

三相异步电动机变频调速系统的 PID 控制优化

郑永国

天津国宇建筑工程有限公司 天津

【摘要】三相异步电动机广泛应用于工业生产中，其调速性能直接影响生产效率和设备的可靠性。为了实现精确、高效的速度控制，变频调速系统成为了主流的控制手段。传统 PID 控制在调节过程中存在一定的不足，如响应时间较长、过调节现象等。本文研究了 PID 控制在三相异步电动机变频调速系统中的优化方法，通过改进 PID 控制算法，结合实际运行特性，提出了一种基于遗传算法优化 PID 参数的方案。实验结果表明，优化后的 PID 控制器在调速精度、响应时间及系统稳定性方面表现出显著优势，能够有效提升变频调速系统的整体性能。

【关键词】三相异步电动机；变频调速；PID 控制；优化；遗传算法

【收稿日期】2025 年 4 月 15 日

【出刊日期】2025 年 5 月 18 日

【DOI】10.12208/j.jeea.20250174

PID control optimization of three-phase asynchronous motor variable frequency speed control system

Yonguo Zheng

Tianjin Guoyu Construction Engineering Co., Ltd., Tianjin

【Abstract】 Three-phase asynchronous motors are extensively utilized in industrial production, where their speed regulation performance directly impacts production efficiency and equipment reliability. To achieve precise and efficient speed control, variable frequency drive (VFD) systems have become the mainstream control method. Traditional PID control exhibits limitations such as prolonged response time and over-regulation during adjustment. This study investigates optimization methods for PID control in VFD systems for three-phase asynchronous motors. By refining the PID control algorithm and integrating practical operational characteristics, a genetic algorithm-based parameter optimization scheme is proposed. Experimental results demonstrate that the optimized PID controller demonstrates significant advantages in speed regulation accuracy, response time, and system stability, effectively enhancing the overall performance of VFD systems.

【Keywords】 Three-phase asynchronous motor; Frequency conversion speed regulation; PID control; Optimization; Genetic algorithm

引言

随着工业自动化水平的不断提高，三相异步电动机在各类机械设备中的应用日益广泛。为了确保设备运行的高效性与精确性，变频调速系统成为了关键技术之一。传统 PID 控制算法在实际应用中由于其固有的调节滞后和较差的鲁棒性，常常无法满足高精度、高响应速度的需求。如何优化 PID 控制器，提升系统性能，成为了目前的研究热点。通过引入现代优化算法，对 PID 参数进行智能调节，不仅能改善控制精度，还能增强系统的稳定性，为变频调速系统的应用提供了新的思路与解决方案。

1 三相异步电动机变频调速系统中 PID 控制存在的问题

三相异步电动机作为常见的工业驱动装置，在变频调速系统中发挥着重要作用。然而，传统 PID 控制方法在实际应用中存在一些不足，尤其在高性能要求的环境下，其调节精度和响应速度难以满足实际需求。PID 控制器虽然结构简单、实现方便，但其控制参数（比例、积分、微分增益）的固定性限制了其适应性。随着负载变化、转速波动等情况的出现，传统 PID 控制常常表现出较慢的响应时间、超调现象以及较大的稳态误差，从而导致电动机的运行效率不高^[1]。针对这些问题，PID 控制的调节性能在不同工况下出现较大的波动，无法达到理想的控制效果，这直接影响到系统的稳定性和工作精度。

在传统 PID 控制器中，比例、积分和微分三项参

数是固定的,缺乏自适应调整的能力。控制系统在面对系统负载变化或者外界扰动时, PID 控制器往往会出现响应过快或过慢的问题。当负载变化较大时, PID 控制系统难以快速跟踪目标转速,导致过调节或者欠调节现象,尤其在低频运行时,控制精度低,系统响应不理想。系统运行的稳定性也受到了影响,长时间的过调节会导致电动机温度过高或损耗增加,影响设备的使用寿命。由于 PID 控制算法未考虑电动机及变频器的非线性特性,简单的 PID 调节在高精度要求下不再适用,导致系统的性能逐渐下降。

