

Estimação de Parâmetros de Geradores Síncronos por Método de Rejeição de Carga e Abertura de Curto-Circuito

Adriele Nery Martins da Silva

Flavia Camila Siroma Bernal

Prof. Dr. Elmer Pablo Tito Cari

ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS - USP

adriele.nery@usp.br⁽¹⁾ ; flavia.bernal@usp.br⁽²⁾

Objetivos

Este trabalho objetiva analisar ensaios de rejeição de carga e abertura de curto-circuito para estimar parâmetros de geradores síncronos, essenciais à modelagem precisa de sistemas de potência. A estimação busca valores que representem o comportamento real do sistema, seja dinâmico ou estático. O estudo inclui ensaios laboratoriais para coleta de dados, com validação dos parâmetros via LabVIEW, além da automatização dos ensaios para maior segurança e eficiência. A criação de uma base de dados robusta permitirá validar parâmetros de geradores de pequeno porte em pesquisas futuras, contribuindo para a estabilidade e segurança em cenários de geração distribuída.

Métodos e Procedimentos

A estimação dos parâmetros do gerador síncrono foi realizada por meio de dois ensaios principais: curto-circuito e rejeição de carga. No ensaio de curto-circuito, a máquina opera a velocidade síncrona com o enrolamento de campo excitado, e um curto trifásico é aplicado aos terminais da armadura. Registra-se a corrente antes e depois do curto, e a tensão antes do curto. No ensaio de rejeição de carga, aplica-se uma carga com potência ativa nula e potência reativa pura, utilizando uma carga totalmente capacitiva, pois uma carga

totalmente indutiva é inviável devido às resistências parasitas nos indutores.

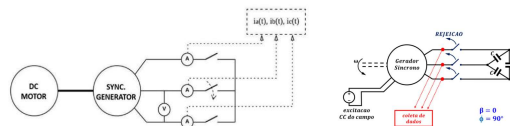


Figura 1: Ilustração dos ensaios de curto-circuito e rejeição de carga, respectivamente.



Figura 2: Equipamentos Usados nos Ensaios

A sensibilidade de trajetória, método usado para a estimação, quantifica a variação da saída em função do(s) parâmetro(s). A função de sensibilidade para o i -ésimo parâmetro é dada pela equação (1).

$$\frac{\partial y}{\partial p_i} = \lambda_i \quad (1)$$

Depois de cada iteração, os parâmetros do modelo são atualizados. O vetor de atualização $\Delta p^{(k)}$ da k -ésima iteração é dado por pela equação (2). Outra função importante é a de

custo $J(p)$, vide equação (3). Através da atualização dos parâmetros, deseja-se minimizar a função de custo

$$\Delta p^{(k)} = \Gamma^{-1}(p^{(k)}) \cdot G(p^{(k)}) \quad (2)$$

$$J(p) = \frac{1}{2} \int_0^{T_0} (y_r(t) - y(t, p))^T \cdot (y_r(t) - y(t, p)) dt \quad (3)$$

A aplicação deste método foi realizada no software MatLab.

Resultados

Realizando os ensaios descritos na metodologia, foram obtidos os parâmetros listados na Tabela 1. Os resultados, inicialmente analisados graficamente, foram refinados pelo método de sensibilidade da trajetória. Nove iterações das fases do gerador foram realizadas, apontando a convergência do método no ensaio de rejeição de carga. No ensaio de curto-circuito, também houve convergência usando a modelagem completa da fase, com a aplicação do filtro de Kalman na velocidade.

Tabela 1: Resultados dos parâmetros

Parâmetro	Valor	
	Método Gráfico	Refinamento dos Resultados
Reatância síncrona do eixo direto	1,3867	1,8928
Reatância transitória do eixo direto	0,4086	0,34747
Reatância subtransitória do eixo direto	0,3554	0,18065
Constante de tempo transitória de circuito aberto de eixo direto	0,0656	0,069024
Constante de tempo subtransitória de circuito aberto de eixo direto	0,014	0,0085975
Reatância subtransitória do eixo dem quadratura	0,1554	0,36128
Constante de tempo de armadura de curto-circuito	0,0122	0,0080462
Erro (J): 0,009		

Para as próximas medições, sugerem-se a obtenção dos parâmetros de eixo arbitrário de ensaios com cargas que tenham efeitos mais significativos.

Conclusões

Os resultados desta pesquisa destacam a importância crítica da medição precisa da

velocidade na estimação de parâmetros de geradores síncronos. A inclusão dessa variável foi essencial para a convergência dos métodos de otimização, enquanto o uso de uma velocidade constante resultou em divergências, evidenciando sua importância na modelagem. Embora a modelagem da componente simétrica da fase já fosse conhecida, a capacidade de modelar a fase completa foi um avanço significativo deste estudo. Além disso, este trabalho possibilita o desenvolvimento contínuo de um software para estimação de parâmetros, já iniciado por outros alunos. A integração dos resultados obtidos permitirá aprimorar o software, tornando-o uma ferramenta mais precisa e eficiente para a análise de geradores síncronos.

Agradecimentos

À disponibilização de bolsa pelo edital PUB/USP, projeto nº 739, vigência 2023/2024.

Referências

- [1] BEZERRA, M. C. d. S. Métodos de estimação dos parâmetros mecânicos de geradores síncronos. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (EESC/USP).
- [2] FIORAVANTE, B. S. Desenvolvimento de um Software Para Estimação de Parâmetros de Máquinas Elétricas Pelos Ensaio de Curto-circuito Instantâneo e de Abertura de Curto-circuito. 2019.
- [3] CARI, E. P. T. Metodologia de Estimação de Parâmetros de Sistemas Dinâmicos Não-Lineares com Aplicação em Geradores Síncronos. Tese de Doutorado — Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, Brasil, 2009. 9, 31
- [4] ELECTRIC MACHINERY COMMITTEE. IEEE Std 115-Part 2: Acceptance and Performance Testing - Test Procedures and Parameter Determination for Dynamic Analysis. New York, USA: The Institute of Electrical and Electronics