

Proceeding Series of the Brazilian Society of Computational and Applied Mathematics

Análise dos Métodos Gráfico e Mínimos Quadrados na Estimação de Parâmetros de Geradores Síncronos

Domingos Robson Silva Costa¹

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, UFBA, Salvador, BA

Niraldo Roberto Ferreira²

Departamento de Engenharia Elétrica, UFBA, Salvador, BA

Breno Avelar Rodrigues de Andrade³

Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, Departamento de Engenharia Elétrica, UFBA, Salvador, BA

Os geradores síncronos são as principais fontes de energia no sistema elétrico de potência. Diversas condições operativas do sistema elétrico podem ser investigadas através de computadores que simulam o comportamento do sistema via equações físico-matemáticas dos diversos componentes integrados.

Muitos métodos têm sido propostos para estimar os parâmetros do gerador [1–3]. Um bastante utilizado é o que aplica um curto-circuito trifásico nos terminais da máquina que está operando sem carga e velocidade nominal. A corrente de curto-circuito é amostrada e registrada por um intervalo de tempo apropriado e utilizando a equação representativa desta corrente elétrica estabelece-se uma metodologia para estimação dos parâmetros [3]. Este trabalho apresenta um estudo comparativo do desempenho do método baseado na otimização por mínimos quadrados [1] e o método gráfico proposto na norma IEEE-115 [2]. Considera-se o efeito da taxa de amostragem e do número de amostras sobre a estimação.

A corrente de curto na fase "a" do gerador, na região linear, tem a forma (1).

$$i_a = \frac{\sqrt{2}E}{2} \left(\frac{1}{X_d''} + \frac{1}{X_q''} \right)_{dc} e^{-\frac{t}{T_a}} \cos(\lambda) + \frac{\sqrt{2}E}{2} \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_q''} \right) e^{-\frac{t}{T_a}} \cos(2\omega t + \lambda) - \sqrt{2}E \left[\frac{1}{X_d} + \left(\frac{1}{X_d'} - \frac{1}{X_d} \right) e^{-\frac{t}{T_d}} + \left(\frac{1}{X_d''} - \frac{1}{X_d'} \right) e^{-\frac{t}{T_d''}} \right] \cos(\omega t + \lambda). \quad (1)$$

O método gráfico explora as quedas exponenciais para calcular as constantes de tempo e usa a envoltória da parte simétrica da corrente para estimar as reatâncias e constantes de tempo [2]. O método dos mínimos quadrados considera m amostras com igual espaçamento englobando os três regimes (subtransitório, transitório e permanente) e em cada trecho procura os parâmetros que minimizam o erro quadrático. A tabela 1 mostra os parâmetros reais da máquina utilizada.

¹domrobson20@gmail.com

²niraldo@ufba.br

³breno.ar.andrade@gmail.com

Tabela 1: Parâmetros reais da máquina utilizada

$X_d(\text{PU})$	$X'_d(\text{PU})$	$X''_d(\text{PU})$	$X''_q(\text{PU})$	$T'_d(\text{PU})$	$T''_d(\text{PU})$	$T_a(\text{PU})$
5.4900	0.8430	0.1759	0.2814	0.2932	0.0256	5.4900

A tabela 2 mostra os resultados estimados para uma frequência de amostragem de 1200Hz e 30000 amostras.

Tabela 2: Resultados

Parâmetros	Erro Método gráfico (em %)	Erro Mínimos quadrados (em %)
X_d	0	0
X'_d	0.4802	0
X''_d	9.4829	0.0099
X''_q	Não estimado	0
T'_d	0	0
T''_d	59.6358	0.0124
T_a	99.8453	0

O método gráfico conseguiu estimar os parâmetros com frequências superiores a 600 Hz, mas em 1200 Hz os resultados são melhores. O método dos mínimos quadrados conseguiu estimar os parâmetros em frequências bem mais baixas, porém erros abaixo de 1 por cento foram possíveis com frequências superiores a 550 Hz. Quanto ao número de amostras, o método gráfico necessitou de muitas, já o método dos mínimos quadrados apresentou bom desempenho a partir de 30 amostras. O método gráfico só apresentou bons resultados para a estimação das reatâncias de regime permanente e transitório de eixo direto, no entanto, o método dos mínimos quadrados foi robusto para todos os parâmetros e apresentou os melhores resultados.

Referências

- [1] A. M. Al-Kandari, J. Y. Madouh, B. A. Alkandari, and S. A. Soliman, Modeling and estimation of synchronous machine parameters from digitized sudden short-circuit armature current. *J. Electrical Systems*. 2015. ISSN: 1112-5209.
- [2] IEEE Guide for Test Procedures for Synchronous Machines, PART II - Test Procedures and Parameter Determination for Dynamic Analysis, IEEE Standard, 2009.
- [3] D. M. M. Santana, N. R. Ferreira, F. F. Costa and A. C. Lima. Estimação de parâmetros transitórios e subtransitórios de geradores síncronos utilizando o algoritmo de Prony. In *Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos*. SBSE, 2012. ISSN: 2177-6164.