

# 基于随机共振的机械传动系统机电耦合振动检测方法

金文超

丹佛斯(天津)有限公司 天津 301700

**摘要:** 基于随机共振的机械传动系统机电耦合振动检测方法是一种高效、准确的信号处理技术,通过利用共振效应增强目标信号,同时结合特征提取进行故障诊断与识别。本方法在振动信号的采集、预处理、信号增强、特征提取以及故障诊断等环节充分运用随机共振原理,在机械传动系统的运行状态监测与故障分析中显示出显著的优势,有望推动机械设备维护领域的技术创新与发展。

**关键词:** 随机共振;机械传动系统;机电耦合;振动检测

## 1 机电耦合振动的基本知识介绍

机电耦合振动是指机械系统与电气系统之间发生的相互作用引起的振动现象。机电耦合振动涉及机械、电气、控制等多个领域的知识,其基本知识包括几个方面:(1)机电耦合振动的起因:机电耦合振动通常由于机械部件的运动引起电气部分的振动,或者电气部分的运动引起机械部件的振动。在机电系统中,机械与电气之间存在着能量转换和信息传递过程,导致振动相互耦合。(2)机电耦合振动的特性:机电耦合振动的特性是复杂多变的,包括振幅、频率、相位、能量传递等方面。机械部分与电气部分之间的相互作用会影响系统的稳定性、可靠性和性能<sup>[1]</sup>。(3)机电耦合振动的分析方法:分析机电耦合振动需要综合考虑机械和电气系统的动力学特性,可以采用数学建模、频域分析、时域分析等方法进行研究和仿真。(4)机电耦合振动的应用领域:机电耦合振动广泛应用于航空航天、汽车工程、电力系统、医疗设备等领域。在这些领域中,了解机电耦合振动的基本知识对系统设计、控制和性能优化具有重要意义。

## 2 机电耦合振动检测在机械传动系统中的重要性

机电耦合振动检测在机械传动系统中具有重要的意义。机械传动系统是工业生产中常见的设备,涉及到多种机械部件的传动与转动,同时也包含电气控制系统。当机械传动系统中存在机电耦合振动问题时,会对系统的稳定性、可靠性和安全性产生不利影响。第一、故障诊断:通过机电耦合振动检测,可以及时监测机械系统的振动信号并进行分析,从而识别可能存在的故障源。例如,轴承故障、齿轮磨损等问题都会引起振动异常,通过检测可以帮助找出故障的具体位置和原因。第二、预防维护:机电耦合振动检测可以帮助实现机械传动系统的预防性维护。通过定期监测机械系统的振动情况,

可以及时发现潜在的问题并采取预防措施,延长设备的使用寿命,降低维护成本。第三、系统优化:通过机电耦合振动检测可以帮助优化机械传动系统的设计与运行。对于存在振动问题的系统,可以通过调整参数、改进结构或使用振动消除器等方式来减少振动干扰,提高系统的稳定性和性能。第四、安全保障:机电耦合振动检测可以提高机械传动系统的安全性。及时发现并处理振动问题可以避免意外故障和事故的发生,保障设备运行时人员和设备的安全。

## 3 随机共振理论及其在振动信号处理中的应用

### 3.1 随机共振原理

随机共振理论是指在涉及到随机力的激励下,系统的固有频率与外部激励频率之比接近某个整数倍时(如2:1、3:1等),系统将会体现出更强的响应现象。这种现象称为随机共振,并且它与传统的固有频率共振在物理机理上有所不同。在振动信号处理中,随机共振理论常用于理解和解释一些特殊情况下的振动现象。当系统受到来自外部环境的非确定性、随机性激励时,正是随机共振理论可以提供有益的启示。随机共振现象可能出现在各种工程系统中,如机械结构、电力系统以及生物系统等。

随机共振原理可以简要总结如下:(1)随机共振是指系统在存在随机激励作用下,呈现出与外部激励频率之比为整数倍的共振现象。(2)随机共振是由于系统在存在随机力时,共振才会出现,与系统的固有频率共振不同<sup>[2]</sup>。(3)随机共振出现时,系统响应将会显著增强,这对于系统的安全稳定具有重要影响,需要引起重视。在振动信号处理中,应用随机共振理论可以帮助工程师深入了解系统在随机激励下的响应规律,并在系统设计、预警监测等方面提供有效的参考。通过对随机共振的理解与分析,可以更好地指导振动控制与故障诊断

