

基于窗口滑动改进 Prony 算法的电力系统低频振荡识别

丁 蓝¹, 薛安成¹, 李 津¹, 王金萍², 韩福坤³, 王茂海³

(1. 华北电力大学电力系统保护与动态安全监控教育部重点实验室, 北京市 102206;
2. 华北电力科学研究院, 北京市 100045; 3. 华北电力调度通信中心, 北京市 100053)

摘要: Prony 算法是获取电力系统低频振荡信息的有效方法。针对传统 Prony 方法只能选取局部信号进行分析且对噪声敏感的问题,提出了固定窗长滑动的改进措施,进而应用于电力系统低频振荡识别中。与传统方法相比,改进的 Prony 方法通过对信号采取滑动窗口处理,即将拟合目标函数由局部误差平方最小变为分窗口误差平方和最小,从而能够计及较长时间内的误差平均效应,因而具有抗噪声能力强、不受信号长度影响的特点。基于 DSATools 的仿真分析证实了窗口滑动的改进 Prony 算法能有效识别低频振荡模式,并且该方法在含噪声环境下仍然能够保持较高的准确性。
关键词: 低频振荡; Prony 方法; 窗口滑动; 噪声; 误差

0 引言

电力系统低频振荡是制约区域功率传递的重要因素,成为威胁电网安全稳定运行的因素之一。研究低频振荡的方法主要包括小信号稳定分析方法^[1]和信号分析两大类。小信号分析方法可获得详细的低频振荡信息,但存在大电网“维数灾”和诸如负荷等不确定因素所导致的模型不准确等问题;另一方面,基于同步相量测量技术的广域测量系统(WAMS)的快速发展,为利用信号分析方法从实测轨迹中提取振荡信息提供了基础^[2-5]。在信号分析方法中,傅里叶变换、小波变换等虽然应用广泛,但很难提取信号的衰减特征;而 Prony 算法利用指数项的线性组合来拟合等间隔采样数据,能够直接获取信号的频率、衰减、幅值和相位,在低频振荡分析中具有优越性^[6-7]。

然而,实际应用中,由于采集数据的精度等问题,Prony 方法存在阶数选取^[8]和对噪声敏感 2 个主要问题。针对阶数选取问题,文献[9]提出在初始较大阶数中按照最小平方逼近的原则确定最优子集的方法;文献[10-11]提出基于奇异值分解的阶数确定方法。针对噪声对低频振荡模式识别的影响,文献[11-14]分别提出了基于有限脉冲响应(finite

impulse response,FIR)低通滤波、模糊滤波,小波预处理的去噪声方法;文献[15]提出了改进多信号的 Prony 算法。上述改进提高了 Prony 方法的分析精度。然而,值得注意的是,在采样数据点较多时,上述改进方法只选择部分信号进行分析,未能充分利用采样信息。因此,尚有大量的工作需进一步完善。
另一方面,文献[16]利用含高斯白噪声的信号测试,证实了窗口滑动技术在求解复极点模型时能更加准确地区分真实信号与噪声,明显地降低噪声对信号极点的影响。同时,分窗口处理技术能够有效地利用数据。有鉴于此,本文提出基于窗口长度固定的滑动技术的改进的 Prony 方法,并用于低频振荡识别。由于对信号采用了窗口滑动处理,目标函数由局部误差平方最小变成了分窗口的误差平方和最小,因此对噪声有较强的适应能力。与传统 Prony 算法相比,改进 Prony 方法能够充分利用有效信号,抗噪声能力强,而且不受信号长度的影响,能够应用于相量测量单元(PMU)实测信号的低频振荡分析。

1 基于窗口滑动的改进 Prony 算法

Prony 方法采用 p 个指数项的线性组合来拟合等采样数据,其离散时间表达式^[10]为:

$$\hat{y}(n) = \sum_{k=1}^p a_k z^n \quad n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

