

# 机电一体化中的电机保护与控制技术

阮振辉 朱绍品 杨学东 陈志宏 杨涛

云南迪庆有色金属有限责任公司

DOI:10.32629/bd.v9i6.4489

**[摘要]** 机电一体化系统中的电机保护与控制技术是实现电机高效、安全运行的关键要素,在电机保护方面,本文阐述了过载、短路、过压、欠压保护的重要性,介绍了常用保护装置及原理。电机控制技术上,对比开环与闭环控制,指出闭环优势;介绍矢量控制技术,其以电机动态模型为核心,提升交流电机控制性能;还介绍了直接转矩控制技术,它直接针对电机转矩和磁链控制,结构简单、响应快,但低速时转矩脉动大,需采取措施抑制,以保障电机稳定运行。

**[关键词]** 机电一体化; 电机保护; 控制技术

中图分类号: TM301 文献标识码: A

## Motor Protection and Control Technology in Mechatronics

Zhenhui Ruan Shaopin Zhu Xuedong Yang Zhihong Chen Tao Yang

Yunnan Diqing Nonferrous Metals Co., Ltd.

**[Abstract]** Motor protection and control technology in mechatronic systems are key elements for achieving efficient and safe operation of motors. In terms of motor protection, this paper elaborates on the importance of overload, short circuit, overvoltage, and undervoltage protection, and introduces common protection devices and their principles. In terms of motor control technology, it compares open-loop and closed-loop control, pointing out the advantages of closed-loop control. Vector control technology is introduced, which uses the motor dynamic model as its core to improve the control performance of AC motors. Direct torque control technology is also introduced, which directly controls motor torque and flux, featuring simple structure and fast response, but suffers from large torque ripple at low speeds, requiring measures to suppress it to ensure stable motor operation.

**[Key words]** mechatronics; motor protection; control technology

### 引言

在机电一体化的系统中电机作为核心动力源,其稳定运行直接关系到整个系统的性能与可靠性。然而,电机在实际运行中面临着过载、短路、过压、欠压以及过热等诸多风险,这些不利因素不仅会加速电机的老化与损坏,还可能引发严重的安全事故。因此,电机保护与控制技术的实施显得尤为关键。本文将深入探讨电机保护与控制技术的重要性、电机保护技术的多种手段以及先进的电机控制技术,旨在为机电一体化系统的稳定运行提供有力支撑,确保电机高效、安全、可靠地工作。

### 1 机电一体化中的电机保护与控制技术的重要性

电机作为系统的核心动力源,其运行状态对系统整体性能与稳定性有着决定性影响。实际运行中,电机面临诸多不利因素,过载时承受超额定负载压力,长时间运行会使绕组发热、绝缘性能劣化,加速老化并缩短寿命;短路瞬间产生的大电流冲击绕组、轴承等关键部件,可能直接损坏电机;欠压导致电机转速下

降、电流增大,发热影响正常工作;过压可能击穿绝缘层,引发电气故障;过热不仅降低电机运行效率,还可能引发火灾等严重安全事故。在此情况下,有效的电机保护与控制技术极为关键。该技术可实时监测电机的电流、电压、温度、转速等关键参数,经分析判断及时发现过载、短路、欠压、过压、过热等异常状况,检测到异常后保护装置会迅速切断电源或发出警报,防止故障扩大,保障电机安全运行。同时,合理的电机控制技术能依据系统需求精准调控电机启动、停止和转速,提升运行效率、降低能耗。电机保护与控制技术综合作用,增强了机电一体化系统的可靠性和稳定性,延长了电机使用寿命,减少了因故障导致的停机维修时间,降低了维护成本<sup>[1]</sup>。鉴于电机在工业生产、交通运输、日常生活等众多领域的关键作用,电机保护与控制技术对保障这些领域机电一体化系统正常运行不可或缺,是确保系统高效、稳定、安全运行的重要支撑。

### 2 机电一体化中的电机保护技术

## 2.1 过载保护

在机电一体化系统里,电机过载保护技术的原理紧密契合电机运行特性。电机若长时间处于超额负载状态,绕组电流会大幅攀升,致使绕组迅速升温。一旦过载持续,绕组的绝缘材料会因过热而受损,这不仅会严重缩短电机的使用寿命,更可能引发电机烧毁等严重后果,对系统正常运行造成极大影响。基于此,过载保护的核心在于电机过载时能迅速切断电源,避免电机进一步受损。为达成这一目标,热继电器和电子式过载保护器成为常用的过载保护装置。热继电器基于电流热效应原理,电机过载时,通过热元件的电流增大,产生更多热量,使双金属片变形,推动触点动作切断控制电路,让电机停止运行以实现保护。电子式过载保护器则借助先进电子电路技术,能对电机电流进行实时精确监测,电流超过预设值后,经一定延时迅速发出保护信号并切断电源。与热继电器相比,它精度更高、动作响应更快、可调节性更优,能依据不同电机特性和运行需求灵活设置,为电机提供更精准有效的保护。在机电一体化系统中,这两种装置作用重大,有效保障了电机安全稳定运行,提升了整个系统的可靠性与稳定性,为系统正常运转提供了坚实保障。