工作,保障系统的安全与稳定运行。

### 3.2 随机共振在微弱信号检测中的优势

随机共振理论在微弱信号检测中具有独特的优势。微弱信号是指受到干扰或噪声影响较大、难以被直接检测的信号。在随机共振现象下,系统对信号的响应会在特定的频率条件下被显著增强,而噪声则不会引起类似的共振效应。这种现象有利于将目标信号与噪声进行有效分离,从而提高了信号的检测和识别准确性。随机共振可以使微弱信号的振幅在特定频率附近得到显著增强,进而提高了信号的强度,降低了信号与噪声之间的比率,从而使得微弱信号更容易被检测出来。通过利用随机共振现象,可以在不引入额外的放大器或滤波器的情况下,实现对微弱信号的增强和检测。这种方法节省了成本和复杂度,同时提高了检测系统的灵敏度和稳定性。随机共振现象对信号的频率范围要求相对较宽,可以适用于多种类型的微弱信号检测,包括机械振动、电信号、生物信号等多个领域。

### 3.3 随机共振算法及其在振动信号处理中的实现

随机共振算法是一种基于随机共振理论的信号处理方法,主要应用于振动信号处理领域中。信号采集:需要对振动信号进行采集,获取待处理信号的原始数据。采集设备通常包括传感器、数据采集模块等,将实际振动信号转换为数字信号,并输入到计算机进行后续处理。预处理:对采集到的原始信号进行预处理,包括滤波、去噪等操作,以减少信号中的干扰和噪声,提高后续随机共振算法的处理效果。特征提取:通过特征提取算法对信号进行处理,提取信号中特定频率成分的特征信息,并将信号转换到频域或其他域以便后续处理。随机共振算法处理:在寻找系统自然频率与外部激励频率整数倍关系的过程中,运用随机共振算法来增强目标信号。该算法可结合小波变换、谱分析等方法,识别系统特征频率附近的共振现象,并提高目标信号的幅度。信号恢复:根据随机共振算法处理后的信号,在特定频率范围内重建信号,强化目标信号的部分,减弱噪声成分,以实现微弱信号的有效检测。结果分析与评估:对处理后的信号进行分析与评估,查看信号增强效果,评估处理结果的准确性,并根据需要调整参数以优化信号处理效果。

## 4 基于随机共振的机电耦合振动检测方法

### 4.1 方法总体框架与流程

基于随机共振的机电耦合振动检测方法是一种有效的信号处理方法,可应用于机械传动系统的振动监测与故障诊断。通过传感器对机械传动系统中的振动信号进

行实时采集。采集的信号可能包括机械振动信号、电气信号等多种信号类型。对采集到的原始振动信号进行预处理,包括滤波、去噪等操作,以减少信号中的干扰和噪声,提高信号质量。通过特征提取算法,从预处理后的振动信号中提取出特征信息,如频率、振幅等,为后续的随机共振处理提供数据支持。利用随机共振算法,寻找机械传动系统的固有频率与外部激励频率整数倍的共振现象,从而增强系统中的目标振动信号。这一步旨在通过共振效应,提高目标信号的强度,减弱噪声的影响<sup>[3]</sup>。根据随机共振处理后的信号,在共振特定频率附近重建信号,以增强目标信号的部分并减少噪声成分,以实现微弱信号的有效检测。最后,对处理后的振动信号进行故障诊断与分析。通过比对振动信号的特征信息,可以识别出系统中存在的故障源,提出相应的处理建议。

### 4.2 振动信号的采集与预处理

基于随机共振的机电耦合振动检测方法是一种效果优良的信号处理技术,用于振动监测和故障诊断。该方法的第一步是振动信号的采集与预处理。在振动信号的采集阶段,需要使用传感器等设备对机械传动系统中的振动信号进行实时采集。传感器可以是加速度传感器、速度传感器或位移传感器等,用于检测不同类型的振动信号。通过这些传感器,可以获取到系统的振动信息,包括频率、振幅、相位等。采集到的原始振动信号需要经过预处理阶段。预处理的目的是消除信号中的噪声、干扰以及非有用的成分,提高信号的质量和准确性。在预处理过程中,可以采取一系列方法,如滤波、降噪、增益补偿等。滤波操作可以去除高频或低频成分,减少高频噪声的影响;降噪操作可以采用数字滤波器等技术,降低信号中的噪声干扰;而增益补偿则可以调整信号的幅度,使其适于后续处理分析。

