

基于小波分析方法检测电网信息故障的研究

窦国贤, 高 杨

(安徽继远软件有限公司, 安徽 六安 230088)

摘要: 针对电网信息分析和数据处理复杂的问题, 提出了使用小波变换的分析方法进行电网故障信息诊断, 并实现电网信息的远程监控; 通过传感器组件采集电网信息系统各个部件的故障数据, 并将传感器感测的现场数据传递到工业计算机, 然后构建小波分析模型, 对电网故障信息进行提取, 实现故障特征的进一步细化; 试验表明, 用户能够通过 LABVIEW 软件实现电网信息系统的故障分析、波形显示、频率测试、谐波检测、报表生成等。

关键词: 电网信息; 故障检测; 小波分析; 无线网络; 远程监控

Research on Detecting Grid Information Fault Based on Wavelet Analysis

Dou Guoxian, Gao Yang

(Anhui Jiyuan Software Co., Ltd., Liu'an 230088, China)

Abstract: Aiming at the complicated problem of grid information analysis and data processing, this paper proposes an analysis method using wavelet transform to diagnose grid fault information and realize remote monitoring of grid information. The fault data of each component of the grid information system is collected by the sensor component, and the field data sensed by the sensor is transmitted to the industrial computer, and then the wavelet analysis model is constructed, and the grid fault information is extracted to further refine the fault feature. Tests show that users can realize fault analysis, waveform display, frequency test, harmonic detection, report generation, etc. of grid information system through LabVIEW software.

Keywords: grid information; fault detection; wavelet analysis; wireless network; remote monitoring

0 引言

随着电力、电网技术的飞速发展, 电网信息系统的应用更加广泛, 其稳定运行关系到电网的良性运行以及用电用户的切身利益^[1-3]。在电力系统中, 引起故障的因素包罗万象, 故障分析已经成为电网调度中心的必备工作^[4-6]。在对电网信息故障情况进行评估时, 对故障元件及故障线路进行及时、有效地判别和切除是调控运行电网的关键环节。完整、及时、有效地获取电力电网线上的故障信息是及时诊断电网故障、保障电网顺利进行的主要方式^[7-9]。在传统方法中, 比如在有些电力线对人身安全造成潜在威胁的地方, 如果采用常规的方式进行直接检测, 就难以保障用户的安全, 常规技术对电力信号的分析也存在一定的局限性。

因此, 在进行故障信息分析与研究时, 需要采用新型的检测方法来克服现有技术的不足。本文通过数据算法得出信号的无噪声时域和频域数据^[10-12]。利用时、频域数据进行特征提取和分析, 得出设备的运行状态和潜在故障信息, 并且将能够得出的数据进行远距离传输, 从而实现了对电网信息数据的深层分析与远程监控, 下面将详细描述。

1 总体架构设计

在本研究设计中, 主要包括数据采集单元、工业计算

机、计算单元、数据传输单元、远程无线通讯、中央控制室等, 如图 1 所示。本研究通过工业计算机接收传感器组件的感测信息, 在检测故障信息时, 故障来源于包含电网信息系统中的绝缘子、导线、杆塔等, 传感器组件包括但不限于温湿度传感器、风速传感器、风向传感器、雨量传感器、日照传感器、压力传感器、风偏角传感器、泄露电流传感器、振动传感器、压力传感器、温度传感器等。通过这些传感器能够检测不同的数据信息, 全面反映电网信息系统故障情况^[14]。

在本系统设计中, 工业计算机通过数据采集单元进行数据采集。数据采集单元在设计时采用高速数据采集卡, 其连接有网卡以及 GBH 接口卡。采集单元还包含有电压隔离转换单元、电流隔离转换单元以及信号调理电路。通过信号调理电路调理过高的电压、电流, 使得数据采集单元在采集数据时, 能够采集比较宽的数据范围。采集卡具有多个模拟量输入通道, 能够快速采集数据, 分辨率高。然后通过工业计算机对所采集到的数据进行处理, 通过电压互感器、电流互感器对获取的信号进行隔离变换后, 再通过信号调理电路和 A/D 转换单元转换后送入工业计算机, 工业计算机能够通过工业控制对检测到的数据进行综合管理。通常, 工业计算机利用 RS232 或者 RS485 标准串行口来获取外部数据, 通过其内部的高速处理器来计算获得的数据, 然后通过显示屏显示数据, 或者再通过 RS232 或者 RS485 标准串行口进行输出, 在通过故障诊断单元对所获得数据进行诊断。本文采用小波分析算法对所获得数据进行计算, 借助于虚拟仪器 LabVIEW 软件平台对检测到的故