## 2.2 短路保护

电机运行安全是保障系统稳定运作的核心要素,短路保护作为其中关键环节不可或缺。电机运行中,绕组绝缘损坏或电路其他故障易引发短路。短路发生时,电路电流瞬间急剧增大,在极短时间内产生大量热量。这些热量会快速侵袭电机绕组及其他电气设备,造成严重损害,甚至可能引发火灾,危及人员生命与财产安全<sup>[2]</sup>。所以,短路保护的核心任务是在短路故障出现的瞬间,迅速且可靠地切断电源,防止故障范围扩大,避免引发更严重后果。实际应用中,熔断器和断路器是常用的短路保护装置。熔断器是简单过电流保护电器,基于电流热效应工作,当电路出现短路或过载,流经熔体的电流大幅超过正常值,熔体因过热迅速熔断,切断电路以保护设备。而断路器保护功能更完善,不仅能短路保护,还可进行过载、欠压等多种保护。电路出现短路故障时,断路器内部电磁脱扣器立即感应异常并迅速动作,驱动断路器跳闸切断电源。相较于熔断器,断路器在保护功能多样性与操作便捷性上优势明显,能为电机和整个机电一体化系统提供更全面、可靠的短路保护,确保系统安全稳定运行。

## 2.3 过压保护

电机运行过程中,电源电压波动、雷击等外部因素常导致电机端电压超出额定范围。过高电压对电机危害显著,会降低电机绕组绝缘强度,加速绝缘材料老化,严重时甚至击穿绝缘层,造成电机损坏,影响机电一体化系统整体运行。鉴于此,过压保护对保障电机安全稳定运行极为关键。其实现方式多样,设置过压继电器是常用手段,该继电器能实时检测电机端电压,当电压超过预设值时立即动作,既可通过切断电源防止过压进一步损害电机,又能发出报警信号,让工作人员及时处理。采用电子式过压保护电路也颇具成效,此电路借助电压比较器等元件实时监测电机电压,电压异常时能迅速反应,采取切断电路等保护措施,

避免电机受高电压影响。此外,使用稳压器稳定电机输入电压也切实可行,稳压器可调节和稳定输入电压,将其控制在合理范围,从根源上避免过压。这些过压保护措施并非各自为战,而是相互配合、协同作用,共同构成完整过压保护体系,有效防止电机因过压受损,保障电机在机电一体化系统中安全可靠运行,提升系统稳定性和使用寿命,确保系统持续稳定发挥功能,为系统正常运行筑牢坚实基础。

## 2.4 欠压保护

在机电一体化的系统中,电机运行期间电源电压难以始终维持稳定,当出现电压过低状况时,会引发诸多不利于电机正常运转的问题。因电机转矩与电压紧密相关,电压降低会使电机转矩变小,致使电机转速下降,此时电机难以正常带动负载,无法顺利完成既定工作任务<sup>[3]</sup>。同时,欠压运行时电机电流增大,产生的热量增多,会进一步加剧电机发热,若长期处于欠压运行,电机内部组件会因过热加速老化、损坏,严重影响电机使用寿命。为避免此类情况,欠压保护十分关键,其核心是在电源电压低于一定数值时及时切断电机电源,防止电机在欠压下持续运行受损。欠压保护主要有两种实现方式,一是采用欠压继电器,它能实时监测电机端电压,当检测到电压低于预设值时释放,切断控制电路,使电机因失去控制信号而停止运行;二是运用电子式欠压保护电路,该电路借助电压传感器实时采集电机电压信号,经处理后与设定值对比分析,一旦发现电压过低便迅速发出保护指令切断电源。这两种方式各有特点,欠压继电器结构简单、成本低,适用于对保护要求不高、运行环境稳定的场合;电子式欠压保护电路精度高、响应快,能更准确判断电压并及时保护,适用于对电机保护要求高、运行环境复杂的场合。实际应用中可根据电机规格、运行环境等因素合理选择,共同保障电机在机电一体化系统中安全稳定运行。

