

Research on electric transmission system optimization strategy based on intelligent control theory

Xunbao Quan

CISDI Shanghai Engineering Technology Co., Ltd., Shanghai, 200940, China

Abstract

In the process of modern industrial development, the performance optimization of electrical transmission system is very important. This study focuses on the electric transmission system optimization strategy based on the intelligent control theory. Traditional control methods have many limitations, which are difficult efficiency improvement to meet the growing demand for high performance. To this end, the innovative fuzzy control, neural network control intelligent algorithm into the system control, and from the efficiency, stability and dynamic response three key aspects put forward optimization strategy, covering intelligent speed regulation, energy feedback, sliding mode variable structure control, predictive control and other advanced methods, for the electric transmission system in the field of efficient and reliable application, provides a solid theory and practice support.

Keywords

Intelligent Control Theory; Electrical transmission system; Optimization strategy; Stability; Efficiency improvement

基于智能控制理论的电气传动系统优化策略研究

权循宝

中冶赛迪上海工程技术有限公司, 中国·上海 200940

摘要

在现代工业发展进程中, 电气传动系统的性能优化至关重要。本研究专注于基于智能控制理论的电气传动系统优化策略。传统控制方式存在诸多局限, 难以满足日益增长的高性能需求。为此, 创新性地将模糊控制、神经网络控制等智能算法融入系统控制中, 并从效率、稳定性和动态响应三个关键方面提出优化策略, 涵盖智能调速、能量回馈、滑模变结构控制、预测控制等先进方法, 为电气传动系统在多领域的高效、可靠应用, 提供了坚实的理论与实践支撑。

关键词

智能控制理论; 电气传动系统; 优化策略; 稳定性; 效率提升

1 绪论

随着工业 4.0 和智能制造时代的到来, 各行业对电气传动系统的性能提出了更高要求。传统的电气传动控制方法, 逐渐暴露出控制精度低、动态响应慢、鲁棒性差等问题, 难以满足日益增长的高性能需求。智能控制理论在过去几十年间取得了飞速发展, 模糊逻辑、神经网络、专家系统等智能技术凭借其强大的自学习、自适应和处理复杂非线性问题的能力, 为电气传动系统的优化提供了新的思路和方法。

2 智能控制理论与电气传动系统基础

2.1 智能控制理论概述

智能控制理论是一种将人工智能、控制理论和计算机科学相结合的新兴学科, 旨在解决传统控制方法难以处理的

复杂系统控制问题。

智能控制是指在无人干预的情况下能自主地驱动智能机器实现控制目标的自动控制技术。它借助各种智能算法和模型, 使控制系统具备自学习、自适应、自组织和自决策等能力, 以应对复杂多变的环境和系统不确定性。

2.2 电气传动系统组成与工作原理

电气传动系统主要由电源、电动机、控制器和负载四部分组成, 各部分协同工作, 将电能转化为机械能以驱动负载运行。在电气传动系统工作时, 电源提供电能, 控制器根据控制要求对电能进行处理和转换, 将其输送给电动机, 电动机将电能转化为机械能并传递给负载, 驱动负载运动, 从而实现各种生产过程和设备的运行。

2.3 电气传动系统性能指标

2.3.1 静态性能指标

调速范围: 指电动机在额定负载下, 能达到的最高转速与最低转速之比。一般来说, 不同的应用场景对调速范围有不同要求。

【作者简介】权循宝(1982-), 男, 中国安徽合肥人, 硕士, 高级工程师, 从事控制理论与工程研究。

静差率：是指在某一调速下，负载由理想空载增加到额定负载时，转速的相对变化率。静差率越小，说明系统的转速稳定性越好，如高精度的造纸机要求静差率在1%以内。

2.3.2 动态性能指标

升速时间：是指从电动机启动到达到给定转速所需的时间。对于一些需要快速响应的设备，如电梯、轧钢机等，升速时间要求较短，一般在几秒到几十秒之间。

降速时间：与升速时间相对应，是指从运行转速降低到停止所需的时间。在一些频繁启停的应用中，降速时间也需要严格控制，以提高生产效率和设备寿命。

超调量：在系统动态过程中，被控量超过稳态值的最大偏差与稳态值之比。超调量过大会影响系统的稳定性和设备的安全性，如在伺服系统中，一般要求超调量不超过20%^[1]。

3 智能控制算法在电气传动系统中的应用

3.1 模糊控制在电气传动系统中的应用

3.1.1 控制原理

模糊控制摒弃建立精确数学模型的传统思路，把人类语言描述的控制经验转化为模糊规则。它通过模糊化环节，将电气传动系统中如电机转速、转矩等精确物理量转化为模糊量，像把转速表述为“高”“中”“低”。接着，依据预先设定的模糊控制规则进行模糊推理，这些规则源自操作人员经验或专家知识，比如“若转速低且转矩小，则增大电压”。最后经解模糊环节，把模糊推理结果转化为精确控制量，如电压、电流的调节值，来调控电气传动系统。

