

电力拖动的节能优化与自动调节算法研究

刘嘉伟 411002199410100014

摘要

电力拖动系统是工业生产领域的核心电能消耗单元，其运行效率直接影响工业生产的综合能耗与经济效益。本文针对传统电力拖动系统存在的负载匹配度不足、运行功率冗余大的问题，分析了节能优化的核心方向，研究了基于模糊 PID 的自动调节算法在电力拖动系统中的应用原理与实现路径。通过仿真测试验证，该算法能够根据负载动态变化实时调整拖动系统的输出参数，降低无效电能消耗，相较于传统控制方式节能效果提升 12% 以上，具备较高的实际应用价值。

关键词

电力拖动；节能优化；自动调节；模糊 PID

一、引言

随着我国双碳目标的推进，工业领域的节能降耗成为行业发展的核心趋势。电力拖动系统作为各类生产机械的动力来源，覆盖了矿山、冶金、化工、制造等多个高能耗行业，据统计，工业电力拖动系统的总耗电量占到全国工业用电量的 60% 以上，提升电力拖动系统的运行效率，挖掘其节能潜力，对降低全社会综合能耗有着重要的现实意义。

传统电力拖动系统多采用恒定转速控制方式，无法根据实际负载的动态变化调整输出功率，当实际负载低于额定负载时，会产生大量的无用功损耗，造成电能的浪费。近年来，自动控制技术与智能算法的发展，为电力拖动系统的节能优化提供了新的技术路径，通过引入动态自动调节算法，实现拖动输出与实际负载的实时匹配，能够有效减少功率冗余，降低电能消耗。本文以此为切入点，展开电力拖动节能优化路径与自动调节算法的研究。

二、电力拖动系统的能耗来源与节能优化方向

电力拖动系统主要由电动机、传动机构、控制装置以及负载四部分构成，其能耗主要来源于三个方面：第一是电动机自身的损耗，包括铜损、铁损以及机械损耗，其中铜损与负载电流的平方成正比，当电动机长期处于轻载运行状态时，低负载率会造成功率因数下降，铜损占比大幅提升，产生不必要的损耗。第二是

传动与控制环节的损耗，传统的调压调速、变极调速控制方式，本身会在调速过程中产生大量的转差损耗，尤其是在频繁调整负载的工况下，转差损耗占总能耗的比例可达到 15%以上。第三是匹配性损耗，多数电力拖动系统在设计阶段为了预留安全冗余，会选择额定功率远高于实际最大需求的电动机，而实际生产中负载多数时间处于轻载状态，大马拉小车的问题普遍存在，造成了大量的电能浪费。

针对上述能耗来源，电力拖动系统的节能优化主要围绕三个方向展开：第一是电动机本体的优化，通过选用高效率的新型电动机降低本体损耗，这一方向属于硬件优化范畴，改造成本较高，适合新建项目使用。第二是运行参数的匹配优化，通过动态调整电动机的运行参数，让输出功率与实际负载实时匹配，减少轻载状态下的无用损耗，该优化方式改造成本低，仅需要升级控制算法即可实现，适合存量项目的节能改造。第三是无功补偿优化，通过提高功率因数降低线路传输损耗，这一方式多作为辅助节能手段与参数优化搭配使用。本文研究的自动调节算法主要针对运行参数匹配优化方向，通过算法调节实现输出功率的动态适配。

三、基于模糊 PID 的电力拖动自动调节算法设计

传统的 PID 控制算法在电力拖动调节中应用广泛，但其参数为固定值，无法适应负载的动态非线性变化，在负载波动较大的工况下调节精度不足，节能效果有限。模糊 PID 算法将模糊控制与传统 PID 控制相结合，能够通过模糊推理实时调整 PID 的三个控制参数，适配不同负载下的调节需求，更适合电力拖动系统的动态调节场景。

算法的整体结构分为三个部分：输入量检测模块、模糊推理模块、PID 调节输出模块。首先，输入量检测模块实时采集电力拖动系统的实际负载转矩与转速偏差，将转速偏差 e 和偏差变化率 ec 作为模糊推理模块的输入。其次，对输入量进行模糊化处理，将输入的精确量转换为模糊集合，设定输入输出变量的模糊子集为{负大，负中，负小，零，正小，正中，正大}，结合电力拖动系统的运行范围确定各变量的论域。随后，根据专家经验建立模糊规则库，模糊规则的核心逻辑是：当转速偏差较大时，增大比例增益，加快响应速度；当偏差较小时，减小比例增益，避免系统振荡，同时根据偏差变化率调整积分微分参数，消除静差，抑制超调。最后，通过解模糊化得到 PID 三个参数的调整量，对传统 PID 的比例系数 K_p 、积分系数 K_i 、微分系数 K_d 进行实时修正，输出控制信号调整电动机的供电频率与输出转矩，实现输出功率与实际负载的自动匹配。

该算法在轻载工况下，能够自动降低电动机的输出转矩，提高功率因数，减少铜损与无用功损耗；在重载工况下，能够快速提升输出功率，满足生产机械的动力需求，兼顾了运行稳定性与节能性。

四、算法仿真与节能效果分析

为验证本文设计算法的实际效果，构建 Matlab 仿真模型，以一台额定功率为 55kW 的三相异步电动机拖动传送带负载为测试对象，分别采用传统恒定转速控制、传统 PID 控制、模糊 PID 控制三种方式进行对比测试，测试周期为 2 小时，负载模拟实际生产中的动态波动场景，统计三种方式的总耗电量与运行参数。

测试结果显示：传统恒定转速控制的总耗电量为 42.6kWh，传统 PID 调节控制的总耗电量为 38.1kWh，模糊 PID 自动调节控制的总耗电量为 37.3kWh，模糊 PID 控制相较于传统恒定转速控制节电 12.4%，相较于传统 PID 控制节电 2.1%。同时，测试结果显示，在负载率低于 30%的轻载区间，模糊 PID 控制的功率因数稳定在 0.8 以上，而传统恒定转速控制的功率因数仅为 0.45 左右，轻载状态下的节能效果尤为明显。

仿真结果表明，本文研究的自动调节算法能够有效实现电力拖动系统的节能优化，在不改变现有硬件设备的前提下，通过算法升级即可实现显著的节能效果，改造成本低，适配大多数工业存量电力拖动系统的节能改造需求。

五、结论

电力拖动系统的节能优化是工业节能领域的重要研究方向，本文针对传统电力拖动系统运行功率匹配度不足、能耗高的问题，将模糊 PID 自动调节算法应用于电力拖动的运行参数调节中，实现了输出功率与实际负载的实时动态匹配，有效降低了轻载运行状态下的无用损耗。仿真测试结果证明，该算法的节能效果显著，改造成本低，适应性强，具备广阔的推广应用前景。未来研究可以进一步结合负载预测算法，提前对负载变化进行预判，进一步提升调节精度与节能效果。

参考文献

- [1] 王兆安, 刘进军. 电力电子技术[M]. 机械工业出版社, 2009.
- [2] 顾绳谷. 电机及拖动基础[M]. 机械工业出版社, 2007.
- [3] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [4] 张承慧, 石庆升, 程树康. 交流电机调速系统的节能控制策略综述[J]. 电工技术学报, 2006, 21(12):1-7.