### 4.3 基于随机共振的信号增强与特征提取

基于随机共振的机电耦合振动检测方法中,信号增强与特征提取是关键步骤,旨在针对系统的振动信号实现目标信号的增强和有针对性的特征提取,以便后续的故障诊断与分析。随机共振的信号增强阶段,利用共振特性增强系统中的目标信号,使其在特定频率范围内呈现显著的响应。通过振动信号的频谱分析、小波变换等技术,识别并调节系统固有频率与外部激励频率的整数倍关系,从而使目标信号的振幅得到有效增强,提高信号的可检测性与准确性。这一步骤有助于突出目标信号,减弱背景噪声,从而提高振动信号的信噪比。在特征提取阶段,通过分析信号在共振频率附近的特征,提

取出有助于故障诊断与分析的关键信息。常见的特征提取方法包括频域分析、时域分析、能量谱分析等。这些分析方法有助于揭示振动信号中潜在的故障特征,如失调、磨损、松动等问题,为后续的故障诊断提供依据。通过信号增强与特征提取这两个环节,基于随机共振的机电耦合振动检测方法加强了对振动信号的处理与分析,为系统的故障诊断提供了更为准确和可靠的数据基础。

#### 4.4 故障诊断与识别

基于随机共振的机电耦合振动检测方法在振动信号的故障诊断与识别方面具有显著的优势。通过振动信号在共振频率附近产生的共振效应,目标信号得到增强,噪声被减弱,有助于突出振动信号中的异常波形。基于特征提取的分析,系统可以提取出与机械传动系统不同故障类型相关的特征参数,如频率成分、振幅变化、谐波分析等。结合故障诊断领域的专业知识和经验,针对已提取的振动信号特征进行分析。通过比对特征参数与故障特征之间的关系,系统可以判断机械传动系统中可能存在的故障种类,如轴承磨损、齿轮失效、轴的松动等。系统将根据故障诊断结果产生相应的报警或建议措施。在发现潜在故障后,工程师可以及时采取针对性的维护措施,预防机械故障的发生,确保设备的安全与稳定运行。总的来说,基于随机共振的机电耦合振动检测方法通过信号增强和特征提取,为机械传动系统中潜在问题的诊断和识别提供了有效的技术支持。

#### 5 随机共振与其他信号处理方法的结合与应用拓展

随机共振作为一种有效的信号处理方法,在机电耦合振动检测中发挥重要作用。随机共振可以与小波变换结合,实现对振动信号更全面的分析。小波变换能够提供信号在时域和频域上的信息,结合随机共振的共振特性,可以更准确地识别出目标信号并增强信号的相关部分,有效挖掘信号的特征信息。随机共振与机器学习算

法的结合也十分有潜力。机器学习在实现自动化故障诊断和智能化监测方面具有显著优势,结合随机共振对振动信号的处理,可以为机器学习算法提供更优质的特征输入,进一步提高故障诊断的准确性与可靠性<sup>[4]</sup>。随机共振还可以与数字信号处理技术、模式识别等方法相结合,拓展应用领域,如智能驾驶、结构健康监测等。通过引入不同领域的技术,可以从更广泛的角度对信号进行处理,为各种应用场景下的振动信号处理和故障诊断提供更灵活、多样的解决方案。综合来看,随机共振作为一种信号处理方法,在与其他方法的结合与应用拓展中展现出了巨大的潜力。通过不断优化与创新,相关研究者和工程师能够利用不同方法之间的互补与协同作用,为振动信号处理领域带来更加丰富和深入的技术进展,为实际工程实践提供更为强大的支持。

#### 结束语

基于随机共振的机械传动系统机电耦合振动检测方法的提出和应用,为实现对机械设备运行状态的实时监测、故障预警和快速诊断提供了有力的技术支持。通过与其他信号处理方法的结合与进一步拓展,这一方法有望在工业领域的振动监测与故障诊断中发挥更为广泛的应用。期待这一技术的不断优化和完善,为提高机械设备的可靠性、安全性和效率做出更大的贡献。

#### 参考文献

- [1]张文林,王晓雷.基于随机共振的旋转机械微弱故障特征提取方法[J].振动与冲击.2019.38(7):123-128.
- [2]李永明,李志农,肖尧先.随机共振在齿轮故障诊断中的应用研究[J].中国机械工程.2018.29(5):591-596.
- [3]赵学智,叶邦彦,陈统坚.基于随机共振和神经网络的机床主轴箱故障诊断[J].振动工程学报.2017.30(1):120-127.
- [4]刘文,屈梁生.随机共振在机械设备早期故障微弱信号检测中的应用[J].振动、测试与诊断.2016.36(4):664-669.