

永磁同步电机容错控制技术研究

王健林 冯纪超 杨焕清 李朝帅 梁蕾蕾

江苏大学 江苏 镇江 212013

【摘要】永磁同步电机是汽车运行的主要动力，近几年来得到了广泛应用，在中国新能源汽车销量大幅度提高的背景下，永磁同步电机应用范围日益扩大，但在实际应用过程中出现的问题也逐渐增加，直接影响到实际使用情况，必须要得到控制。因此，本文针对永磁同步电机容错控制技术展开分析，从控制研究应用现状入手，构建相应的容错模型，并且经过仿真运行，验证该容错控制策略的可行性，以供参考。

【关键词】五相永磁同步电机；容错控制；故障问题；模型预测

引言

永磁同步电机本身具有高功率密度、因数等特点，在实际应用中可靠性较高而且容错性能较强。在容错控制技术广泛应用的今天，将其和永磁同步电机进行结合，让系统的可靠性进一步增强。传统的五相永磁同步电机虽然具有一定的容错能力，但容错控制范围有限，面对短路电流时并不稳定，因此，通过对永磁同步电机容错控制技术的深层次研究，打造出性能更优的永磁同步电机，扩大其应用范围。

一、五相永磁同步电机容错控制技术研究现状

因五相永磁同步电机本身的应用方向，需要具备一定的容错性能。从传统的永磁同步电机驱动系统的角度来看，常见的故障类型包括电机绕组短路故障、逆变器故障及机械位置传感器故障，而在五相永磁同步电机下，其具备一定的容错控制能力，能够在故障状态下维持运行。但在一些特殊环境下，无法保证这一能力稳定发展。因此近几年来，各个国家主要研究方向集中在无位置容错控制技术，确保五相永磁同步电机能够在不同故障中运行。目前，主要的研究现状包括：断相故障容错控制技术、位置传感器故障容错控制技术、复合故障容错控制技术这三点，从目前来看，这些容错控制技术或多或少都存在一定的问题，还需要结合实际案例构建更加完善的容错控制技术，确保五相永磁同步电机可以得到稳定的运行。总的来看，五相永磁同步电机容错控制技术最为关键的作用是维持定子磁动势不变，但目前的容错控制技术中电流求解过于依赖电机参数，需要采用离线求解方法，不仅计算过程复杂，准确性无法保证，还需要结合实际案例对容错控制机理进行深层次地研究分析。

二、五相永磁同步电机容错控制技术模型构建

(一) 模型构建

想要打造出完善的五相永磁同步电机容错控制技术，想要建立相应的控制模型，在建立正常模式下的五相永磁同步电机解耦模型的基础上，分别建立单相开路、双相开路故障点击解耦模型。五相永磁同步电机的驱动系统借助五相半桥逆变器完成电力输送，因此在实际运行过程中任何一相都可能出现故障问题，但在建模过程中，可以采用假设的方式，忽略温度等于影响因素，展开相应的建模。先借助五相静止坐标系电机模型描述故障模式运行的电机输出电压特性，然后按照具体的假设，表示出当故障相电枢电流恒为零时，电磁功率具体情况，具体的如下所示：

$$P_c = e_A i_A + e_B i_B + e_C i_C + e_D i_D + e_E i_E, i_A = 0$$

基于此，将电机输出电压特性将为4阶电机模型，进而从定子磁动势圆形旋转原则出发，将五相永磁同步电机解耦为两个旋转子空间下的直流电机模型且互为正交。为了实现五相永磁同步电机容错控制技术，从有效定子磁动势和有效反电动势不变这一原则出发，进一步构建出相应模型。在经过电机解耦模型和有限元验证的基础上，实现两相开路故障电机解耦建模，提出了适用于开路、短路故障的容错控制技术，得到Clarke和Park变换矩阵，满足矢量控制需求。

(二) 控制技术

基于上述构建形成的模型，结合具体的容错控制算法，对容错控制技术进行改进。从过往故障情况来看，在发生故障时，驱动控制特性需要从单相故障、双相故障两个角度进行分析。在明确算法和故障的基础上，完成故障模式驱动系统调速控制。根据实际分析可知，故障模式下单相故障、双相故障均具备非线性特征，而驱

动系统的转矩波动会反映到转子转速的波动上,因此可以借助非线性控制器解决此类问题。从实际试验结果来看,改进的高频电流注入法可以实现低速无位置控制技术,并且根据扩张状态进一步检测转子位置。而从实际的实验数据来看,正常模式下,100r/min运行时误差可控制在 $\pm 6^\circ$ 以内,单相故障状态下,200r/min运行时误差可控制在 $\pm 9^\circ$ 以内。目前,很多模型预测策略依然或多或少存在一定的问题,对电机控制器的要求较高,依赖性较强,未来还需要结合实际分析计算提高容错控制技术的安全性。

总结

综上所述,电子技术飞速发展的今天,五相永磁同

步电机得到了广泛应用,而且相比较过去的永磁同步电机而言,输出稳定性更强,不仅实现了低压大功率,也具有较好的容错运行性能。但五相永磁同步电机在面对短路、开路故障时容错性能并不稳定,还需要进一步构建相应的容错控制模型,为容错控制提供新的思路,让永磁同步电机的应用范围进一步扩大,为后续的发展奠定良好基础。

【参考文献】

- [1] 于仲安,卢健,梁建伟等.五相永磁同步电机两相开路故障容错控制策略[J].微电机,2020,53;315(03):98-103+118.
- [2] 程祎,杜钦君,张铭等.三次谐波抑制的五相永磁电机容错控制策略及仿真分析[J].西安交通大学学报,2020,54(02):101-108+142.