3.1.2 设计步骤

明确与电气传动系统控制目标紧密相关的物理量。比如在电机速度控制中，输入变量通常是实际转速与设定转速的偏差及偏差变化率，输出变量则是用于调节电机转速的控制信号，如PWM波的占空比。

对每个输入输出变量划分模糊集合，如将转速偏差分为“负大”“负小”“零”“正小”“正大”等集合。同时，确定各模糊集合的隶属度函数，常用的有三角形、梯形、高斯型等，以此描述物理量属于某个模糊集合的程度。

制定模糊控制规则，这是模糊控制器设计的核心。通过总结操作人员长期积累的控制经验、借鉴专家知识，或结合仿真实验结果，建立起输入变量与输出变量间的模糊关系。例如在电机启动过程中，若转速偏差为正大且偏差变化率为正小，可制定规则为适当减小控制信号，以避免电机转速超调。

模糊推理与解模糊：运用选定的模糊推理方法，如Mamdani推理法、Larsen推理法等，依据模糊控制规则进行推理运算，得出模糊输出结果。再通过解模糊方法，如重心法、最大隶属度法等，将模糊输出转化为精确的控制量，输出给电气传动系统执行机构。

3.1.3 应用效果

在电气传动系统中，模糊控制能有效提升系统性能。在电机调速方面，模糊控制可使电机在不同负载和工况下，快

速、平稳地达到设定转速，且超调量小、抗干扰能力强。在位置控制场景，模糊控制能精准控制电机运行位置，提高定位精度。

3.2 神经网络控制在电气传动系统中的应用

神经网络控制以其强大的自学习、自适应和非线性映射能力，为电气传动系统的高效精准控制提供了创新路径，在电气传动系统里，主要有以下应用：

3.2.1 系统建模

电气传动系统存在高度非线性和时变特性，传统建模方法难以精准描述。神经网络通过大量输入输出数据训练，可构建复杂的非线性映射关系，精确模拟电气传动系统行为。以永磁同步电机为例，将电机的电压、电流、转速等作为输入，转矩、磁链等作为输出，利用BP神经网络训练，网络能学习到电机内部复杂的电磁关系，建立精确模型，为后续控制策略制定提供依据。

3.2.2 自适应控制

电气传动系统运行中，电机参数变化和负载扰动会影响控制性能。神经网络控制具备自适应能力，能实时监测系统状态并调整控制参数。比如在交流异步电机调速系统中，采用自适应神经网络控制器，它可根据电机实时转速、电流等反馈信号，利用神经网络的自学习能力，在线调整控制器参数，确保电机在不同负载和参数变化下，都能保持稳定运行和良好调速性能。

3.2.3 故障诊断

神经网络可对电气传动系统运行数据进行深度分析，实现故障诊断。以感应电机故障诊断为例，将电机正常运行和不同故障状态下的电流、电压、温度等特征信号作为输入，训练神经网络分类模型。训练完成后，模型能根据实时监测的电机运行数据，准确判断电机是否发生故障以及故障类型，如定子绕组短路、转子断条等，为及时维护提供依据，提升系统可靠性和稳定性。

3.2.4 多电机协同控制

在多电机协同工作的电气传动系统中，如造纸机、轧钢机等，各电机需协调运行。利用神经网络构建多电机协同控制模型，将各电机的转速、转矩等状态信息作为输入，通过神经网络学习各电机间的耦合关系和协同控制策略，输出各电机的控制信号，实现多电机间的精准同步和协同工作，保证生产过程的连续性和产品质量^[2]。

4 基于智能控制理论的电气传动系统优化策略

4.1 系统效率优化策略

优化电气传动系统效率，能有效降低能耗、提升性能，可从智能调速、能量回收、优化控制算法和设备选型与匹配等方面着手。

4.1.1 智能调速控制

借助智能控制算法，依据负载实时需求精准调节电机转速。以变频调速系统为例，采用模糊自适应控制策略，系统实时监测电机负载转矩和转速，模糊控制器根据预设模糊

规则,动态调整变频器输出频率和电压。轻载时降低电机转速和电压,重载时提高,使电机始终在高效区运行,减少不必要能耗。

4.1.2 能量回馈利用

在电气传动系统制动过程中,电机处于发电状态,传统方式常将电能转化为热能消耗。采用能量回馈装置,可将制动产生的电能回馈到电网或供系统内其他设备使用。如在电梯制动时,电机产生的电能经整流逆变后回馈至电网,提高系统整体能量利用率,降低运行成本。

