

基于逆变器直流和母线电压的双闭环控制系统设计与性能分析

李明伟 侯英男

中建材佳星玻璃(黑龙江)有限公司 黑龙江 佳木斯 154000

摘要:在现代电力系统中,逆变器的稳定性和效率对整个电网的运行至关重要。本研究提出了一种基于逆变器直流侧和母线电压的双闭环控制系统设计,并对其性能进行了详细的分析。首先,建立了包含直流电压和母线电压反馈的动态模型,并设计了相应的PI(比例积分)控制器以实现系统的稳定性和快速响应。其次,通过仿真和实验验证了所设计控制系统的有效性。仿真结果表明,该控制系统能够有效抑制电压波动,提高系统的动态响应速度和稳态精度。实验部分则通过实际硬件平台的测试,进一步验证了系统设计的可靠性和优越性能。最后,研究分析了系统在不同工作条件下的性能,为逆变器的设计与应用提供了理论与实践依据。此项研究对于提升逆变器控制技术,优化电力系统的运行具有重要的实际意义和应用价值。

关键词:双闭环控制系统;逆变器;PI控制器;电压稳定性;动态响应速度

引言

伴随可再生能源的迅猛进步和电力电子技术的提升,逆变器的控制系统设计转变为电力系统研究的焦点其一。本文阐述了一类别依托逆变器直流侧和母线电压的双闭环控制系统设计方法,并对其性能开展了详尽研究。借助构造涵盖直流和母线电压回馈的动态模型,并运用PI控制器来设计系统,意在保障系统在各异情景中的迅猛反应和优稳固性。借助仿真和实验证实了控制策略的可行性,并研究了该系统在多种工作环境中的性能,确信逆变器可以广泛的应用中呈现显杰出性能。这些研究为逆变器的设计和优化供给关键学说和实践借鉴,对电力系统中逆变器的应用和进步拥有关键作用。

1 概述逆变器的功能与双闭环控制系统的基本概念

1.1 逆变器在现代电力系统中的关键作用

逆变器现代电力系统担任关键角色。可再生能源发展速度加快,分布式发电技术不断普及,逆变器应用范围变得非常普遍。逆变器核心功能就是将直流电转化成交流电,确保电能以高效率方式传输和使用。太阳能光伏系统、风力发电设备、电动汽车充电装置等多个领域中,逆变器承担能量转换任务,同时还负责调整电力质量、提高系统运行效率,并且保障电网保持平稳状态。逆变器控制输出电压和频率大小,确保连接电网的分布式发电系统满足电网运行的具体标准,从而支持整个电力网络顺利运转,应对各种复杂的使用环境,满足不同场景下的电力需求,确保系统安全可靠运行。

特别对于光伏发电系统中,逆变器的质量立即关系

到光伏组件发出的电能是否高效接入电网或者受到用户直接运用。逆变器的效率和稳定性作用于整体发电系统的经济效益和可靠性。其高效能的转换降低了损耗,提高了可再生能源的利用率。在电力系统中,逆变器另外必需拥有迅速响应能力,用以处理负载变化和电网扰动。此需求逆变器持有优秀的动态响应特性,因此可以在电网出现瞬变或波动之际,迅速调节提供,平稳运作。伴随对电能质量需求的增强,逆变器必须拥有谐波抑制、无功功率补偿等等能力,以确保供电质量,防止作用于敏感电子设备的常规运用。

由于当前技术需求的特殊情况,开发一套功能很完善、性能特出色的逆变器控制系统,成为如今技术研究的一个重要目标。采用尖端的控制方法和精心设计的优化方案,使逆变器设备能适应复杂电力系统环境,帮助可再生能源和分布式发电项目取得更大进步。

1.2 双闭环控制系统的构成与原理

双闭环控制系统在逆变器中使用时起到了非常关键的作用,整个系统分成内环和外环两个部分。内环的任务是调整直流电压,控制逆变器的输出电压大小,以便处理负载出现的各种动态变化,这样就能让整个系统运行得更稳定。外环的任务是关注母线电压,通过反馈控制的方式让母线电压始终保持在设定的数值,保障逆变器的输出电压平稳,进而保障整个电力系统的可靠性。双闭环结构设计了两级控制策略,能够实现对逆变器运行状态的精确控制,有效减少电压波动和杂波干扰带来的影响。系统还结合了PI控制器的强大优势,使得稳定性

