

# 基于小波变换的变电站母线电流暂态扰动识别与录波启动装置

王佳桢 阚萌皓

包头供电公司 内蒙古 包头 014030

**摘要:** 变电站母线电流暂态扰动的准确识别与及时录波对保障电力系统稳定运行至关重要。本文综述基于小波变换的相关识别与录波启动装置,先阐述小波变换理论基础,再分析母线电流暂态扰动的类型、特征及信号处理方式,接着探讨识别算法的设计与性能,最后介绍录波启动装置的软硬件设计及测试优化,为提升电力系统故障处理能力提供参考。

**关键词:** 小波变换; 变电站; 母线电流; 暂态扰动识别; 录波启动装置

电力系统稳定运行是社会生产生活正常开展的重要保障,变电站作为电力系统的核心环节,其母线电流状态直接影响整体系统的安全性。母线电流暂态扰动若未被有效识别和记录,可能导致故障扩大,造成巨大经济损失。传统识别方法在处理非平稳的暂态信号时存在局限,而小波变换在非平稳信号分析中展现出独特优势。本文围绕基于小波变换的变电站母线电流暂态扰动识别与录波启动装置展开综述,旨在为相关技术发展提供借鉴。

## 1 小波变换理论基础

小波变换是一种新兴的信号处理方法,它打破了傅里叶变换在时间和频率分辨率上的局限,能够同时在时间域和频率域对信号进行多尺度分析。其核心思想是通过将信号与一系列具有不同尺度和位移的小波函数进行内积运算,来获取信号在不同时间和频率范围内的特征信息。小波函数具有良好的局部化特性,这使得它能够精准捕捉信号中的突变部分,非常适合处理像变电站母线电流暂态扰动这类包含瞬时变化的非平稳信号。在实际应用中,小波变换可以通过连续小波变换和离散小波变换两种形式实现,连续小波变换能提供更精细的分析结果,离散小波变换则更便于工程上的计算和实现<sup>[1]</sup>。通过小波变换对信号进行分解,可以将复杂的信号分解到不同的频率通道中,每个通道对应着特定频率范围的信号成分。这种多分辨率分析能力让工作人员能够清晰地分辨出信号中的暂态扰动成分与正常成分,为后续的扰动识别提供了有力的技术支持。

## 2 变电站母线电流暂态扰动分析

### 2.1 母线电流暂态扰动类型及产生原因

变电站母线电流暂态扰动类型多样,常见的有短路故障引发的扰动,当线路发生相间短路或接地短路时,

故障点会产生巨大的短路电流,导致母线电流在短时间内急剧增大,形成强烈的暂态扰动。雷击也是造成暂态扰动的重要原因,雷电击中输电线路或变电站设备时,会在线路中产生幅值极高、上升速度极快的冲击电流,该电流通过线路传播至母线,引发母线电流的暂态变化<sup>[2]</sup>。此外,变压器的投切过程也会导致母线电流暂态扰动,变压器在合闸瞬间,由于铁芯的磁饱和等原因,会产生较大的励磁涌流,使得母线电流出现瞬时波动。电力电子设备的开关操作同样会引发暂态扰动,这类设备在工作过程中频繁的开关动作会产生谐波和暂态脉冲,影响母线电流的稳定。

### 2.2 母线电流暂态扰动信号特征

不同类型的母线电流暂态扰动信号具有各自独特的特征。短路故障引发的扰动信号通常具有幅值大、变化迅速的特点,在故障发生瞬间,电流幅值会急剧上升到远超正常运行值的水平,且信号中含有丰富的高频分量。雷击导致的扰动信号上升沿极为陡峭,幅值可达数千安培,持续时间较短,一般在微秒至毫秒级别,同时伴随有明显的高频振荡成分。变压器投切产生的励磁涌流信号具有幅值较大、含有直流分量和偶次谐波的特征,其波形呈现出周期性的波动,且波动幅度逐渐衰减。电力电子设备开关操作引发的扰动信号则表现为一系列的脉冲信号,脉冲宽度较窄,含有大量的高次谐波,使得信号的频谱分布较为复杂。

### 2.3 母线电流暂态扰动信号的获取与预处理

母线电流暂态扰动信号的获取主要依靠安装在变电站母线上的电流传感器,常用的传感器有霍尔电流传感器和罗氏线圈等。霍尔电流传感器具有响应速度快、测量范围广的优点,能够准确捕捉快速变化的暂态电流信