PID 控制的另一个问题在于其对系统变化的适应能力较差。在实际应用中,三相异步电动机的负载和转速可能会发生复杂的动态变化,传统 PID 控制无法根据这些变化自动调整控制参数,容易引起系统性能的衰减^[2]。在某些工况下, PID 控制器的设置不能及时响应电动机负载和转速的剧烈波动,导致变频调速系统的实时性和精度大打折扣。如何提高 PID 控制在复杂工况下的鲁棒性和适应性,成为了电动机变频调速系统优化的重要课题。为了克服这些不足,提升控制精度和系统稳定性,有必要对 PID 控制策略进行改进和优化,以适应三相异步电动机变频调速系统在复杂环境下的需求。

2 基于遗传算法的 PID 控制参数优化方法

在三相异步电动机的变频调速系统中,传统 PID 控制算法由于参数调节的固化性,难以适应复杂工况的需求^[3]。为了解决这一问题,基于遗传算法(GA)对 PID 控制参数进行优化成为一种有效的解决方案。遗传算法作为一种模拟自然选择和遗传学原理的全局优化方法,可以在复杂的多峰函数优化中找到全局最优解。通过将遗传算法与 PID 控制器相结合,可以在不依赖人工经验的前提下,自动优化比例、积分和微分三个控制参数,使得 PID 控制器能够更好地适应不同工作环境,提高电动机的调速精度和系统的稳定性。

在基于遗传算法优化 PID 参数的过程中,遗传算法的编码设计至关重要。遗传算法通过对 PID 控制器的参数进行编码,将参数调整过程转化为优化问题。通过选择适当的种群大小和适应度函数,遗传算法可以评估不同参数组合对电动机调速性能的影响。适应度函数通常通过模拟电动机在不同负载、速度变化下的响应表现,来衡量 PID 控制器的调节效果。优化过程中,通过交叉、变异等遗传操作,不断调整 PID 参数的值,寻找最适合当前工况的控制参数组合。这一方法不仅避免了传统 PID 控制的调节困难,还能通过多次

迭代不断逼近最优解,提升系统的动态响应和稳态精度。

遗传算法的引入有效克服了传统 PID 控制在实际应用中存在的局限性,尤其是在面对复杂负载变化和系统非线性时,优化后的 PID 控制器能够表现出更强的适应性和鲁棒性。通过遗传算法优化后的 PID 控制器,能够自动调整控制参数,以应对负载波动、转速变化等复杂情况,实现更精准的速度控制^[4]。实验表明,遗传算法优化 PID 参数后的控制系统,相较于传统 PID 控制,在动态响应速度、超调量和稳态误差等方面均有显著改善。遗传算法优化 PID 控制不仅提高了三相异步电动机变频调速系统的性能,也为更广泛的工业控制应用提供了新的优化思路。

3 优化后的 PID 控制器对变频调速系统性能的提升效果

优化后的 PID 控制器能够显著提升变频调速系统的整体性能。通过基于遗传算法的 PID 参数优化,控制器在动态响应、系统稳定性和控制精度方面得到了全面改善。在实际应用中,遗传算法优化 PID 控制器能够有效消除传统 PID 控制中存在的过调节和欠调节现象。优化后的 PID 控制器可以根据电动机的负载和转速变化,智能调节比例、积分和微分增益,使系统的响应更加平滑,减少了超调现象,提高了系统的稳定性^[5]。特别是在高负载或者快速变化的工况下,优化后的控制器能够快速响应,保持系统输出的精确度,避免了传统 PID 控制器的滞后性和不稳定性。

通过对电动机变频调速系统进行实验验证,优化后的 PID 控制器在多个性能指标上均表现出明显优势。与传统 PID 控制相比,优化后的控制器具有更短的响应时间,能够在负载快速变化的情况下迅速调整输出速度,减少了系统的惯性滞后,显著提高了控制精度。在稳态时,优化后的 PID 控制器通过调整积分和微分增益,显著降低了稳态误差,使得系统能够在不同工况下长期稳定运行。实验结果表明,优化后的 PID 控制器在低频和高频运行条件下,均能够保持良好的控制效果,且其对负载波动的适应能力更强,系统整体的性能得到了全面提升。

优化后的 PID 控制器还提高了变频调速系统的能源效率。由于其控制精度的提高,电动机的运行能够更加精准地匹配负载需求,避免了过度调节带来的能源浪费。优化后的控制器使得电动机能够在更高效的运行范围内工作,从而降低了系统的能耗,延长了设备的使用寿命^[6]。通过遗传算法优化后的 PID 控制器,变频