4.1.3 优化控制算法

选用先进控制算法,降低系统运行损耗。例如采用直接转矩控制(DTC),直接对电机转矩和磁链进行控制,减少中间变换环节能量损失。结合神经网络自适应控制,实时调整控制参数,补偿电机参数变化和外部干扰影响,维持系统高效运行。

4.1.4 设备选型与匹配

依据系统负载特性和运行工况,合理选择电机和其他设备。选用高效节能电机,其采用优质材料和先进制造工艺,损耗低于普通电机。确保电机与负载功率匹配,避免“大马拉小车”现象,减少电机轻载运行时的能量浪费,提升系统整体运行效率。

4.2 系统稳定性优化策略

优化电气传动系统稳定性,可从控制算法、自适应调整和监测保护机制三方面着手。

4.2.1 先进控制算法应用

引入滑模变结构控制,它对系统参数变化和外部干扰有强鲁棒性。在电气传动系统里,滑模面依据系统状态设定,控制律使系统状态向滑模面运动并保持。比如在电机调速中,当负载突变或电机参数改变,滑模变结构控制能快速调整控制信号,维持转速稳定,克服传统控制方法易受干扰、稳定性差的问题。

4.2.2 自适应控制策略

采用自适应控制,让系统根据运行状态实时调整控制参数。像模型参考自适应控制,建立参考模型反映系统理想状态,实际系统输出与参考模型对比,误差经自适应机制调整控制器参数。在电气传动系统面对电机老化、温度变化致参数改变时,自适应控制能自动补偿,确保系统稳定运行,保障电机转速、转矩平稳。

4.2.3 监测与保护机制

构建完善的监测体系,实时采集电气传动系统关键参数,如电流、电压、转速、温度等。利用传感器和数据采集装置,将参数传输至控制系统分析处理。当参数超出正常范围,及时启动保护措施,如过流保护切断电路,防止设备损坏;温度过高时启动散热装置,避免过热影响系统稳定性,确保系统长期可靠运行。

4.3 系统动态响应优化策略

优化电气传动系统动态响应,能够使系统在面对负载突变、速度指令变化时迅速、精准地做出反应,保障设备稳

定高效运行,可从控制算法改进、系统结构优化、传感器与反馈环节升级三方面着手。

4.3.1 控制算法改进

引入模型预测控制(MPC)算法,基于电气传动系统模型预测未来状态。通过滚动优化求解控制量,提前规划控制动作。在电机调速系统中,MPC根据当前转速、负载转矩及速度指令预测未来时刻转速,计算合适电压或电流控制量,使电机快速跟踪速度变化,减小动态响应时间。

结合前馈控制与反馈控制。前馈控制依据系统输入或可测干扰,提前给出控制作用,补偿干扰影响;反馈控制根据系统输出与给定值偏差调整控制量。在电机位置控制系统中,前馈环节根据位置指令变化率提前输出控制信号,反馈环节修正实际位置与指令偏差,二者协同,提升系统动态响应速度与控制精度。

4.3.2 系统结构优化

在满足机械强度和工作要求前提下,优化电机及负载机械结构,减小转动惯量。例如采用轻质材料制造电机转子,精简负载结构,降低系统惯性。转动惯量减小,电机加减速时所需转矩降低,响应速度加快,在机器人关节驱动等对动态响应要求高的场景效果显著。

改进传动装置,降低传动间隙和摩擦力。采用高精度滚珠丝杠、无间隙齿轮等传动部件,减少能量损失和传动滞后。

4.3.3 传感器与反馈环节升级

选用响应速度快、精度高的传感器,如光纤传感器、高频响应的速度与位置传感器。快速获取系统状态信息,为控制器提供及时准确反馈。在伺服系统中,高响应传感器实时监测电机转速和位置,使控制器快速调整控制策略,提高系统动态响应性能。

利用智能算法(如遗传算法、粒子群优化算法)优化反馈控制器参数。根据系统动态性能指标要求,搜索最优比例、积分、微分参数,使反馈控制环节在不同工况下都能快速准确调节系统,增强系统动态响应能力^[1]。

5 结论

将模糊控制、神经网络控制等智能算法创新性地应用于电气传动系统,提出全面的系统优化策略,从效率、稳定性和动态响应三方面大幅提升系统性能。通过智能调速、能量回馈、优化控制算法及设备选型匹配,提高系统能源利用效率;借助滑模变结构控制、自适应控制和完善监测保护机制,增强系统稳定性;采用预测控制、前馈-反馈复合控制、系统结构优化及传感器与反馈环节升级,优化系统动态响应性能。

参考文献

- [1] 电气自动控制系统的功能及应用. 刘煜. 中国高科技,2021(15)
- [2] 关于生态流量与发电调水自动控制系统的改造及应用. 林鸣耀. 陕西水利,2020(02)
- [3] 电气自动控制系统功能及其运用探析. 王月梅. 科技创新与应用,2018(15)