

基于自适应阻尼调节的汽车底盘振动主动控制策略研究与优化

刘庆芝

华北电力大学 北京 100000

摘要: 本文聚焦汽车底盘振动控制,先剖析底盘振动源于路面与车辆自身激励及传递特征,阐述自适应阻尼调节通过感知、控制、执行实现主动抑振的原理。接着介绍基于该技术的主动控制策略设计,涵盖感知层采集信息、决策层制定决策、执行层调整参数。针对初始策略问题,优化阻尼调节算法、控制参数匹配和反馈机制。理论验证表明,优化后策略在振动抑制能力、响应速度和适应性上显著提升,能更好地平衡行驶平顺性与操纵稳定性,为汽车底盘振动控制提供有效方案。

关键词: 自适应阻尼调节;汽车底盘;振动主动控制;控制策略;策略优化

引言:在汽车行驶过程中,底盘振动问题严重影响着驾乘舒适性与车辆操纵稳定性。自适应阻尼调节技术为解决底盘振动问题提供了有效途径。本文深入探讨汽车底盘振动及自适应阻尼调节核心原理,详细阐述基于该技术的底盘振动主动控制策略设计,包括整体框架、感知层、决策层与执行层设计。同时,针对初始控制策略存在的不足,对阻尼调节算法、控制参数匹配和反馈机制进行优化。最后,通过理论验证从振动抑制能力、响应速度和适应性三个方面评估优化效果,旨在为汽车底盘振动控制提供全面、深入的理论支持与实践指导,推动汽车行业在振动控制领域的技术发展。

1 汽车底盘振动及自适应阻尼调节核心原理

1.1 底盘振动的主要来源与传递特征

底盘振动的来源主要集中于路面激励与车辆自身激励两个方面。(1)路面激励是最主要的外部激励,路面不平度通过轮胎与悬架系统传递至底盘,引发底盘部件的振动,振动的强度与频率取决于路面状况与行驶速度;车辆自身激励主要来自发动机运转、传动系统工作以及车身姿态变化等,这类激励具有稳定性、周期性的特点,会进一步加剧底盘振动。(2)底盘振动的传递路径具有多通道、多环节的特征,振动从轮胎传入后,经过悬架系统、车架、车身等部件逐步传递,不同部件的刚度、阻尼特性会对振动传递产生不同影响。振动传递过程中,会出现能量衰减与频率偏移,合理控制振动传递过程中的能量损耗,是提升振动控制效果的关键^[1]。

1.2 自适应阻尼调节的核心原理

自适应阻尼调节的核心是通过感知系统获取行驶过程中的各类状态信息,结合预设控制逻辑,实时调整阻

尼器的阻尼系数,实现对振动的主动抑制。(1)自适应阻尼器作为核心执行部件,能够根据控制信号改变内部阻尼结构的工作状态,进而调整阻尼力的大小与变化规律,适应不同工况下的振动控制需求。(2)与传统固定阻尼相比,自适应阻尼调节具有动态响应、精准匹配的优势,其调节过程无需人工干预,能够根据行驶工况的变化自动完成阻尼参数的调整,使底盘振动始终处于可控范围,兼顾行驶平顺性与操纵稳定性。感知系统、控制单元与执行机构构成了自适应阻尼调节系统的核心,三者协同工作,实现振动的实时感知、信号处理与主动控制。

2 基于自适应阻尼调节的底盘振动主动控制策略设计

2.1 控制策略的整体框架

主动控制策略构建了一个严谨且高效的闭环控制体系,由感知层、决策层与执行层三个关键部分有序组成。(1)感知层作为信息采集的前端,承担着实时收集车辆行驶过程中各类状态信息的双重任务,如车速、路面不平度、车身振动加速度等,为后续决策提供全面且准确的数据基础。(2)决策层是整个控制策略的核心“大脑”,它依据感知层传来的信息,结合预先设定的控制逻辑与算法,迅速制定出科学合理的阻尼调节决策,明确自适应阻尼器应调整的参数范围与方向。(3)执行层则是决策的落实者,它严格按照决策指令,精准驱动自适应阻尼器完成阻尼参数的动态调整,有效抑制底盘振动。整个控制框架以闭环反馈机制为关键支撑,执行层的调节效果会再次被感知层采集,并反馈至决策层,决策层据此不断优化控制指令,实现控制效果的持续迭代提升,保障振动控制的稳定性与可靠性^[2]。

