

基于高压逆变的机械电气系统 节能控制方法研究

张洪超, 张 恒, 王兆阳

(山东宏旭化学股份有限公司, 山东 东营 257200)

摘 要 在全球能源资源日益紧张和环境保护压力不断增大的背景下, 提高机械电气系统的能效已成为工业界和科研领域的重点问题。本文系统地探讨了基于高压逆变技术的机械电气系统节能控制方法, 涵盖从技术概述、节能控制策略分析, 到节能控制系统的设计与实现, 通过对系统架构设计、控制算法开发以及系统集成与调试的详细研究, 提供了一种提升机械电气系统能效的有效途径, 旨在展示高压逆变技术在实际应用中的广泛前景和显著优势。

关键词 高压逆变; 机械电气系统; 节能控制; 系统架构

中图分类号: TM8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.14.002

0 引言

机械电气系统普遍应用于各种重要的生产线和能源设备中, 其能效水平直接影响到能源消耗和环保标准的执行。随着全球对能源效率和可持续发展的要求日益严格, 探索高效的节能控制方法不仅有助于降低运营成本, 也是响应环境保护政策的必然选择。高压逆变技术通过高效的逆变过程, 能够将直流电转换为高压交流电, 优化了电力系统的总体能效, 尤其在高能耗的工业应用中表现出显著的节能潜力。高压逆变技术因其在提升电能转换效率及减少电力损耗方面显示出独特优势, 被广泛研究和应用。

1 高压逆变技术概述

高压逆变技术其核心功能是将低压直流电转换为高压交流电, 从而实现能量的高效传输和利用。逆变过程涉及多个关键技术, 包括功率电子器件的选择、控制策略的优化、热管理系统的设计以及整体系统的电磁兼容性设计, 这些技术的集成和优化直接影响到逆变器的性能和系统的能耗效率。高压逆变器通常采用先进的半导体材料和电路拓扑, 可以显著提高器件在高电压、高频率条件下的工作效率和可靠性, 这对于降低系统整体的能耗和提升运行效率具有重要意义。此外, 控制策略的发展也为高压逆变技术的应用提供了新的动力, 采用数字化和智能化的控制算法, 能够更精确地调节逆变器的工作状态, 优化能量转换过程中的动态响应, 减少能量损耗。在实际应用中, 这些

控制策略不仅提升了逆变器的响应速度和稳定性, 还通过减少无效功率的产生, 进一步提高了能效。系统的热管理也是实现高效能转换不可忽视的方面, 良好的热管理设计能够有效地散发在逆变过程中产生的热量, 防止器件过热, 保证系统在最佳工作温度下运行, 从而延长系统的使用寿命并减少维护成本^[1]。

2 机械电气系统节能控制策略分析

机械电气系统的节能控制策略研究集中于提升系统能效、降低能耗以及优化操作性能, 旨在通过精确控制和技术革新, 实现能源的最优利用。在这一研究领域, 高压逆变技术发挥着至关重要的作用, 该技术能够有效管理和调整能量转换过程中的电压和频率, 从而最大化电能的效用, 尤其是在需要高功率输出的工业应用中更是如此。高效的节能控制策略不仅包括对逆变器本身性能的优化, 如采用先进的半导体材料和改进的电路设计以降低内部损耗, 还涉及系统级的控制算法, 包括实时功率监控、自适应负载调节和预测性维护等。这些算法通过对系统操作参数的实时调整, 确保机械电气系统在各种工作条件下均能保持最佳的能效比。此外, 通过集成智能传感技术和物联网 (IoT) 平台, 节能控制系统能够实现更高级的数据分析和处理功能, 进一步提升系统的响应速度和调节精度。智能化的控制系统能够从海量的操作数据中学习和预测设备行为, 实时优化操作策略, 以适应不断变化的负载需求和外部环境条件, 从而降低无效的能耗和提升整体的运行效率^[2]。

