

# Aplicação da Evolução Diferencial na Estimação de Parâmetros em Sistemas de Potência por Dados de PMU

Pedro P. S. Vieira<sup>1</sup>, Luís F. C. Alberto<sup>2</sup>  
EESC-USP, São Carlos, SP

Diversas análises sobre Sistema Elétrico de Potência (SEP) devem ser feitas continuamente pelo operador para garantir a operação segura e eficaz do mesmo. Tais análises muitas vezes dependem de parâmetros, cujos valores devem ser empregados adequadamente. O uso de valores imprecisos para os parâmetros pode acarretar uma operação fora das margens de segurança do SEP [1], e portanto a estimação de parâmetros ocupa um papel central no seu funcionamento seguro e eficaz.

O problema de estimação de parâmetros pode ser visto como um problema de otimização, em que se quer encontrar o conjunto de parâmetros que minimize o erro entre o modelo e os dados reais. Técnicas de estimação clássicas utilizam-se das funções Sensibilidade de Trajetória (ST) [4], que são obtidas a partir de derivadas parciais das equações do modelo em relação aos parâmetros. Alternativamente, as metaheurísticas podem ser empregadas para solucionar o problema de otimização/estimação de parâmetros. A metaheurística Evolução Diferencial (DE) [8] é empregada principalmente para problemas de otimização com espaço de busca em um subconjunto de  $\mathbb{R}^n$ . Em contraste com o método ST, a DE dispensa o uso do cálculo de derivadas.

Com o advento das unidades de medição fasorial (PMUs) [7], sinais de magnitude e fase de tensão e corrente com alta taxa de amostragem e sincronizados tornam-se disponíveis no SEP e podem ser usados na estimação de parâmetros. O presente trabalho, portanto, se propõe a avaliar o uso da DE na estimação de parâmetros em tempo real do SEP a partir de dados de PMU. Especificamente, quer-se estimar parâmetros do chamado *caminho de transmissão*, que modela duas áreas distantes do SEP interconectadas por longas linhas de transmissão, a fim de estudar sua estabilidade transitória. Cabe ressaltar que é preciso adaptar os dados de PMU para que seu uso seja possível na estimação de parâmetros para avaliação de estabilidade transitória, o que é feito neste trabalho como em [3].

O sistema-teste utilizado nos experimentos para validação da metodologia é o sistema de duas áreas de Kundur [5]. Ele pode ser modelado como um caminho de transmissão, sendo cada área reduzida a um gerador equivalente acoplado às barras 7 e 9. Supõe-se que PMUs são instalados na linha de transmissão nessas barras, coletando seus sinais de tensão fasorial  $V_7 \angle \theta_7$  e  $V_9 \angle \theta_9$ .

Para obter sinais de PMU similares aos observados em um sistema real, a carga da barra 7 é modelada no ANATEM [2] parcialmente como uma carga dinâmica, esta consistindo em uma sequência de números pseudo-aleatórios em torno do valor nominal da carga, como descrito em [6]. Tem-se como resultado um ruído branco que gera pequenas oscilações eletromecânicas, como as observadas em um sistema real.

Para o estudo de estabilidade transitória, há interesse em estimar os parâmetros  $\bar{V}_7$ ,  $\bar{V}_9$  (as magnitudes de tensão nas barras),  $\delta_o = \delta_7 - \delta_9$  (o ponto de operação dos geradores, aproximado por  $\theta_9 - \theta_7$ ) e  $\omega_s$  (frequência angular de oscilação eletromecânica). Para a estimação destes parâmetros, usa-se primeiramente dados ambiente de PMU (sem ocorrência de grande perturbação). Para os três primeiros parâmetros, a função objetivo usada como modelo para aplicação da DE é a função

<sup>1</sup>pedro.vieira@usp.br

<sup>2</sup>lfcalberto@usp.br

constante. Para a estimativa de  $\omega_s$ , a função objetivo é uma senoide genérica  $y(t) = A(\omega_s t + \phi) + B$ , sendo que deve-se estimar outros parâmetros reais ( $A, \phi, B$ ) além daquele de interesse. O resultado das estimativas com DE, que é aplicada com configurações como em [8], é mostrado na Tabela 1, comparando com o resultado obtido por meio do método ST. Diferentes janelas de tempo são usadas para avaliar a usabilidade da técnica em tempo real.