和响应速度达到平衡状态，保障设备运行非常流畅，降低故障发生的可能性，同时提高整体性能，延长设备的使用寿命，减少维护方面的成本支出。采用这种精心规划的设计方案，能够有效提高逆变器的整体运行效果，同时努力优化系统的快速反应能力和稳定运行时的精确程度，助力复杂电力系统内部的逆变器达成高性能运行目标，构建非常稳固的运行基础。选用双闭环控制方法，保证逆变器面对各种运行环境都能呈现优秀表现，满足电能质量的相关标准要求。

2 双闭环控制系统的建模与控制器设计

2.1 动态模型的建立

在构建双闭环控制系统的动态模型时，关注逆变器直流侧电压和母线电压的特性为极为关键。该模型的核心是借助精确刻画系统的电气动态行为，保障研发的双闭环控制器可以在多种运行条件下保持系统的稳定性。动态模型必须关注逆变器的输出参数，包含电压、电流及其瞬态响应。运用线性化处理技术以针对逆变器的非线性特性实施近似，用精简分析过程。采用状态空间方程以便高效刻画系统动态，其主要方程涉及电感电流的变动及电容电压的动态。

构建状态空间模型非常有利于研究和预估系统运行的具体状况。分析负载变化给系统运行带来的各种不同影响时，模型内部必须涵盖负载变化以及线性波动的多种具体情况。这些波动可能会给逆变器电压运行造成一定程度上的冲击，动态模型中加入这些波动相关的各种影响因素，可以提升模型实用价值和准确程度。系统动态模型给控制器设计奠定特别稳固的基础，同时也给接下来仿真验证工作给予相当重要且可信的参考数据支持。

2.2 PI控制器的设计与调整

PI控制器的规划是为达成双闭环控制系统稳固性与反应速率的核心环节。在规划流程中，须首先明确系统模型的特征，涵盖它的传递函数与变动特征。依据系统的频次反应特征，挑选适当的PI控制器变量，用调整系统的比重（P）和积分（I）增幅。校准P变量首要为以便提升系统的迅捷反应效能，且I变量的配置就有利于去除稳定状态误差。规划流程中，能够运用ZieglerNichols方式或者其余调校运算规则针对PI变量实施改进，使系统于获取迅捷反应的同时拥有高稳健性与抗干扰能力。

通过模拟确认，保证PI控制器可以在各类负荷和导入情境下保持系统表现的稳固性与卓越性，因而符合现实使用要求。

2.3 系统模型的验证与调试

构建一套系统模型之后，就开始进行全面的检验和

细致的调节工作，务必让模型的准确度和稳固度都完全达到标准。对比模型计算出的结果和预先设定的系统反应情况，找出里面可能存在的隐蔽误差和明显不匹配的地方。细心地调节系统的各项参数，尤其是PI控制器的核心参数，务必让系统在不断变化的环境条件下保持平稳状态，同时做到快速响应的基本要求。借助仿真工具虚拟出多种不同的运行环境，测试模型的坚韧程度和灵敏的反应能力。用心研究仿真得来的详细结果，改进相关的参数来一步步完善控制策略，确保系统可以顺应电压的剧烈波动和负载的显著变化。整合实验检验得出的详细结果，对模型进行深入的修改和持续的改进，最终让设计出来的控制系统拥有高效的表现，完全符合实际应用中的多样化需求。

3 系统性能的仿真与实验验证

3.1 仿真实验设计

系统性能仿真实验需构建与实际硬件匹配的仿真环境，以全面探究双闭环控制系统运行效果。实验利用MATLAB/Simulink平台规划设计，发挥其强大建模和仿真功能。动态模型构建遵循系统建模步骤，精确设置电路参数并调整模型参数。PI控制器参数则通过前期理论分析确定，确保系统动态反应和稳定性达标。实验设计不仅关注正常工作状态下的系统稳定性和反应速度，还考虑不同干扰情况下的系统抗干扰能力和健壮性，涵盖负载变化、输入电压波动等。多种工况模拟实验检验控制策略适应性，为后续硬件实验提供理论基础和数据支持，确保实验可重复且结果精确可靠。

3.2 仿真结果分析

仿真结果清楚展示，通过构建一种基于逆变器直流侧和母线电压的双闭环控制系统，测试发现这种系统能够多种测试条件之下表现出非常好的性能提升效果。针对电压波动抑制这一方面，系统可以将波动幅度限制到一个很小的范围之内，充分表明了系统具备良好的动态响应能力。关于稳态精度的考量进一步验证了控制策略具有很高的实用价值，仿真数据表明输出电压可以保持设定值附近，偏差几乎可以忽略不计。遇到负载变化的情况，系统能够及时调整输出电压，确保设备运行状态良好，无论负载突然变化还是缓慢变化，控制系统都没有出现过冲或者不稳定的现象。经过仿真实验的验证，双闭环控制系统的应用领域里面具有很大的发展优势和应用前景。