式中: $\hat{y}(n)$ 为测量数据 $y(n)$ 的近似值;

$$a_k = A_k e^{j\theta_k} \quad (2)$$

$$z_k = e^{(\alpha_k + j2\pi f_k)\Delta t} \quad (3)$$

$A_k, \theta_k, \alpha_k, f_k$ 分别为振荡幅值、相位、衰减因子和频率; Δt 为采样间隔; p 为阶数。

收稿日期: 2010-05-24; 修回日期: 2010-08-15。
国家自然科学基金资助项目(50707035, 50920105705, 50837002);国家重点基础研究发展计划(973 计划)资助项目(2009CB219704);高等学校学科创新引智计划(“111”计划)(B08013);华北电力大学博士基金资助项目(200822003)。

令 M 为每次滑动窗口的长度, i 为滑动次数, m 为滑动总次数(为保证对于有效信号的完全适用,所以相邻的滑动之间至少存在长度为 $M-p$ 的重复数据),以每次滑动 p 个采样点为例。

定义 $\hat{y}^{(i)}(n)$ 为第 i 次窗口滑动时 $y^{(i)}(n)$ 的近似值, $i=1,2,\dots,m$,

$$\hat{y}^{(i)}(n) = \hat{y}[n + (i-1)p] \quad n = 0, 1, \dots, M-1 \quad (4)$$

$$y^{(i)}(n) = y[n + (i-1)p] \quad n = 0, 1, \dots, M-1 \quad (5)$$

对式(4)进行 z 变换^[12],可表示为:

$$\hat{Y}^{(i)}(z) = \frac{C^{(i)}(z)}{B^{(i)}(z)} \quad (6)$$

式中:

$$B^{(i)}(z) = \prod_{k=1}^p (1 - e^s_k z^{-1}) = 1 + \sum_{k=1}^p b_k^{(i)} z^{-k} \quad (7)$$

$$C^{(i)}(z) = \sum_{k=0}^{p-1} c_k^{(i)} z^{-k} + \sum_{k=0}^{p-1} c_{M+k}^{(i)} z^{-(M+k)} \quad (8)$$

由式(6)可得:

$$\hat{y}^{(i)}(n) b_n^{(i)} = c_n^{(i)} \quad (9)$$

由式(8)可知系数 $c_p^{(i)}, c_{p+1}^{(i)}, \dots, c_{M-1}^{(i)}$ 为 0,故

$$\sum_{k=0}^p \hat{y}^{(i)}(n-k) b_k^{(i)} = 0 \quad n = p, p+1, \dots, M-1 \quad (10)$$

注意到式(7)中 $b_k^{(i)}$ 不随窗口滑动而发生改变,由式(10)可得:

$$\hat{y}^{(i)}(n) = - \sum_{k=1}^p b_k \hat{y}^{(i)}(n-k) \quad n = p, p+1, \dots, M-1 \quad (11)$$

进一步,根据文献[10]中对误差的处理可得:

$$y^{(i)}(n) = - \sum_{k=1}^p b_k \hat{y}^{(i)}(n-k) + \epsilon^{(i)}(n) \quad n = p, p+1, \dots, M-1 \quad (12)$$

为了使 $\sum_{i=1}^m \sum_{n=p}^{M-1} |\epsilon^{(i)}(n)|^2$ 最小化等价于由式(11)构造的代价函数 $J(b) = \sum_{i=1}^m \sum_{n=p}^{M-1} \left| \sum_{j=0}^p b_j y^{(i)}(n-j) \right|^2$

最小化,令 $\frac{\partial J(b)}{\partial b_k} = 0, k=1,2,\dots,p$,并定义 $b_0 = 1$,

即

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^p b_j \left[\sum_{n=p}^{M-1} y^{(i)}(n-j) y^{(i)}(n-k) \right] = 0 \quad (13)$$