## 3 机电一体化中的电机控制技术

### 3.1 开环与闭环控制技术

开环控制技术下,控制系统输出量不对控制量产生作用,不存在反馈环节,电机开环控制过程中,控制器仅依据给定输入信号直接控制电机运行,全然不顾电机实际运行状态。这种控制方式结构简单,硬件组成少,成本相对低廉,但缺陷明显。因缺乏反馈机制,无法根据电机实际运行情况调整控制量,控制精度较低,且受外界环境因素影响大,像电压波动、负载变化等易使电机运行偏离预期。闭环控制系统则借助反馈环节,将系统输出量反馈到输入端,与输入信号对比得出误差信号,再依据该误差信号调整控制量,以使系统输出量尽可能接近给定值。电机闭环控制时,通常会使用传感器检测电机转速、位置、电流等关键参数,并实时反馈给控制器,控制器根据反馈信号与给定信号的差值,运用特定控制算法进行调节,实现对电机的精确控制<sup>[4]</sup>。闭环控制优势众多,控制精度高,能根据电机实际运行情况及时调整控制量,有效减小误差,无论电机因自身特性变化还是外界因素干扰导致输出量与给定值出现偏差,都能通过反馈调节使电机输出量逐步趋近给定值;抗干扰能力强,电压波动、负载突变等外界干

扰对电机运行的影响可通过反馈调节得到抑制,能迅速感知并做出调整,保证电机稳定运行,而开环控制因无法感知和应对这些变化,在复杂环境下难以保证电机稳定运行。

### 3.2 矢量控制技术

矢量控制作为交流电机控制领域的高性能技术,以电机动态模型为核心,将交流电机定子电流拆解为励磁与转矩两个独立分量并分别控制,达成对电机转矩和磁通的精准调控。其关键原理是借助坐标变换,把交流电机三相电流、电压等物理量转换到旋转坐标系,让交流电机在此坐标系下的数学模型与直流电机极为相近,进而能够运用直流电机的控制策略来控制交流电机。在实现上,矢量控制系统依赖复杂数学运算与精确参数测量,多采用微处理器或数字信号处理器(DSP)作核心控制器,通过软件编程实现坐标变换、电流调节、磁链观测等关键控制算法,这些算法要实时处理电机运行数据,保证控制指令准确及时。为获取电机实时运行参数,系统要配备高精度电流传感器、速度传感器等设备,电流传感器实时监测定子电流,速度传感器测量电机转速,为控制算法提供必要输入,使系统能依据电机状态动态调整控制策略。矢量控制技术优势突出,能显著提升交流电机控制性能,通过精准控制转矩和磁通,让交流电机在动态响应和调速性能上与直流电机相当,使其在需高精度、快速响应的工业应用中更具竞争力,且该技术适应性和灵活性佳,能根据不同应用场景调整和优化参数,拓展应用范围。

### 3.3 直接转矩控制技术

直接转矩控制作为交流电机控制领域的高性能技术,直接针对电机转矩和磁链实施控制,它不依赖电机数学模型,而是借助实时检测电机定子电压和电流,直接计算出电机实际转矩和磁链值,再将这些实际值与预设给定值对比,依据产生的误差信号,精准挑选合适的电压空间矢量,从而实现了对电机转矩和磁链的直接调控<sup>[5]</sup>。该技术优势明显,控制结构简单,减少了中间环节复杂度,让系统更紧凑高效;动态响应快,能在短时间内对指

令变化作出反应,满足快速调控需求;对电机参数变化鲁棒性强,不易因参数小幅波动影响控制效果。在直接转矩控制系统中,转矩和磁链调节器与电压空间矢量选择器是核心。前者接收转矩和磁链误差信号并生成控制指令,后者依据这些指令从预定义电压空间矢量集合中选出最合适的矢量,直接作用于电机,实现对其状态的精准调整。此外,直接转矩控制无需复杂坐标变换,降低了系统实现难度和对电机参数的依赖。不过,该技术在低速运行时转矩脉动较大,会影响电机运行平稳性和精度,所以实际应用中需采取优化电压空间矢量选择策略、引入补偿算法等措施抑制转矩脉动,确保电机在低速状态下稳定高效运行。

## 4 结语

综上所述,电机保护与控制技术在机电一体化系统中起着至关重要的作用。通过有效的过载、短路、过压、欠压保护技术,能够确保电机在各种不利条件下安全运行,避免故障扩大,延长电机使用寿命。而先进的控制技术,如开环与闭环控制、矢量控制以及直接转矩控制,则能精准调控电机的运行状态,提升系统的运行效率和稳定性。这些技术的综合应用,不仅增强了机电一体化系统的可靠性和适应性,还为其在工业生产、交通运输等领域的广泛应用提供了坚实的技术支撑。

### [参考文献]

- [1]陈嘉伟.机电一体化中的电机保护与控制技术分析[J].电脑爱好者(普及版)(电子刊),2020(6):2885-2886.
- [2]郑文智,顾视江,张倩.机电一体化应用中的电机控制与保护路径探析[J].河北农机,2022(7):82-84.
- [3]潘俊宇.机电一体化中电机控制与保护的相关思考[J].电力设备管理,2022(19):98-100.
- [4]金磊.基于电机在机电一体化技术中的保护分析[J].价值工程,2020,39(7):236-237.
- [5]顾欣.机电一体化应用中的电机控制与保护路径分析[J].中国科技纵横,2020(7):54-55.