3 节能控制系统的设计与实现

3.1 系统架构设计

系统架构设计是实现基于高压逆变的机械电气系统节能控制的关键步骤，它涉及多层面的技术整合和创新，旨在构建一个既高效又稳定的能源管理框架。在设计过程中，关注的核心是如何优化能量流的分配和利用，确保能量在转换和传输过程中的最小损耗。这一架构采用模块化设计原则，整合了高效的功率逆变模块、智能控制单元和先进的通信接口，使得整个系统不仅在能效上得到优化，同时也在操作灵活性和可维护性上有所提升。功率逆变模块负责将输入的低压直流电转换为高压交流电，其设计需要考虑到高电压和高频率下的电磁兼容问题以及热管理问题，使用先进的宽禁带半导体材料如硅碳化物（SiC）和氮化镓（GaN）可以有效降低模块在高负载下的热损耗和提高转换效率。智能控制单元则运用最新的数字信号处理技术和机器学习算法，实时监控系统状态，动态调整逆变器的工作参数，以适应不同负载条件下的能源需求，优化能源分配策略，减少无效功耗。通信接口则保证了系统与外界环境的互动，支持远程监控和诊断功能，使得系统维护更为高效，同时也为系统的升级和扩展提供了便利^[3]。

3.2 控制算法开发

在开发基于高压逆变的机械电气系统节能控制方法中，控制算法的设计是核心环节，涉及精确的数学建模和复杂的算法逻辑。本文采用的是一种基于实时监测与反馈调节的控制策略，核心算法依赖于预测性维护和能效优化的数学模型，该模型使用高度复杂的公式来描述和解决问题。系统的功率需求 $P(t)$ 被建模为时间 t 的函数，表达式如下：

$$P(t) = P_0 + \sum_{i=1}^n P_i \sin(\omega_i t + \phi_i) \quad (1)$$

其中， P_0 是基础功率需求， P_i 、 ω_i 和 ϕ_i 分别是第 i 个负载的幅度、频率和相位。此公式通过将功率需求分解为若干正弦波，能够详细地反映出机械电气系统在不同操作条件下的动态变化。

接着，为了实现节能控制，算法需要对预测出的功率需求进行优化调整。这一过程通过最小化能耗成本函数 C 来实现，该函数表达为：

$$C = \int_0^T (P(t) - P_{opt})^2 dt \quad (2)$$

这里， P_{opt} 是优化后的功率需求， T 是考虑的总时间周期。这个公式旨在通过调整 $P(t)$ 以接近或等于预设的最优功率 P_{opt} ，从而减少能耗和提高系统的总体能效。

算法的核心是实时更新 P_{opt} 的值，以适应系统运行中的实际变化，这通过一个动态调节公式实现：

$$P_{opt}(t+1) = P_{opt}(t) + \alpha \Delta P(t) \quad (3)$$

其中， $\Delta P(t)$ 是在时间 t 实际观测到的功率与预测功率之间的差值， α 是学习率，这个公式反映了系统如何根据实际运行情况调整预测模型，从而持续优化能效。

最后，为了实现高效的控制，需要一个反馈机制来不断调整系统参数。这个反馈机制可以通过以下公式表达：

$$Adjustment = -\kappa \frac{dC}{dP_{opt}} \quad (4)$$

这里， κ 是调整系数， $\frac{dC}{dP_{opt}}$ 是成本函数对于最优功率的导数，表明调整的方向和幅度。该公式确保了系统调整的精确性和适应性，使得系统能在变化的环境中维持最佳性能。

3.3 系统集成与调试

在高压逆变的机械电气系统节能控制方法研究中，系统集成与调试阶段是实现理论研究成果向实际应用过渡的关键步骤，它涉及复杂系统的组件整合、功能验证以及性能优化。系统集成需要确保所有子系统和组件，如高压逆变模块、控制单元、传感器和执行机构等，不仅在技术上兼容，而且能够在操作上协同工作，以实现整个系统的最大能效。在集成过程中，每个组件的性能参数都必须被精确地定义和调整，以满足系统总体设计要求。此外，调试阶段则主要关注系统的实际运行情况，通过实时数据监控和分析，不断调整系统配置，优化控制策略，直至系统能够在各种负载条件下稳定运行，达到预期的节能效果。为了更清楚地展示系统集成与调试的效果，表1列出了在不同测试阶段系统性能参数的记录。

表1中的数据说明，在系统集成与调试过程中，通过逐步优化控制策略和调整关键组件的配置，系统的整体性能得到显著提升，特别是在能效比和响应时间上的改进，确保了系统在实际操作中能达到预定的节能目标^[4]。