2.2 感知层设计

感知层在整个基于自适应阻尼调节的底盘振动主动控制策略中,扮演着至关重要的信息采集角色。其核心功能在于全面、准确且实时地获取与底盘振动紧密相关的各类状态信息,从而为决策层提供坚实可靠的数据支撑,确保后续控制决策的科学性与精准性。(1)感知层所关注的感知对象丰富多样,涵盖路面状况、底盘振动参数、车身姿态以及行驶工况等关键信息。其中,路面状况直接影响到振动的产生源头;底盘振动参数能直观反映振动的强度与特征;车身姿态则体现了车辆在行驶过程中的动态平衡情况;行驶工况决定了车辆所处的运行环境与受力状态。(2)为实现信息采集,感知层借助各类专业传感器分工协作,分别采集不同类型状态信息。采集到的原始信息往往夹杂着干扰信号,需经过初步滤波处理,去除无效成分,保证信息的有效性。同时,感知层的信息采集频率需与行驶工况紧密匹配,如此才能及时捕捉到振动的细微变化,为决策层的快速响应创造有利条件。

2.3 决策层与执行层设计

决策层作为整个控制策略的核心枢纽,承担着关键决策任务。它依据感知层所采集到的全面且精准的信息,结合预先精心设定的控制逻辑,制定出科学合理的阻尼调节决策。(1)决策逻辑的关键在于,综合分析振动状态以及行驶工况等多方面因素,精准判断出当前时刻车辆所需的阻尼系数,以此保证阻尼调节能够高度契合振动抑制的实际需求。在决策过程中,还需统筹兼顾行驶平顺性与操纵稳定性,不能因过度侧重振动抑制,而忽视了车辆的操控性能,确保车辆在实现良好减振效果的同时,仍能保持稳定的操控表现。(2)执行层以自适应阻尼器作为核心执行元件,严格按照决策层发出的控制指令,实时、精准地调整阻尼器的阻尼参数。执行层必须具备快速响应能力,保证控制指令能迅速转化为实际的阻尼调节动作,防止因响应滞后而使控制效果大打折扣。此外,执行层还需具备出色的稳定性,无论处于何种复杂的工作环境,都能稳定可靠地完成阻尼调节任务,确保控制策略得以有效执行。

3 底盘振动主动控制策略的优化

3.1 阻尼调节算法优化

阻尼调节算法作为决策层的关键所在,对阻尼调节的精准程度与响应速率起着决定性作用。在初始的控制策略里,所采用的调节算法存在一定局限性。当车辆行驶工况发生突变时,该算法往往无法及时做出反应,容易出现调节滞后的情况,同时还会导致阻尼参数出现较

大幅度的波动,进而对振动控制效果产生不利影响^[3]。

为解决这些问题,对阻尼调节算法进行优化。优化后的算法能够充分结合振动状态的变化趋势,提前对振动的发展方向进行预判,从而实现阻尼参数的提前调节,有效减少调节滞后现象。并且,该算法可根据感知信息的变化速率,动态地对调节步长进行调整。当振动强度较大时,适当增大调节步长,以加快振动抑制的速度;而当振动逐渐趋于平稳时,则减小调节步长,提高调节的精度,避免因阻尼参数波动过大而引发车身抖动,最终实现振动的精准且平稳抑制。

3.2 控制参数匹配优化

控制参数的匹配合理性,直接影响控制策略的适应性与控制效果。初始控制策略的参数控制参数的匹配状况对于控制策略的适应性以及最终的控制效果有着至关重要的影响。在初始的控制策略中,参数设置相对固定,缺乏灵活性,难以充分适应不同行驶工况的多样化需求。这就导致在部分特定工况下,会出现阻尼调节不足,无法有效抑制振动,或者过度调节,影响车辆行驶性能等问题。

为解决上述问题,需对控制参数匹配进行优化。通过系统梳理不同行驶工况下底盘振动的特征,深入分析其内在规律,建立起控制参数与工况之间的精准匹配关系,以此实现控制参数的动态调整。具体而言,依据行驶速度、路面状况等关键工况信息,预先设定不同工况下的参数基准值。在实际运行过程中,结合实时监测到的振动状态,对参数进行动态修正,保证控制参数始终与当前工况高度匹配,从而提升控制策略的适应性。此外,还需优化参数调节范围,防止参数超出合理区间,避免造成阻尼器损坏或控制失效,切实保障控制策略的安全性及可靠性。

3.3 反馈机制优化

闭环反馈机制在整个底盘振动主动控制策略中扮演着确保持续优化的核心角色。然而,初始的反馈机制存在明显缺陷,反馈延迟现象较为突出,这使得决策层不能在第一时间获取执行层的调节效果,进而对控制策略的优化效率产生不利影响;同时,反馈精度不足,导致传递至决策层的信息存在偏差,影响决策的准确性。

为解决这些问题,对反馈机制进行优化。一方面,通过技术手段缩短反馈周期,让执行层的调节效果能够以更快的速度反馈至决策层;另一方面,提升反馈信息的精度,保证信息的准确性和完整性。优化后的反馈机制还增加了反馈信息的采集维度,除采集振动参数的变化情况外,还对阻尼器的工作状态进行采集,如此决策