则令:

$$R(k, j) = \sum_{i=1}^m \sum_{n=p}^{M-1} y^{(i)}(n-j) y^{(i)}(n-k) \quad (14)$$

式中: $k, j=0,1,\dots,p; i=1,2,\dots,m$ 。

根据式(13)、式(14)可得窗口滑动 Prony 方法的方程为:

$$\begin{bmatrix} R(1,0) & R(1,1) & \cdots & R(1,p) \\ R(2,0) & R(2,1) & \cdots & R(2,p) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ R(p,0) & R(p,1) & \cdots & R(p,p) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ b_1 \\ \vdots \\ b_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

求解此方程可得到系数 $b_1, b_2, \dots, b_p$, 根据式(7)可以求出 $z_1, z_2, \dots, z_p$ 。再由式(1)可得:

$$\begin{bmatrix} z_1^0 & z_2^0 & \cdots & z_p^0 \\ z_1^1 & z_2^1 & \cdots & z_p^1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ z_1^{M-1} & z_2^{M-1} & \cdots & z_p^{M-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1^{(1)} & a_1^{(2)} & \cdots & a_1^{(m)} \\ a_2^{(1)} & a_2^{(2)} & \cdots & a_2^{(m)} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_p^{(1)} & a_p^{(2)} & \cdots & a_p^{(m)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{y}^{(1)}(0) & \hat{y}^{(2)}(0) & \cdots & \hat{y}^{(m)}(0) \\ \hat{y}^{(1)}(1) & \hat{y}^{(2)}(1) & \cdots & \hat{y}^{(m)}(1) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ \hat{y}^{(1)}(M-1) & \hat{y}^{(2)}(M-1) & \cdots & \hat{y}^{(m)}(M-1) \end{bmatrix} \quad (16)$$

式中: $\hat{y}^{(i)}(n)$ 的前 p 项设为 $y^{(i)}(n)$ 的真实值,后 $M-p$ 项由前递推而来,

$$\hat{y}^{(i)}(n) = \begin{cases} y^{(i)}(n) & 0 \leq n \leq p-1 \\ - \sum_{k=1}^p b_k \hat{y}^{(i)}(n-k) & p \leq n \leq M-1 \end{cases}$$

$i=1,2,\dots,m$ 。

特别地,当 $m=1$ 时,为扩展 Prony 方法^[10],即计算过程中仅滑动 1 次。与扩展 Prony 方法相比,窗口滑动 Prony 方法对数据进行分窗处理,若使用 m 个窗口,每个窗口包含 p 个极点,则有 mp 个极点用以区分噪声与真实信号,因此可以提高算法准确度,并且不会受数据长度影响。

2 窗口滑动 Prony 方法实用化问题

应用窗口滑动 Prony 方法,需要处理如下 4 个问题:采样频率;滑动窗长的选择;阶数和滑动次数的确定;振荡信息量的计算。上述问题处理如下:

1) 采样频率 f_s 过低容易导致频谱混叠,过高则易造成运算速度降低,甚至参数估计精度下降。低频振荡关注频率为 0.1 Hz~2.5 Hz,所以一般取 1.0 Hz。

2) 滑动窗长的选择直接关系到每次所包含的有效信息^[16],试验表明窗长选取 5 s~8 s 较合理。

3) 阶数的选择是 Prony 分析的关键,试验表明可根据奇异值分解方法^[11]确定第 1 个窗口($i=1$)的阶数 p ,进而根据式(18)计算滑动次数 m :

$$m = \left\lceil \frac{N-M}{p} \right\rceil \quad (17)$$

式中: $[\cdot]$ 表示对其中数据取整。

4)幅值、相位、衰减因子和频率等振荡信息计算如下:

$$\begin{cases} A_k = |a_k^{(1)}| \\ \theta_k = \frac{\arctan \frac{\text{Im } a_k^{(1)}}{\text{Re } a_k^{(1)}} f_s}{2\pi} \\ \alpha_k = \text{Re}(\ln z_k) f_s \\ f_i = \frac{\text{Im}(\ln z_k) f_s}{2\pi} \end{cases} \quad (18)$$