Tabela 1: Estimação dos parâmetros com dados ambiente e diversas janelas de tempo.

Método	ST	DE	DE	DE	DE	DE	DE
Janela de tempo	60s	60s	20s	5s	1s	0,5s	0,05s
$\bar{V}_7$ (em p.u.)	0,9613	0,9613	0,9613	0,9613	0,9610	0,9617	0,9643
$\bar{V}_9$ (em p.u.)	0,9711	0,9711	0,9711	0,9713	0,9708	0,9716	0,9776
$\delta_o$ (em graus)	27,43	27,43	27,43	27,45	28,71	27,34	27,90
$\omega_s$ (em rad/s)	3,454	3,397	3,244	0,8265	0,8058	1,332	6,245

Também utilizam-se dados do sistema pós-falta (após a ocorrência de uma grande perturbação) para a estimativa de  $\omega_s$ , com uma janela de 20s. Neste caso usa-se a senoide amortecida  $y(t) = Ae^{-\gamma t} \sin(\omega_s t + \phi) + B$  como função objetivo. Na média dos resultados, obteve-se para  $\omega_s$  o valor 2,560 rad/s com ST e 2,559 com DE.

O algoritmo DE mostrou-se eficaz na estimativa dos parâmetros, fornecendo estimativas idênticas (no caso de  $\bar{V}_7$ ,  $\bar{V}_9$  e  $\delta_o$ ) ou muito próximas (no caso de  $\omega_s$ ) às estimativas obtidas com o método ST, o que sugere que a DE pode ser usada para estimativa de parâmetros em tempo real com dados ambiente. No caso de  $\omega_s$  é patente a necessidade do uso de janelas de tempo mais extensas para melhor estimativa. Como próximos trabalhos, pode-se tentar melhorar o ajuste dos parâmetros do algoritmo DE, como o fator de mutação e taxa de cruzamento, para melhorar sua aplicabilidade em tempo real, além de avaliar a interferência de diversos níveis de ruído no processo de estimativa.

## Referências

- [1] E. P. T. Cari. “Estimação dos parâmetros da máquina síncrona e seu sistema de excitação”. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, 2005.
- [2] CEPEL. **Programa Anatem, Análise de Transitórios Eletromecânicos**. Manual do Usuário - versão 11.10.00. 2020.
- [3] J. H. Chow et al. “Synchronized Phasor Data Based Energy Function Analysis of Dominant Power Transfer Paths in Large Power Systems”. Em: **IEEE Transactions on Power Systems** 22.2 (2007), pp. 727–734. DOI: 10.1109/TPWRS.2007.895162.
- [4] J. B. Cruz. **Feedback Systems**. Inter-University electronics series. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1972. ISBN: 978-0070148703.
- [5] P. Kundur, N. J. Balu e M. G. Lauby. **Power System Stability and Control**. EPRI power system engineering series. Nova Iorque: McGraw-Hill, 1994. ISBN: 9780780334632.
- [6] S. Park e K. Miller. “Random Number Generators: Good Ones Are Hard to Find”. Em: **Commun. ACM** 31 (1988), pp. 1192–1201. DOI: 10.1145/63039.63042.
- [7] A. G. Phadke. “Synchronized phasor measurements in power systems”. Em: **IEEE Computer Applications in Power** 6.2 (1993), pp. 10–15. DOI: 10.1109/67.207465.
- [8] R. Storn e K. V. Price. “Differential Evolution - A Simple and Efficient Heuristic for global Optimization over Continuous Spaces”. Em: **Journal of Global Optimization** 4 (1997), pp. 341–359. DOI: 10.1023/A:10082028213286.