4 技术应用测试

在本次实验中，使用的数据集由实验室环境中具体的系统功能测试所收集，数据集总共包含800组数据点，每组数据是在八种不同的测试条件下收集的，每种条件下至少100组数据。在本次实验中，被设定为重复进行每种条件下至少100次的测试，共计800组数据，反映了系统在各种不同的环境和负载条件下

的表现。实验的分组基于测试条件的变化,这些条件包括基线测试、最大负载、最小负载、动态负载变化、高温环境、低温环境、电压波动及接地故障模拟等,每个条件下的 100 组数据确保了统计结果的代表性和科学性。测试指标涵盖了逆变效率、响应时间、负载适应性评分和故障诊断准确率。其中,逆变效率表示系统在转换电能时的效率程度,高逆变效率意味着系统能更有效地转换电能,减少能量损失;响应时间指

系统对负载变化反应的速度,响应时间越短,系统的调节和适应能力越强;负载适应性评分反映了系统在不同负载下的稳定性和可靠性;故障诊断准确率评估了系统在检测和识别系统故障时的准确性和效率。以下是测试结果的数据表格,严格对应以上提到的测试指标和分组,如表 2 测试数据。

从表 2 可以看出,基线测试和最小负载条件下的逆变效率最高,显示出系统在正常或较轻负载下工作

表 1 不同测试阶段系统性能参数数据

测试阶段	功率输出 (kW)	能效比 (%)	响应时间 (ms)	系统稳定性评级
初始功能测试	50	85	10	良好
负载测试阶段 1	75	87	9	良好
负载测试阶段 2	80	89	8	优秀
最终性能验证	95	90	7	优秀

表 2 测试数据

测试编号	测试条件	逆变效率 (%)	响应时间 (ms)	负载适应性评分	故障诊断准确率 (%)
001	基线测试	98.57	10.23	95.76	99.45
002	最大负载	97.83	15.34	92.87	98.21
003	最小负载	98.94	8.56	96.89	99.64
004	动态负载变化	96.75	20.45	90.34	95.78
005	高温环境下	95.32	30.21	85.64	90.55
006	低温环境下	98.45	12.69	94.76	98.78
007	电压波动大	97.12	25.87	88.45	96.32
008	接地故障模拟	97.95	18.53	91.23	97.67

得更加高效。在动态负载变化和高温环境下测试的响应时间较长,负载适应性评分较低,说明系统在面对快速变化的负载或极端环境条件下性能有所下降。故障诊断准确率在所有测试条件下均保持较高,特别是在基线和最小负载条件下,凸显了系统在正常运行环境下对故障的检测与诊断极其准确。这些结果有效地验证了系统的逆变效率、响应速度、负载适应性和故障诊断能力,在实际应用中具有重要的参考价值^[5]。

5 结束语

本文针对机械电气系统中基于高压逆变的节能控制方法进行深入研究,旨在通过技术创新和应用实践,推动节能减排技术的进步和工业应用的升级。通过这些研究,不仅可以优化现有工业系统的能效表现,还有助于促进绿色技术的发展和环境保护政策的实施,从而达到提升经济效益与生态效益双重目标的长远愿

景,对于推动工业现代化和可持续发展具有重要的理论和实际意义。

参考文献:

- [1] 范其丽,王璞,冯越.基于BP神经网络的光伏并网逆变器控制方法研究[J].电气传动,2020,50(04):59-62.
- [2] 薛静云,刘阿敏,王之怡.建筑电气节能系统的谐振抑制方法研究[J].智能城市,2024,10(03):84-86.
- [3] 俞娟.基于高耦合逆变补偿的水利工程电气控制系统设计[J].水利水电技术,2020,51(07):70-76.
- [4] 丁金勇,吕建国,徐炜基,等.弱电网下基于模型预测控制的NPC三电平LCL型并网逆变器谐振抑制方法研究[J].电气工程学报,2021,16(02):190-198.
- [5] 郭毅锋,李昊龙,王志福,等.基于逆变器的永磁同步电机端口特性模拟及控制技术研究[J].电测与仪表,2022,59(10):130-136,190.