收稿日期: 2019-10-10; 修回日期: 2020-03-20。

基金项目: 安徽省级基金项目(5230JY18000H)。

作者简介: 窦国贤(1976-), 男, 安徽霍邱人, 工程师, 主要从事电力行业信息通信运维方向的研究。

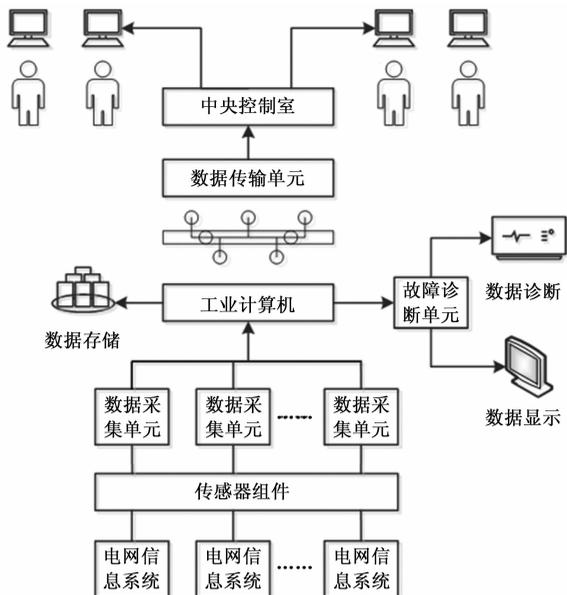


图 1 检测系统结构图

障数据进行分析 and 显示。检测到的数据还可以通过数据传输单元将采集到的数据传递到中央控制室内，数据传输单元可以通过 ZigBee 无线网络或者 GPRS/CDMA 无线通讯的方式实现数据传输。在中央控制室内，实现电网信息数据的远程监控和管理。

2 故障检测方法

电网信息系统故障是指设备不能按照预期的指标进行工作的一种状态，诸如发电机组故障、输电线路故障、变电所故障、母线故障等^[15]。电网信息系统包含有多个电力组件，各个电力组件比如发电机、变压器、母线、输配电线路及用电设备通常会受异常因素的影响，直接或者间接地影响电力电网线路的稳定、可靠运行，一旦发生电力系统故障，容易造成大面积电力弹簧或者停电事故，输电线路中存在的故障包含有雷击跳闸故障、外力破坏故障、鸟害故障、线路覆冰、导线的断股、损伤和闪络烧伤故障等多种形式，如果通过信号分析发现电网信息系统故障或异常，并能够快速做出故障信息诊断，并将诊断信息传递到调度中心，是本文要解决的问题。

2.1 小波分析方法

为了获得输出信号时间和频率之间的相互关系。常用傅立叶变换来分析信息，其能够提供有关频率域的信息，但在使用过程中，往往会丢失关于时间的局部化信息。本文引用与傅立叶变换不同的小波变换方式，其是通过缩放母小波 (Mother wavelet) 的宽度来输出各种信号的频率特征，通过平移母小波输出不同信号的时间信息。通过对母小波的缩放和平移操作，能够计算小波系数，这些不同的小波系数能够反映小波和局部信号之间的相关程度。其采用的理论依据如图 2 所示。

小波分析方法是把信号窗口面积固定，同时改变形状、时间窗和频率窗以进行局域化分析，在小波变换时，在低

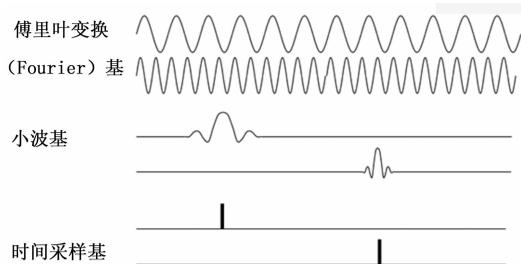


图 2 故障信息小波变换信号理论依据

频区段可以具有较高的频率分辨率和较低的时间分辨率，在高频区段具有较高的时间分辨率和较低的分辨率。通过利用小波分析，能够发现隐藏于电网信息系统数据之中的故障信号，分析无法用肉眼识别的深层信息，小波变换可以对电网信息系统实施局部分析，在任意的时间域或空间域中对信号进行分析，这对于考量电网信息系统的稳定性非常重要。小波变换公式为：