式中: $k=1,2,\cdots,p$ 。

由于振荡衰减的模式是由 2 个共轭指数决定,而且振荡频率一般小于 2.5 Hz,所以确定振荡模态参数信息时选择由式(19)所得的正频率($0.1\text{ Hz}<f<2.5\text{ Hz}$)对应的信息,且振荡幅值等于 $2A_k$ 。

3 仿真分析

3.1 4 机 2 区域系统

针对 4 机 2 区域系统^[17],考虑支路 7-8 的一回线路中间在 1.0 s 发生瞬时三相短路,持续 0.05 s,仿真时间持续 20 s。

基于 DSATools 的低频振荡特征值分析结果如表 1 所示(参与因子进行了归一化处理,并且其正负号代表了发电机所处群的标志)。对 4 台发电机(记为 G1,G2,G3,G4)的相对功角信号应用窗口滑动 Prony 方法分析,结果如表 2 所示。

表 2 的窗口滑动 Prony 识别结果表明 4 台发电机均存在与 0.625 Hz 模式接近的振荡模式(模式 1),并且与表 1 中 0.625 Hz 模式下各台发电机都具有较大的参与因子相吻合。初相角结果表明,该模

式为 G1 和 G2 与 G3 和 G4 之间的区间振荡模式,与表 1 结果相对应。同理,表 2 中 G1 和 G2 的模式 2 与表 1 的 1.057 Hz 模式较为接近,而 G3 和 G4 的模式 2 则与表 1 的 1.089 Hz 模式较为接近。该结果与表 1 中 1.057 Hz(1.089 Hz)模式下 G1 和 G2(G3 和 G4)参与因子相对较大相吻合。同时,表 2 的初相角结果表明,上述模式为发电机之间的局部振荡模式,与表 1 中参与因子结果相吻合。

表 1 DSATools 的特征值分析结果
Table 1 Eigenvalue analysis result of DSATools

特征根 实部	频率/ Hz	阻尼比/ (%)	参与因子			
			G1	G2	G3	G4
-0.793 1	1.057	11.85	0.79	-1.00	0.06	-0.03
-0.804 1	1.089	11.67	-0.02	0.06	0.67	-1.00
-0.120 0	0.625	3.06	0.73	0.42	-1.00	-0.66

表 2 应用窗口滑动 Prony 方法对功角信号的识别结果
Table 2 Identification results on power angle based on moving window Prony method

发电机	模式	频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)
G1	1	0.625 9	3.123	17.39
	2	1.061 0	11.920	-80.18
G2	1	0.625 9	3.129	28.88
	2	1.060 0	11.760	100.80
G3	1	0.625 9	3.128	-157.00
	2	1.065 0	13.080	-27.64
G4	1	0.625 9	3.124	-158.20
	2	1.087 0	13.040	171.40

进一步,考察滑动与传统 Prony 方法的抗噪声能力。对 G1 的相对功角信号依次加入不同信噪比(SNR,文中用 λ_{SNR} 表示)的高斯白噪声,可得能量排在前 2 位的模式的特征量结果,如表 3 所示。

表 3 传统与滑动 Prony 算法对含噪声信号的识别结果
Table 3 Identification results on signal with noise based on traditional/moving window Prony method

$\lambda_{\text{SNR}}/\text{dB}$	算法	模式 1			模式 2		
		频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)	频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)
49.7	滑动算法	0.625 7	3.145	17.630	1.073	12.780	-85.15
	传统算法	0.625 6	3.098	17.680	1.046	7.875	-100.90
31.3	滑动算法	0.624 9	3.059	18.620	2.240	21.420	33.04
	传统算法	0.626 6	3.211	15.300	1.798	2.127	63.13

表 3 表明,滑动窗口 Prony 方法在模式 1 特征量提取准确性要高于传统方法,阻尼比和初相角变化都较小。同时,对于模式 2,当 $\lambda_{\text{SNR}}=49.7\text{ dB}$ 时传统方法计算已经错误,而滑动窗口方法仍然能较准确地获得特征量。所以在相同白噪声强度下,窗口滑动 Prony 方法对主导振荡模式的提取以及参数的计算比传统 Prony 方法更加准确。