3.3 硬件实验与性能验证

硬件实验的整个过程中，设计了一套完全符合真实应用环境的测试平台，用来测定双闭环控制系统的具体

运行性能到底怎么样。借助实验室环境搭建好逆变器电路，测试平台能够采集到直流以及母线电压的相关信号数据信息。使用高精度的传感设备，监测电压变化的具体情况到底如何，并且记录下系统面对不同负载条件时的响应特性表现如何。实验结果清楚表明，系统的稳定性和动态响应能力表现得非常优异，完全可以控制好输入电压波动的幅度大小。关键性能指标比如响应时间和稳态误差都达到了设计预期的目标要求，充分展示出杰出的控制能力和广阔的应用潜力前景。

4 应用实例与性能评估

4.1 系统在不同工作条件下的表现

双闭环控制系统在不同工作环境下的运行效果，是评估其稳定性和适应能力的重要依据。研究通过多种负载、输入电压变化及环境温度等条件进行全面测试。负载变化时，系统快速调节，确保输出电压稳定；输入电压波动时，系统应对影响，保证电力平衡和输出精确；环境温度改变时，系统稳定运行，展现高可靠性和强环境适应能力。研究证明，双闭环控制系统理论优势明显，实际应用兼容性强、稳定性高，为逆变器设计奠定技术基础，提升电力系统运行效率和稳定性，未来发展潜力巨大。

4.2 性能的实际应用案例

在现实使用之时，为了证实依托逆变器直流和母线电压的双闭环控制系统的性能，挑选了分布式发电系统中的光伏逆变器充当案例探究对象。系统在各异负载情形以及环境下运作，用以测评其的灵活响应和安定性能。实验设置涵盖变化的负载电流和外界扰动，用以仿真实情况中的电网起伏与负载变迁。双闭环控制系统可以高效保持输出电压的稳固性，遏制电流和电压的起伏。在不用的环境下，系统展现出较强的效能和反应速率。此显示该设计不单可以提高系统的稳固性，而且能在各种操作环境下达成优秀的性能，助力其在更加广阔的电力应用中普及。

4.3 对电力系统影响的评价

逆变器的双闭环控制系统能够改善电力设备的整体

运行效果。使用高效率的电压调节方法和快捷灵敏的反应机制，设备运行中能够有效减少电压波动的范围，让电网的运行状态保持平稳，适应各种不同环境的能力变得更强。面对负载变化带来的复杂状况，控制系统表现出相当优秀的调节能力，保证电力供应的连续性和稳定性。采用这种设计方式，可以大幅提升电力设备处理突发故障的快速修复能力，突出加强电网运行的安全性和可靠性水平。改进逆变器的运行效率，能够有效缩减电量浪费的问题，同时减少日常维护的费用开支，使得清洁能源顺畅接入电网，助力现代化建设的快速发展，给予重要的支持和坚实的保障作用。

结语

本研究设计并分析了基于逆变器直流侧和母线电压的双闭环控制系统，通过建模和设计PI控制器，确保了系统稳定快速响应，仿真和实验验证了其有效性。该系统能抑制电压波动，提升动态响应和稳态精度，硬件测试也确认了其可靠性。但该系统尚未在复杂电网环境广泛验证，硬件和软件环境或限制其适用性。未来研究可聚焦提高灵活性和鲁棒性，设计普适策略，并研究极端条件下的性能，以扩展应用范围，促进电力系统优化和逆变器技术进步。

参考文献

- [1]张坤罗文广.电压型逆变器的重复控制与准比例谐振的双闭环控制研究[J].广西科技大学学报,2022,33(03):22-28.
- [2]宋树强,刘刚,祁招,王晓丽,王春生,姚艳芳,龚晓伟,刘道欣,焦照旭.一种电压发生器的双闭环控制系统研究[J].电工技术,2022,(10):22-24.
- [3]王刘银,周磊,散天泽,万其.电动螺丝刀双闭环控制系统设计[J].工业控制计算机,2020,33(05):139-141.
- [4]靳小宁.单相逆变器双闭环控制策略对比研究[J].科技创新与应用,2020,0(09):130-131.
- [5]刘自南.光伏发电系统并网逆变器电压电流双闭环控制仿真研究[J].自动化应用,2021,(01):106-110.