号；罗氏线圈则适用于测量大电流信号，具有良好的线性度和频响特性。获取到的信号往往会受到各种噪声的干扰，这些噪声主要来自于电力系统中的电磁干扰、传感器本身的噪声以及传输过程中的干扰等。因此，需要对信号进行预处理，以提高信号的质量。预处理的主要方法包括滤波和去噪，滤波可以采用数字滤波器，如低通滤波器、高通滤波器和带通滤波器等，根据扰动信号的频率特征选择合适的滤波器，去除无关的频率成分。去噪则可以采用小波阈值去噪方法，通过对小波分解后的系数进行阈值处理，抑制噪声对应的系数，保留有用信号的系数，再经过小波重构得到去噪后的信号<sup>[3]</sup>。

### 3 基于小波变换的母线电流暂态扰动识别方法

#### 3.1 小波变换在扰动特征提取中的应用

小波变换在母线电流暂态扰动特征提取中发挥着关键作用。通过对预处理后的暂态扰动信号进行小波分解，能够将信号分解到不同的尺度上，每个尺度对应着不同的频率范围。在低频尺度上，可以得到信号的趋势成分，反映了电流的整体变化情况；在高频尺度上，则能够捕捉到信号中的暂态突变和低频振荡成分，这些成分正是暂态扰动的重要特征。通过分析不同尺度下的小波系数，可以提取出扰动信号的幅值、频率、上升时间、持续时间等特征参数。例如，对于短路故障信号，在高频尺度上的小波系数幅值会显著增大，且对应的频率成分较为丰富；对于雷击信号，其在高频尺度上的小波系数具有陡峭的上升沿和较大的幅值。这些提取到的特征参数为后续的扰动识别提供了可靠的依据，使得不同类型的暂态扰动能够被准确区分。

#### 3.2 扰动识别算法设计

基于小波变换提取的特征参数，设计有效的扰动识别算法是实现准确识别的关键。算法的设计过程主要包括特征选择、分类器设计和决策规则制定三个步骤。特征选择是从提取到的众多特征参数中挑选出最能反映不同扰动类型差异的特征，以减少计算量并提高识别准确率。可以采用相关性分析、主成分分析等方法进行特征选择，筛选出与扰动类型密切相关的特征参数。分类器设计是根据选定的特征参数构建能够对不同扰动类型进行分类的模型。常用的分类器有支持向量机、神经网络和决策树等。支持向量机具有良好的泛化能力，能够在小样本情况下取得较好的分类效果；神经网络通过模拟人脑的神经元连接方式，具有强大的非线性映射能力，能够处理复杂的特征关系；决策树则具有直观易懂、计算速度快的优点，便于工程实现。决策规则制定是根据分类器的输出结果确定扰动类型，当分类器输出的某一

扰动类型的概率或隶属度超过设定的阈值时，判定为该类型的扰动<sup>[4]</sup>。同时，为了提高算法的可靠性，还可以引入多分类器融合技术，将多个分类器的识别结果进行综合判断，减少单一分类器的误判率。

#### 3.3 算法性能评估与验证

算法性能评估与验证是确保扰动识别算法有效性的重要环节。评估指标主要包括识别准确率、误判率、漏判率和识别速度等。识别准确率是指正确识别的扰动样本数与总样本数的比值，反映了算法的识别能力；误判率是指将一种扰动类型错误地识别为另一种扰动类型的样本数与总样本数的比值；漏判率是指未被识别出的扰动样本数与总样本数的比值；识别速度则是指算法处理一个样本所需的时间，直接影响算法的实时性。为了验证算法的性能，需要构建包含不同类型、不同强度暂态扰动信号的样本集，样本集的数量和多样性应尽可能覆盖实际运行中可能出现的情况。通过将算法应用于样本集，计算各项评估指标，并与其他传统识别算法进行对比分析，以验证算法的优越性。

## 4 基于小波变换的录波启动装置设计

### 4.1 录波启动装置的功能需求分析

录波启动装置是变电站母线电流暂态扰动监测系统的重要组成部分，其主要功能是在检测到暂态扰动时，能够快速、准确地启动录波功能，记录扰动发生前后的电流信号，为故障分析和处理提供原始数据。具体功能需求包括：具备高灵敏度的扰动检测能力，能够捕捉到微小的暂态扰动信号，避免漏录；具有快速的响应速度，从扰动发生到启动录波的时间应尽可能短，确保记录到完整的扰动过程；能够准确区分暂态扰动与正常的电流波动，避免误启动录波，减少无效数据的存储；具备大容量的数据存储能力，能够存储足够长时间的录波数据；具有良好的通信功能，能够将录波数据及时上传至监控中心，便于工作人员远程查看和分析。

### 4.2 录波启动装置的硬件设计

录波启动装置的硬件设计主要包括信号采集模块、数据处理模块、存储模块、通信模块和电源模块等部分。信号采集模块负责将母线电流信号转换为可处理的电信号，采用高精度的电流传感器和信号调理电路，确保采集到的信号准确、稳定。信号调理电路包括滤波、放大和隔离等环节，对传感器输出的信号进行处理，使其满足数据处理模块的输入要求。数据处理模块是装置的核心，采用高性能的微处理器或数字信号处理器（DSP），负责对采集到的信号进行小波变换、特征提取和扰动识别等运算。DSP具有强大的运算能力和并行