为进一步观察窗口滑动 Prony 方法的适应噪声能力,通过对 G1 的相对功角信号加入幅值 0~10%(间隔为 0.2%)、均值为 0 的高斯随机噪声,并应用窗口滑动 Prony 方法计算出主导振荡模式的频率、阻尼比以及初相角,其结果如图 1 所示。图 1 表明窗口滑动 Prony 方法,对噪声适应能力较强。而 PMU 实测数据噪声一般不大^[18],因此,滑动 Prony 方法能够应用于实测信号的分析。

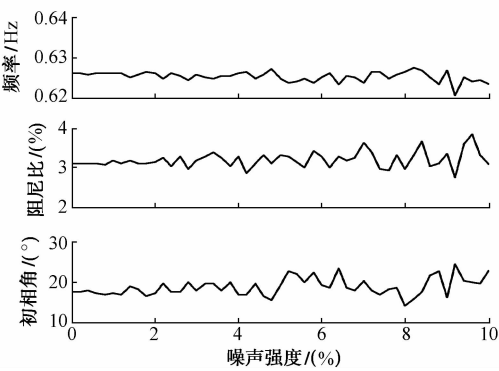


图 1 G1 功角信号在不同噪声情况下的分析结果
Fig. 1 Analysis results of G1's angle with different noises

3.2 10 机 39 节点系统

对新英格兰 10 机 39 节点系统^[17],考虑如下扰动:1 s 时在联络线 21-22 距始端 20%处发生三相短路,1.2 s 切除故障,仿真时间 16 s,步长 0.01 s。基于仿真数据,窗口滑动 Prony 分析所获结果见表 4,DSATools 的特征值计算结果见表 5。

表 4、表 5 表明:滑动窗口 Prony 方法所得模式 1 和模式 2 分别与特征值分析的 0.543 6 Hz 模式(阻尼比为 3.96%)和 0.922 1 Hz 模式(阻尼比为 2.7%)相吻合。

表 4 应用窗口滑动 Prony 方法对功角信号的识别结果
Table 4 Identification results of moving window Prony method

发电机	模式	频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)
G35	1	0.502 2	3.815	-89.83
	2	0.906 1	3.396	-139.30
G39	1	0.500 5	3.803	99.68
	2	0.885 9	2.752	-95.34

表 5 DSATools 的特征值分析结果
Table 5 Eigenvalue analysis results of DSATools

实部	虚部	频率/Hz	阻尼比/(%)
-0.135 4	3.415 4	0.543 6	3.96
-0.162 9	10.889 4	1.733 1	1.50
-0.182 2	11.214 4	1.784 8	1.62
-0.171 3	10.276 8	1.635 6	1.67
-0.155 4	9.620 2	1.531 1	1.62
-0.158 1	8.959 8	1.426 0	1.76
-0.156 2	5.794 0	0.922 1	2.70
-0.169 7	7.568 3	1.204 5	2.24
-0.153 0	6.971 6	1.109 6	2.19

考虑 G39 的相对功角信号(相对于 G30,下同)含有 $\lambda_{\text{SNR}}=25$ dB,15 dB 的高斯白噪声,仿真结果如表 6 所示。表 6 按照能量大小排序,对于模式 1,滑动窗口比传统方法在相同噪声强度下计算结果更加准确;对于模式 2,传统方法已经不能够准确计算,而滑动窗口方法仍然能得到比较正确的结果。

表 6 传统和滑动 Prony 算法对含噪声信号的识别结果
Table 6 Identification results on signal with noise based on traditional Prony and moving window Prony method

$\lambda_{\text{SNR}}/\text{dB}$	算法	模式 1			模式 2		
		频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)	频率/Hz	阻尼比/(%)	初相角/(°)
25	滑动算法	0.499 3	3.723	106.70	0.880 2	2.934	-84.85
	传统算法	0.504 8	3.457	84.13	0.457 0	18.930	171.10
15	滑动算法	0.493 1	3.898	109.80	0.874 8	3.375	-86.87
	传统算法	0.503 1	2.466	97.85	0.451 3	9.380	136.90

进一步,G35 和 G39 的相对功角曲线以及滑动窗口 Prony 拟合信号见图 2。图 2 表明,窗口滑动 Prony 方法能够拟合较长时间的振荡曲线。

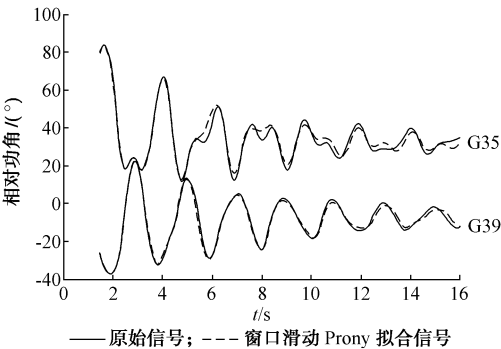


图 2 G35 与 G39 的相对功角曲线
Fig. 2 Phase-angle trajectory of G35 and G39

4 结语

Prony 算法能够直接计算出信号的幅值、频率、衰减因子及相位,为电力系统低频振荡模式辨识提供了良好的条件。针对传统的 Prony 算法只能采用局部信号分析而且对噪声敏感的缺点,本文提出了固定窗长滑动的改进措施。仿真算例证实经窗口滑动改进的 Prony 算法能够有效辨识低频振荡模式,同时,不同强度噪声下的测试表明该方法对噪声具有较强的适应能力,能够适用于实测数据的电力系统低频振荡模式辨识。

参 考 文 献

[1] 倪以信,陈寿孙,张宝霖. 动态电力系统的理论和分析. 北京:清

- 华大学出版社, 2002.
- [2] HAUER J F, DEMEURE C J, SCHARF L L. Initial results in Prony analysis of power system response signals. *IEEE Trans on Power Systems*, 1990, 5(1): 80-89.
- [3] KORBA P, LARSSON M, REHTANZ C. Detection of oscillations in power systems using Kalman filtering techniques// *Proceedings of IEEE Conference on Control Applications*; Vol 1, June 23-25, 2003, Istanbul, Turkey. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2003: 183-188.
- [4] 王铁强, 贺仁睦, 徐东杰, 等. Prony 算法分析低频振荡的有效性研究. *中国电力*, 2001, 34(11): 38-41.
- WANG Tieqiang, HE Renmu, XU Dongjie, et al. The validity study of Prony analysis for low frequency oscillation in power system. *Electric Power*, 2001, 34(11): 38-41.
- [5] 薛禹胜, 郝思鹏, 刘俊勇, 等. 关于低频振荡分析方法的评述. *电力系统自动化*, 2009, 33(3): 1-8.
- XUE Yusheng, HAO Sipeng, LIU Junyong, et al. A review of analysis methods for low-frequency oscillations. *Automation of Electric Power Systems*, 2009, 33(3): 1-8.
- [6] 刘剑. Prony 在电力系统低频振荡控制中的应用[D]. 成都: 四川大学, 2006.
- [7] GRUND C E, PASERBA J J, HAUER J F, et al. Comparison of Prony and eigen analysis for power system control design. *IEEE Trans on Power Systems*, 1993, 8(3): 964-971.
- [8] TRUNDNOWSKI D J. Order reduction of large-scale linear oscillatory system models. *IEEE Trans on Power Systems*, 1994, 9(1): 451-458.
- [9] KUMARESAN R, TUFTS D W, SCHARF L L. A Prony method for noisy data: choosing the signal components and selecting the order in exponential signal models. *Proceedings of the IEEE*, 1984, 72(2): 230-233.
- [10] 张贤达. 现代信号处理. 北京: 清华大学出版社, 2002: 119-125.
- [11] 熊俊杰, 荆卫荣, 万秋兰. Prony 算法的低频振荡主导模式辨识. *东南大学学报: 自然科学版*, 2008, 38(1): 64-68.
- XIONG Junjie, XING Weirong, WAN Qiulan. Identification of control modes in low frequency oscillation analysis by Prony method. *Journal of Southeast University: Natural Science Edition*, 2008, 38(1): 64-68.
- [12] KUMARESAN R, FENG Y. FIR prefiltering improves Prony's method. *IEEE Trans on Signal Processing*, 1991, 39(3): 736-741.
- [13] 李大虎, 曹一家. 基于模糊滤波和 Prony 算法的低频振荡模式在线辨识. *电力系统自动化*, 2007, 31(1): 14-19.
- LI Dahu, CAO Yijia. An online identification method for power system low frequency oscillation mode based on fuzzy filtering and Prony algorithm. *Automation of Electric Power Systems*, 2007, 31(1): 14-19.
- [14] 刘森, 赵书强, 于赞梅, 等. 基于小波预处理技术的低频振荡 Prony 分析. *电力自动化设备*, 2007, 27(4): 64-67.
- LIU Sen, ZHAO Shuqiang, YU Zanmei, et al. Prony analysis of low frequency oscillation based on wavelet pretreatment technology. *Electric Power Automation Equipment*, 2007, 27(4): 64-67.
- [15] 马燕峰, 赵书强, 刘森. 基于改进多信号 Prony 算法的低频振荡在线辨识. *电网技术*, 2007, 31(15): 44-49.
- MA Yanfeng, ZHAO Shuqiang, LIU Sen. Online identification of low-frequency oscillations on improved multi-signal Prony algorithm. *Power System Technology*, 2007, 31(15): 44-49.
- [16] GOMEZ M R, CARRION P M C. Extended Prony method applied to noisy data. *Electric Letters*, 1986, 22(11): 613-614.
- [17] 徐东杰. 互联电力系统低频振荡分析方法与控制策略研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2004.
- [18] Q/GDW 131—2006 电力系统实时动态监测系统技术规范. 2006.

丁 蓝(1987—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力系统保护与控制. E-mail: dinlan_1@163.com

薛安成(1979—), 男, 通信作者, 副教授, 主要研究方向: 电力系统分析、控制和保护. E-mail: acxue@ncepu.edu.cn

李 津(1985—), 男, 硕士研究生, 主要研究方向: 电力系统稳定性. E-mail: lijim188@163.com.

A Moving-window Prony Algorithm for Power System Low Frequency Oscillation Identification

DING Lan¹, XUE Ancheng¹, LI Jin¹, WANG Jinping², HAN Fukun³, WANG Maohai³

(1. Key Laboratory of Power System Protection and Dynamic Security Monitoring and Control of Ministry of Education, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;

2. North China Electric Power Research Institute Co. Ltd., Beijing 100045, China;

3. North China Electric Power Dispatching and Communication Center, Beijing 100053, China)

Abstract: Prony algorithm is an effective method to derive characteristics of power system low frequency oscillations. However, the traditional Prony algorithms are very sensitive to noises and can only be applied to part of signal every time. This paper proposes the moving-window Prony algorithm to the identification of low frequency oscillation of power system. With the moving-window technique, the objective function of the proposed Prony method is changed into the least square error by windows, which is different from the partial least square error corresponding to the traditional algorithms. Thus, the moving window Prony algorithm has stronger adaptability to noise and could be applied to long time range signals. The simulation results based on DSA Tools demonstrate that the moving window Prony algorithm has good and effective performance for identification of power system low frequency oscillation, even in cases when the PMU's data contains noises.

This work is supported by National Natural Science Foundation of China (No. 50707035, No. 50920105705, No. 50837002), Special Fund of the National Basic Research Program of China (No. 2009CB219704) and "111" Project (No. B08013).

Key words: low frequency oscillation; Prony method; moving-window; noise; error