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * e^{-i\omega t} d(t) \tag{1}$$

转换为：

$$WT(\alpha, \tau) = \frac{1}{\sqrt{\alpha}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) * \varphi(t - \frac{\tau}{\alpha}) d(t) \tag{2}$$

在上述公式中，定义频率为 ω ，小波变换的两个变量定义为尺度 (用 α 表示) 和平移量 (用 τ 示)。在上述公式中，尺度 α 用于控制小波函数的伸缩，平移量 τ 用于控制故障信号小波函数的平移。在上述公式中，伸缩因子作用不同，其生成的频率成分也不同，其变换图可表示为如图 3~5 所示，其中横坐标表示时间 t ，纵坐标表示频率 f (Hz)：

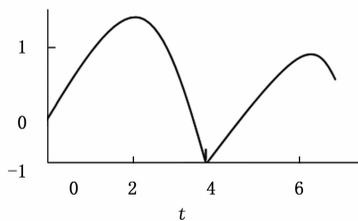


图 3 故障信息正弦信号

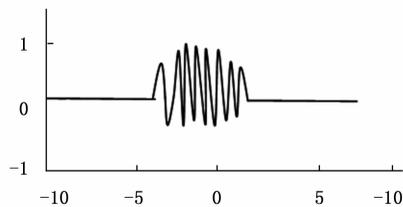


图 4 故障信息小波变换信号

其中，在进行故障信息分析时，需要提取小波分解系数特征的频率信号，在求出小波分解后，对于频带中的各个层重构系数进行均方根 (RMS) 求值，均方根公式见式 (3) 所示。

$$X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N \sum_{i=1}^N x_i^2}} \tag{3}$$

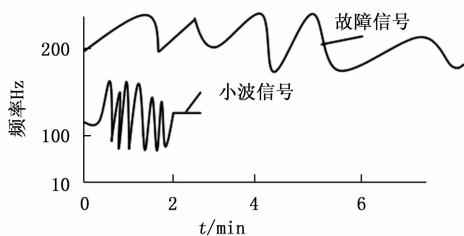


图 5 故障信息正弦信号

通过式 (3)，能够更精确地反映信号的能量大小，比如 x_1, x_2, \dots, x_N 为信号 $x_s(t)$ 的采样数据，则可利用上述式 (3) 计算出均方根值。

利用小波多分辨分析能够基于函数概念构造数学正交基，使故障信号的空间尺度与小波信号的空间尺度能够相互正交，当故障信号的尺度从大变化到小时，可从更精细的尺度上观察故障信息。其原理示意图如图 6 所示。

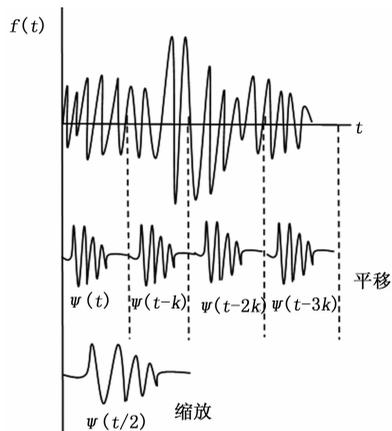


图 6 小波多分辨分析的原理图

通过上述分析，可以更详细地分析故障数据。下面建立小波分解树，进一步说明故障信息的分析原理，在采集到的故障信号中，将高频分量划分为细节分量，将频率分量划分为近似分量，如图 7 所示。

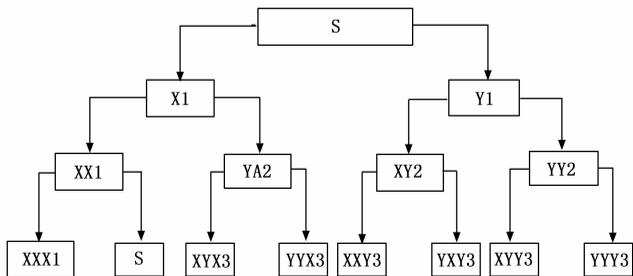


图 7 小波多分辨分析的原理图

通过对故障信号的瞬态信号或图像的突变点进行分析，能够获取其中包含的故障信息，使得用户更全面地获取电网信息的运行的情况。在利用小波变换分析时，通过使用小波基能够提取电力信号中的“指定时间”和“指定频率”的变化。其中所说的时间，是指提取信号中“指定时间”的变化。也可以解释为：小波在一端时间区域内发

生的小的波动。所说的频率包含有较低频率成分和较高频率成分，其中较低频率成分是指提取信号中时间的比较慢速变化，而较高频率成分是指提取信号中时间 B 的比较快速变化。

2.2 系统检测流程

基于上述分析，下面更详尽地介绍本系统的工作步骤。在本系统设计中，采用小波分析的方法实现所采集数据的故障检测，通过小波变换函数提取电网信息系统中的参数，通过传感器对电网信息系统运行中的温度、湿度、电流等进行数据采集与分析，数据采集单元自动实现电网信息系统的波形信号、信号峰值、信号阈值、脉冲方式、设备电源状态、设备运行温度、电压、负荷、绝缘状况、电流、设备的信息数据、设备信息故障内容、原因、预警值、设备变化等信息采集和获取。最终实现对检测信号、采集数据信息、数据处理结果的分析、评估等。参考图 8 所示。

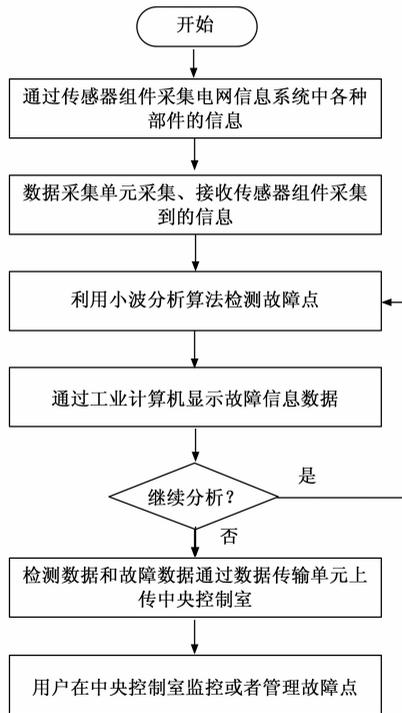


图 8 检测过程流程图示意图

在上述步骤中，检测的数据通过小波分析算法检测故障点，对线路中的故障点进行信息诊断，在诊断时，首选采集电网信息系统在 T 时刻时的信息，如图 9 所示，在不同的信息通道采集不同的信息，然后建立故障数据库存储故障信息数据，在不同的数据通道基于小波变换提取数据信息进行故障诊断。接着在 $T+t$ 时刻，根据所选择的不同通讯分支，提取线路上的潮流分布特征，同样利用小波变换采集故障信息，通过工业计算机显示故障数据，如果分析、显示的数据未能满足需求，则再次进行小波分析，如果分析、显示的数据满足用户需求，则将检测数据和故障数据通过数据传输单元上传至中央控制室，用户在中央控制室监控或者管理故障点，根据故障信息采取适当的措施。

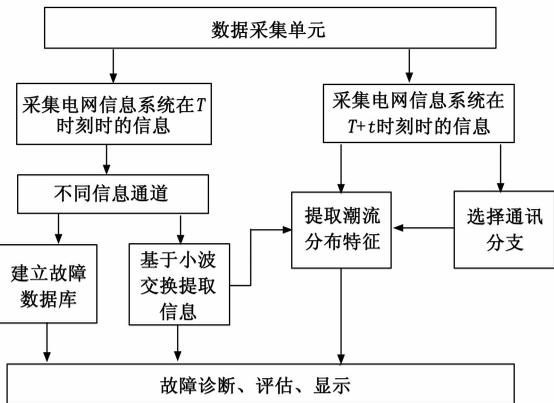


图 9 检测过程流程示意图

3 试验结果及分析

在试验时, 软件系统采用 ADO 方式的 C/S 架构设计, 信息管理系统的数据库系统采用 MSSQL2015, 在前台运行的程序在 Win98/Me 2015/XP 上进行。采用的系统软件是由图形化语言 LABVIEW 开发, 在 LABVIEW 软件上完成电网信息系统的信息采集、波形显示、频率测试、谐波检测故障判断以及报表生成等功能。在具体试验时, 以同步发电机为例, 检测同步电机在工作过程中故障数据。

在系统正常运行和非正常运行时, 将电网 A 相单相接地点信号和三相接地信号分别在正常运行和非正常运行状态下分析其电网信号, 利用小波分析方法对同步发电机的 A 相电压信号和 B 相电压信号、电流信号、谐波信号、振动信号、有功功率信号等进行分析, 基于篇幅限制, 现在仅仅对电流信号进行小波分解。图 10 为含有噪音的波形示意图, 图 11 未含有噪音的波形示意图。

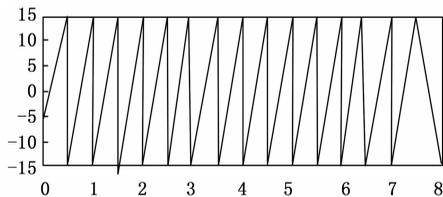


图 10 含有噪音的波形示意图

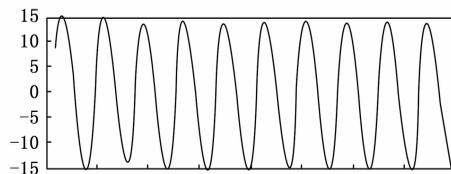


图 11 未含有噪音的波形示意图

根据图 10~11, 选择 Haar 小波进行分析的波形如图 12~图 15 所示, 其中图 12 为含有噪音的波形分析示意图。

然后对比图 13, 图 13 未含有噪音的波形示意图, 通过其波形可以看出噪音情况。

然后采用小波进行分析的波形如图 14 所示。

未含噪音的波形如图 15 所示。

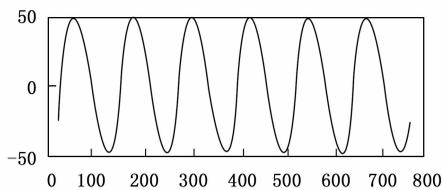


图 12 含有噪音的波形分析示意图

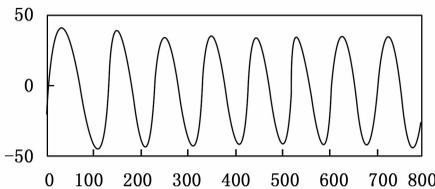


图 13 未含有噪音的波形示意图

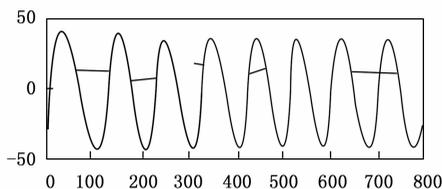


图 14 含有噪音的波形分析示意图

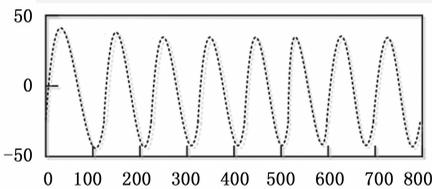


图 15 未含有噪音的波形示意图

当尺度因子 $s=2$ 时, 表示噪声没有完全被处理掉, 其波形轮廓能够基本可见。当 $s=6, 8$ 时, 虽然比较好地消除了噪声, 但是与原始信号的相位具有明显的差别。

通过上述试验, 分别采用两种不同的方法进行分析、试验。在采用传统方法和本研究设计的方法分别进行测试、对比, 得出如表 1 所示的数据。其中 A 表示采用传统方法进行测试的误差百分比 (%), B 表示采用本研究技术方案进行测试的误差百分比 (%)。

表 1 试验数据记录表

表型	电压/V	电流/A	功率/W	A	B
1#电机	111.21	9.81	987	10.27	1.91
2#电机	110.21	10.01	1292	14.86	0.82
3#电机	110.98	0.21	907	17.55	1.64
4#电机	111.31	10.11	1298	18.00	1.63
5#电机	110.01	10.81	942	14.36	0.27
6#电机	111.01	9.97	1241	11.36	0.82

通过上述试验可以看出, 采用本文设计的方案误差较小, 因此, 本文设计的方法有利于用户更加准确地分析、判断电网故障数据。

(下转第 57 页)