂环境下的应用提供了有力保障。值得一提的是，近年来，研究者们还开始探索基于机器学习和人工智能的无传感器控制策略。通过训练模型学习电机状态与控制参数之间的关系，这些策略能够进一步提高无传感器控制的精度和鲁棒性。这种智能化的控制方法不仅为无感FOC技术带来了新的发展机遇，还为电机控制领域的智能化、自主化提供了有力支持。无传感器控制技术在无感FOC电机控制中发挥着举足轻重的作用。随着研究的不断深入和技术的不断发展，无传感器控制技术将不断取得新的突破和进展，为无感FOC技术的广泛应用和电机控制领域的智能化发展注入新的活力。

## （三）系统稳定性与鲁棒性增强策略

系统稳定性与鲁棒性是无感FOC电机控制系统在实际应用中不可忽视的核心要素。面对负载波动、电源电压变化等复杂多变的外部环境，如何确保系统的稳定运行成为了一个亟待解决的问题。为了增强系统的稳定性，研究者们深入探索并采用了多种先进的控制策略。自适应控制和滑模控制是其中的佼佼者。自适应控制策略能

够实时监测系统状态，并根据状态变化灵活调整控制参数，从而有效应对外部干扰，确保系统在各种工况下都能保持稳定。而滑模控制则以其对参数变化和外部扰动的不敏感性著称，通过设计合理的滑模面和控制律，使得系统能够在受到干扰时迅速恢复到预定状态，进一步提升了系统的稳定性。除了控制策略的优化，设计合理的滤波器也是提升系统稳定性的关键一环。滤波器能够对输入信号进行预处理，有效滤除噪声和干扰成分，从而确保系统接收到的是准确、可靠的信号。这对于提高系统控制精度和稳定性具有重要意义。智能控制策略的引入也为提升系统鲁棒性提供了新的途径。

## 结论

无感FOC电机控制技术作为电机控制领域的一项重要技术，其发展前景广阔且具有重要意义。通过算法优化与实时性提升策略的实施，有效降低了算法的复杂度，提升了控制系统的实时性能，为无感FOC技术的广泛应用奠定了坚实基础。同时，无传感器控制技术的研究与应用，不仅减少了对位置传感器的依赖，降低了系统成本，还提高了系统的可靠性和智能化水平。此外，通过采用多种控制策略、设计合理的滤波器以及引入智能控制策略，无感FOC电机控制系统的稳定性和鲁棒性得到了显著提升，为技术在各种复杂环境下的广泛应用提供了有力保障。

随着技术的不断进步和应用领域的不断拓展，无感FOC电机控制技术将继续朝着更高效、更智能、更可靠的方向发展。研究者们将不断探索新的算法优化方法、无传感器控制策略以及系统稳定性与鲁棒性增强手段，以进一步提升无感FOC技术的性能和应用范围。无感FOC技术也将与其他先进技术如物联网、人工智能等进行深度融合，推动电机控制领域的智能化、自主化发展，为现代工业与自动化技术的进步做出更大贡献。

## 参考文献

- [1] 李飞艳, 陈晓屏, 陈军, 等. 基于FOC及PMSM的斯特林制冷机控制系统[J]. 红外技术, 2014, 36(3): 5.
- [2] 陈跃东, 宋爽. 一种电动汽车车用空调压缩机快速制冷控制方法: CN202310043598.1[P]. CN116001529A [2025-03-03].
- [3] 蔡婷. 小型冷库变频控制系统的设计与实现[D]. 东北大学, 2019.