处理能力,能够快速完成复杂的信号处理任务,保证装置的实时性。存储模块用于存储录波数据和程序代码,采用大容量的闪存或硬盘,确保能够存储大量的录波数据,同时具备数据掉电保护功能,防止数据丢失。通信模块实现装置与监控中心的信息交互,可采用以太网、光纤或无线通信等方式,具备高速的数据传输能力,确保录波数据能够及时上传<sup>[5]</sup>。电源模块为装置各部分提供稳定的电源,采用宽电压输入设计,适应变电站不同的电源环境,并具备过压、过流保护功能,提高装置的可靠性。

#### 4.3 录波启动装置的软件设计

录波启动装置的软件设计主要包括主程序、信号处理程序、扰动识别程序、录波控制程序和通信程序等模块。主程序负责统筹各模块的工作,实现装置的初始化、任务调度和系统监控等功能。在装置启动后,主程序首先对各硬件模块进行初始化设置,然后按照设定的周期调度各任务模块运行,同时监测系统的运行状态,如出现异常情况及时进行处理。信号处理程序完成对采集到的电流信号的预处理和小波变换等操作。预处理包括滤波、去噪等,去除信号中的噪声干扰;小波变换则对预处理后的信号进行多尺度分解,提取信号的特征参数。扰动识别程序根据信号处理程序提取的特征参数,运用设计的识别算法对扰动类型进行判断,并确定是否启动录波功能。当识别到暂态扰动时,向录波控制程序发出启动指令。录波控制程序在接收到启动指令后,控制存储模块开始记录电流信号,同时记录扰动发生的时间、类型等信息。录波过程中,实时监测存储空间,当存储空间不足时,按照设定的策略进行数据覆盖或报警。通信程序实现装置与监控中心的数据传输,包括定时上传装置的运行状态信息和在录波完成后上传录波数据。通信程序应具备数据校验和重传机制,确保数据传输的可靠性。

#### 4.4 录波启动装置的测试与优化

录波启动装置的测试包括实验室测试和现场测试两个阶段。实验室测试主要是在模拟的变电站环境中,通过信号发生器产生不同类型、不同参数的暂态扰动信号,接入装置进行测试。测试内容包括装置的扰动检测

灵敏度、启动时间、识别准确率、数据存储完整性和通信可靠性等。在实验室测试中,通过改变扰动信号的幅值、频率、持续时间等参数,观察装置的响应情况,记录各项测试数据,并与设计指标进行对比分析。对于不满足要求的部分,找出原因并进行调整。现场测试是将装置安装在实际的变电站母线上,进行长期的运行测试。在现场测试过程中,记录装置在真实运行环境下的表现,包括对实际发生的暂态扰动的识别和录波情况,以及装置的稳定性和抗干扰能力等<sup>[6]</sup>。根据实验室测试和现场测试的结果,对装置进行优化。硬件方面,可根据测试情况对传感器的选型、电路的参数等进行调整,提高装置的性能;软件方面,可对信号处理算法、扰动识别算法和录波控制逻辑等进行优化,提高识别准确率和响应速度,减少误启动和漏启动的情况。

#### 结论

本文综述了基于小波变换的变电站母线电流暂态扰动识别与录波启动装置。小波变换为暂态扰动信号的分析提供了有效手段,通过其提取的特征参数可实现准确识别。录波启动装置的软硬件设计及测试优化,确保了在扰动发生时能及时、可靠地录波。该研究为电力系统中暂态扰动的处理提供了有力支持,未来可进一步优化算法和装置性能,以适应更复杂的电力系统运行环境。

#### 参考文献

- [1]杨卫东.基于小波神经网络的变电站二次设备故障自动诊断方法[J].自动化应用,2025,66(2):194-196,199.
- [2]黄家丰,苏毅,芦宇峰.基于小波变换的变电站变压器局部放电自动检测方法[J].广西电力,2021,44(4):31-37,43.
- [3]徐强,毛西吟,吴望冰,等.基于小波变换的变电站放电噪声抑制研究[J].自动化技术与应用,2024,43(9):25-29.
- [4]卫斌.基于小波变换的35kV变电站运行状态异常自动辨识方法[J].电气技术与经济,2024(9):325-327.
- [5]王欣,张恭源.基于小波变换的35kV变电站供10kV电炉变压器负荷保护检测方法[J].工业加热,2024,53(6):80-84.
- [6]向晋平.基于改进递归小波的智慧变电站继电器误动检测方法研究[J].科技资讯,2024,22(20):129-131.