层便能全面掌握控制效果,及时对控制指令做出调整。此外,引入反馈校正机制,对反馈信息进行校正处理,有效减少干扰信号对决策的干扰,进一步提升决策的准确性,最终实现控制效果的持续优化。

4 控制策略优化效果的理论验证

4.1 振动抑制能力验证

为全面评估优化后控制策略的优势,需深入分析不同行驶工况下,优化前后控制策略对底盘振动的抑制成效。(1)在复杂路面工况下,优化前的控制策略存在明显短板,其对振动的抑制不够充分,导致车身振动较为显著,影响驾乘体验。(2)而优化后的控制策略展现出强大的性能优势。它借助精准的阻尼调节机制,能够依据实时振动状态,精确调整阻尼参数;同时,通过提前预判振动发展趋势,提前介入调节,有效抑制路面激励以及车辆自身激励所引发的振动。这一系列改进措施大幅减少了振动传递至车身的强度,显著提升了振动抑制能力,为驾乘人员营造了更为舒适的乘车环境。(3)理论分析进一步证实,优化后的控制策略可根据振动强度的动态变化,实时调整阻尼参数,确保振动始终处于可控范围,与优化前相比,振动抑制效果得到质的提升,更能契合实际振动控制需求^[4]。

4.2 响应速度验证

响应速度作为评判主动控制策略性能的关键指标,对振动控制的及时性起着决定性作用。在车辆行驶过程中,若控制策略响应迟缓,就无法在振动产生的第一时间进行有效抑制,进而影响整体的振动控制效果。(1)优化前的控制策略存在明显的响应滞后缺陷,当行驶工况突然改变时,它不能迅速调整阻尼参数,致使振动无法得到及时抑制,振动问题持续存在甚至进一步恶化。(2)而优化后的控制策略,借助对算法和反馈机制的双重优化,大幅缩短了响应时间。在工况突变时,它能够快速、精准地捕捉到振动变化,迅速发出合理的控制指令,驱动阻尼器完成及时调节,有效避免振动进一步加剧。理论分析明确表明,优化后的控制策略响应速度显著提高,可快速适应各种工况变化,切实保障了振动控制的及时性与有效性。

4.3 适应性验证

适应性堪称主动控制策略的核心优势所在,对于保

障车辆在不同行驶条件下均能实现良好的振动控制效果至关重要。优化后的控制策略,凭借控制参数的动态匹配机制,展现出强大的环境适应能力。(1)在面对平整路面、颠簸路面等不同路况,以及不同行驶速度的复杂组合时,该策略能够依据实时感知的工况信息,自动且精准地调整阻尼参数。这种动态调整能力确保了无论外界条件如何变化,都能实现对振动的精准控制,有效避免了因工况改变而出现控制效果下降的情况。(2)与优化前采用固定参数的控制方式相比,优化后的控制策略优势明显,其适应性大幅提升,能够从容应对复杂多变的行驶场景,在各类工况下都能达成良好的振动控制效果,同时平衡好车辆行驶平顺性与操纵稳定性,为驾乘人员提供更优质的体验^[5]。

结束语

汽车底盘振动控制是提升车辆性能的关键环节。本文通过对汽车底盘振动及自适应阻尼调节核心原理的剖析,构建了基于该技术的主动控制策略,并针对初始策略的不足进行了全面优化。理论验证结果显示,优化后的控制策略在振动抑制能力、响应速度和适应性方面均取得显著提升,能够有效平衡车辆行驶平顺性与操纵稳定性。这不仅为汽车底盘振动控制提供了更科学、有效的解决方案,也为后续相关研究奠定了坚实基础。未来,随着技术的不断发展,可进一步结合实际路况与车辆运行数据,对控制策略进行持续优化,推动汽车行业在振动控制领域迈向更高水平。

参考文献

- [1]谭庆妙.汽车底盘异常振动的故障原因与维修技术[J].内燃机与配件,2022(2):143-145.
- [2]杨敏.汽车底盘异常振动的故障分析与维修技术[J].农机使用与维修,2022(9):115-117.
- [3]朱平,秦玉彬,吴颂,滕文文,王毅.汽车底盘后悬位置零部件台架试验方法应用研究[J].装备制造技术,2022(10):80-83+92.
- [4]黄佃明.稳定性约束下的汽车底盘维修技术[J].南方农机,2022,53(9):154-156.
- [5]郭志明,杜阿雷,封佳伟,张博阳,朱宏献.汽车底盘低动静比衬套设计策略探究[J].时代汽车,2024(14):138-140.