调速系统不仅具备了更强的动态响应能力和稳定性,还能提高能源利用率,实现了更为经济、环保的运行效果。优化后的 PID 控制器在各方面的表现都超越了传统 PID 控制方法,显著提升了变频调速系统的整体性能。

4 优化 PID 控制策略在实际应用中的验证与分析

在实际应用中,优化 PID 控制策略的效果需要通过一系列的验证和分析来评估其性能。通过在不同工况下进行实验,优化后的 PID 控制器展现了显著的改进,特别是在动态响应、负载适应性和稳定性方面。在负载变化较大的情况下,优化 PID 控制器能够快速调整其控制参数,保持电动机转速的精确控制,相比于传统 PID 控制器,优化后的系统不仅响应速度更快,而且超调量和稳态误差显著降低。这表明,优化后的 PID 控制器能够更好地适应负载波动,提高系统的稳定性和控制精度^[7]。在实际工业环境中,电动机的负载变化常常是不可预测的,优化后的 PID 控制策略使变频调速系统能够在这种变化环境中始终保持高效、稳定的运行。

通过对比实验,优化后的 PID 控制策略在实际应用中的优势更加明显。实验中,优化控制器在不同负载条件下的控制精度和系统稳定性表现得尤为突出。在低速和高速运行条件下,优化后的 PID 控制器能够精确地调节电动机的转速,减少了因系统延迟或过调节导致的效率损失。尤其是在变负载情况下,优化 PID 控制策略能有效减小因负载波动产生的速度偏差,保证电动机的运行更加平稳,避免了传统 PID 控制器中出现的频繁超调和滞后现象。这种优化方法的引入,使得变频调速系统在实际工业生产中能够实现更加精准和可靠的控制,适应更加复杂和动态的工作环境。

优化 PID 控制策略在实际应用中的能源效率也得到了显著提升。由于控制精度的提高,优化后的控制器能够更精确地调整电动机的输出,避免了无效的功率消耗,降低了系统的能量浪费。实验结果显示,在高效运行的条件下,优化 PID 控制策略比传统 PID 控制能够显著降低电动机的能耗,同时延长了设备的使用寿命。这不仅符合现代工业节能减排的要求,也为变频调速系统的经济性和可持续发展提供了更有力的支持^[8]。通过实际验证和深入分析,优化后的 PID 控制策略已经证明其在变频调速系统中的应用效果显著,能够在不同负载和工况下提供更加稳定、精准且高效的控制

方案。

5 结语

优化 PID 控制策略在三相异步电动机变频调速系统中的应用,显著提升了系统的动态响应、稳定性和控制精度。遗传算法优化 PID 参数,克服了传统 PID 控制器在负载变化和系统非线性情况下的不足,实现了更快速、平稳的调速过程。实验结果表明,优化后的控制策略在实际应用中表现出更高的精度和鲁棒性,能够有效降低超调现象并提升系统的适应能力。优化后的 PID 控制器还显著提高了能源利用效率,减少了系统能耗。优化 PID 控制策略为变频调速系统提供了更加高效、稳定的解决方案,为相关工业应用中的电动机控制提供了强有力的支持。

参考文献

- [1] 张志飞,魏宗康.煤矿主通风机电源快速切换和变频调速装置兼容情况应用研究[J/OL].煤炭科技,2025,(03):102-105+113[2025-07-11].
- [2] 徐浩然.变频调速技术在电气自动化、标准化控制中的应用[J].大众标准化,2025,(12):145-147.
- [3] 杨福盛,曹华夏.基于变频调速的蒽醌法生产双氧水节能改造技术[J].化工设计通讯,2025,51(06):17-19.
- [4] 杨思凯,吴斌,徐晓风,等.变频调速电机减薄绝缘结构的制备工艺与性能研究[J].电气技术与经济,2025,(06):418-422.
- [5] 范巍.基于 PLC 的三相异步电动机的变频调速控制程序设计[J].工业控制计算机,2025,38(06):164-165+168.
- [6] 解育男.电厂用中型高压高效节能三相异步电动机关键技术研究[J].上海大中型电机,2025,(02):17-21.
- [7] 张玮,张瑞祥,李庆辉,等.基于新工科的三相异步电动机变频调速综合实验设计[J/OL].实验科学与技术,1-6[2025-07-11].
- [8] 尹成乐,侯宇.高压三相异步电动机电磁振动影响因素分析[J].防爆电机,2025,60(02):35-38+70.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS