

基于原子分解的电力系统低频振荡信号分析

张吉岫

中国电力工程顾问集团东北电力设计院有限公司

摘要: 电力系统低频振荡分析方法是研究低频振荡产生机理和控制策略的基础。随着现代电力系统逐步复杂及动态设备和非线性理论等新技术与理论的迅速发展, 常规分析方法都突显出很多不足之处。因此, 有必要研究新的振荡分析方法, 从而更加有效地揭示互联系统的振荡机理。本文从分析的角度对低频振荡问题进行探讨, 提出了原子分解方法, 介绍了原子分解方法的原理及其在信号处理领域的优势, 详细说明了在计算中原子库的选取以及运用。最后对原子分解方法进行了验证, 证明其在电力系统低频振荡分析中的可行性。

关键词: MATLAB电力系统; 低频振荡; 原子分解; 原子库

一、衰减正弦量原子分解及其MATLAB实现

(一) 模型的选取

为了能够准确的对低频振荡信号进行分析和处理, 建立能够正确反映低频振荡信号特性的信号模型显得尤为重要。这时我们更加关心的是低频振荡信号的特性, 比如其幅值、相位、起始时间、终止时间及频率等。

对于线性电力系统模型, 信号通常用衰减的正弦量模型来表示, 但这时还需要考虑到如开关动作等导致的非连续分量。鉴于以上的分析, 电力系统中常用如下的信号模型来表示电力系统低频振荡信号:

$$f(t) = \sum_{q=0}^{Q-1} A_q \cos(2\pi f_q t + \phi_q) e^{-\rho_q(t-t_{sq})} \times [u(t-t_{sq}) - u(t-t_{eq})] \quad (1-1)$$

其中, A_q 为衰减正弦量的幅值, f_q 为频率, ρ_q 为衰减系数, ϕ_q 为相位, t_{sq} 和 t_{eq} 分别为衰减正弦量的起始时间和终止时间, $u(t)$ 为单位阶跃函数。

衰减正弦量模型中每一衰减分量都有固定的时间支撑区且包含6个参数 ($A_q, f_q, \rho_q, \phi_q, t_{sq}, t_{eq}$)。在信号的分解中, 只要得到了相关参数, 便可以得到信号参数化的解析表示。

式(1-1)的模型与Prony分析中的模型相似, 但Prony分析中并未考虑到各分量可能具有不同起始和终止时间。因此这里的信号模型相对于Prony分析增加了时间量定位功能, 这也是这种信号模型的优越之处。

(二) Gabor原子和衰减正弦量原子的比较

原子分解中广泛应用的Gabor过完备原子库, 但基于MP算法的Gabor原子在电力系统中的简单应用意义不大。电力系统中的信号往往具有衰减的性质, 而Gabor原子波形是左右对称的。由此得到的最佳原子并不具有实际的物理意义, 而衰减正弦量原子更适于对电力系统信号进行分析。

(三) MATLAB程序设计

在上述理论研究的背景下, 本文以MATLAB软件为平台, 开发了基于衰减正弦量的原子分解方法MATLAB程序。

在程序流程的设计上, 先对信号进行MP算法, 寻求到最佳到衰减正弦量原子。随后依次进行最佳时间支撑区的求取, 频率的量化以及相应的条件判别。每一模块对应相应的功能。

二、针对电力系统低频振荡信号的算法应用

针对上述电力系统低频振荡信号的主要成分为衰减正弦量的特性, 首先按MP算法从原始信号中提取出与原始信号具有相同时间支集的特定工频正弦量原子, 得到残余信号。然后计算残余信号的能量作为初始残余能量, 再对残余信号进行原子分解迭代计算。迭代结束的条件以当前残余能量低于初始残余能量的阈值为条件。

三、基于原子分解的低频振荡算例分析

假设一低频振荡信号具有如式3-1的已知表达式:

$$y(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} e^{-0.27t} \cos(2 \times 0.4230 \times \pi \times t) \quad (3-1)$$

衰减振荡信号参数如表3-1:

表3-1 衰减振荡信号的参数

幅值/V	频率/Hz	阻尼比	相位/rad	起始时间/s	终止时间/s
0.707	0.4230	0.102	0	0	13.6341

低频振荡波形的原子分解及其重构波形如图3-1所示。由图可以看出, 程序在执行时形成了衰减正弦量的原子库, 并在其中寻到最佳原子。再进行了67次迭代分解, 得到了残余信号的波形图和原子重构信号。

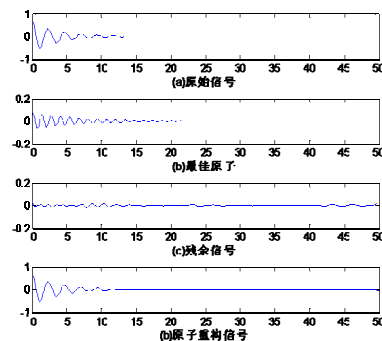


图3-1 低频振荡信号的原子分解和重构波形

低频振荡信号的原子参数如表3-2所示:

表3-2 衰减振荡信号的原原子参数

幅值/V	频率/Hz	阻尼比	相位/rad	起始时间/s	终止时间/s
0.695	0.4245	0.102	0.015	0	13.8861

比较表3-1和表3-2比较得出结论: 通过原子分解方法对信号进行分析, 得到的重构信号与原信号的参数误差较小。衰减正弦量原子赋予原子参数更明确的物理意义, 使其适合电力系统低频振荡应用。

算例分析结果表明: 基于衰减正弦量原子分解可建立电力系统低频振荡信号参数化解析表示, 获得振荡参数和振荡起止时刻等特征信息, 对低频振荡具有良好的分析效果。

四、结论

本文提出了基于原子分解的电力系统低频振荡算法, 克服了原有分析中未考虑到各分量可能具有不同起始和终止时间的缺点, 拓展了算法的应用领域。应用原子分解方法提取的特征量可方便的用于专家系统或其他分类器对电力系统低频振荡信号进行归类。目前计算量大是影响该算法在工程领域应用的主要障碍。在今后的研究工作中, 可将各种优化应用到算法当中, 使计算量大为减少, 算法使用的范围更加广阔。

参考文献

- [1] 张叔畔, 康健, 李小平. 抑制鄂西电网低频振荡的实验研究[J]. 湖北电力. 2002年8月, 第26卷第4期.
- [2] 郭庆阳, 李清贤, 王文杰. 哈三电厂3号机发生低频振荡的原因及应急方法[J]. 大电机技术. 2002(5): 6-8.
- [3] 徐东杰. 互联电力系统低频振荡分析方法与控制策略的研究[D]. 华北电力大学博士学位论文, 2004.

作者简介:

张吉岫, 男, 工程师, 从事火力发电厂电气设计工作。