

Aplicação dos Métodos Numéricos em problemas reais de Engenharia

M. Rossi, L.R. Maschio, and D. M. Silva

Abstract— Considering the growing demand for electricity in recent years and the implementation of new renewable energy sources that integrate the Brazilian electric system, there is a greater sensitivity of these new equipment, where power shortages can lead not only to production losses but also in some cases, by the interconnection of electronic equipment, in damage to equipment that does not support estimated variations for the old power equipment. Among some of these oscillations in the system we can characterize the voltage snoots, which are momentary variations in the power supply in values from 0.1 to 0.9 p.u., as described by ANAEEEL. In order to describe a numerical method to reduce this failure, it is proposed a validation of the tests made by researchers in the area who estimated the value of an external resistor to a generator in order to control the speed of the same during this failure. In the course of this article, parts of their research and validations will be presented by simulation of the conclusions implemented by them.

Index Terms—variations, generator, oscillation.

I. INTRODUÇÃO

O MÉTODO de Newton-Raphson é o mais comumente utilizado para os mais diversos problemas numéricos. Um dos vários locais onde se pode aplicar esse método numérico é na determinação de um resistor de malha externa para um gerador de energia, com o intuito de controlar a aceleração desse durante um afundamento de tensão. A Justificativa que se da para a implementação dessa resistência externa se baseia, conforme discorrido no artigo [1], na necessidade de diminuir a aceleração do gerador durante o período de afundamento. Ressalta-se ainda, algumas condições implementadas e apresentadas pelos autores de [1] não chegaram a ser testadas e implementadas, sendo essas considerações particulares devem ser buscadas e estudadas pelo leitor a fim de expandir seu conhecimento e compreensão sobre o assunto.

M. Rossi, Universidade Estadual do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: matheus.rossi@unioeste.br).

L.R. Maschio, Universidade Estadual do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: leonardo.amos@unioeste.br).

D.M. Silva, Universidade Estadual do Paraná – UNIOESTE, Foz do Iguaçu, Paraná, Brasil (e-mail: daniel.silva11@unioeste.br).

II. DESCRIÇÃO MATEMÁTICA DE UMA MÁQUINA ASSÍNCRONA

Quando trabalhamos com uma máquina CA (corrente alternada) deve se ter em mente qual a sua categoria: síncrona ou assíncrona; O motor, ou gerador síncrono é aquele que seu campo girante acompanha o fluxo senoidal de sua entrada de tensão (os ciclos da frequência de entrada são similares ao fluxo na máquina). O motor assíncrono é estruturalmente similar ao síncrono, o que se difere aqui é o curto-circuito dos

enrolamentos do estator, o que elimina a necessidade de conexões externas para alimentar o motor, tornando esse mais confiável e relativamente baratos. Quando é dito assíncrono, nos referimos ao giro do rotor, que não acompanha o mesmo fluxo senoidal do estator, ele opera de modo atrasado em relação a senoide da fonte.

Considerando as tensões sobre os terminais do estator sejam todas equilibradas, de modo a simplificar nossa determinação e considerando os efeitos dos combinados da carga nos eixos e no rotor, podemos idealizar a máquina assíncrona como o circuito equivalente apresentado a seguir:

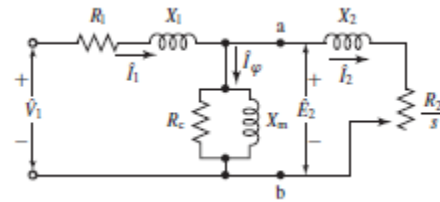


Fig. 1. Circuito equivalente para cada fase da máquina assíncrona.

Onde:

- R_1 – Resistência de enrolamento do estator;
- X_1 – Reatância de dispersão do estator;
- R_c – Resistência devido as perdas no núcleo;
- X_m – Reatância de magnetização;
- R_2 – Resistência de enrolamento do rotor;
- X_2 – reatância de dispersão do rotor;

Considerando, as perdas e grandezas do estator e de magnetização, obtém-se por Thevenin o circuito da Fig 2, que simplifica ainda mais a análise em questão.

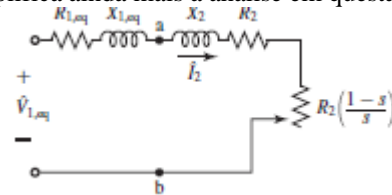


Fig. 2. Circuito equivalente de Thevenin para máquina assíncrona.

De acordo com o teorema de Thevenin, a tensão equivalente é aquela aplicada nos terminais a e b. Com expressão matemática dada para esse circuito como:

$$\hat{V}_{1,eq} = \hat{V}_1 \left(\frac{jX_m}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \right) \quad (1)$$

Para a impedância equivalente, temos:

$$Z_{1,eq} = \frac{jX_m(R_1 + jX_1)}{R_1 + j(X_1 + X_m)} \quad (2)$$

Fazendo ainda a análise de I2, encontrando uma equação que descreve seu comportamento e substituindo na expressão do conjugado, obtém-se:

$$T_{mec} = \left(\frac{\text{polos}}{2 \omega_e} \right) q |\hat{I}_2|^2 (R_2/s) \\ = \left(\frac{\text{polos}}{2 \omega_e} \right) \left[\frac{q V_{1,eq}^2 (R_2/s)}{(R_{1,eq} + (R_2/s))^2 + (X_{1,eq} + X_2)^2} \right] \quad (3)$$

Essa ultima descreve o conjugado eletromecânico em função do escorregamento e sua curva geral para um motor de indução conectado a uma fonte de tensão e frequência constantes é representada segundo a Fig. 3.

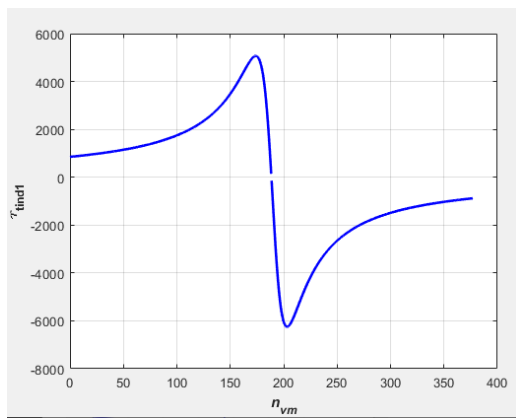


Fig. 3. Curva de conjugado por escorregamento.

A. Método de Newton-Raphson

O método de Newton, pode ser compreendido segundo interpretação geométrica. É o mais amplamente utilizado para definir a raiz de uma equação. Sua aproximação rápida e com relativa precisão, pois matematicamente é quase impossível chegar a um valor exato numa linha infinita de números, (sob condições a serem analisadas pelo implementador) o torna um artifício numérico computacional que exige pouco tempo computacional. Conforme descrito antes, a sua interpretação pode ser puramente geométrica, onde a reta tangente a estimativa de um ponto arbitrário, resta essa chamada de Derivada, vai se aproximando cada vez mais do ponto onde essa reta cruza o eixo x. As condições necessárias para sua implementação são a definição de um ponto arbitrário X_n , e a caracterização da função, junto de sua derivada equivalente e por fim um critério de parada, que usualmente é definido como o erro relativo entre as interações (Fig 4).

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x_n)}{f'(x_n)} \\ \epsilon_a = \frac{\text{aproximação atual} - \text{aproximação prévia}}{\text{aproximação atual}} 100\% \quad (4 \text{ e } 5)$$

Fig. 4. Definições de Erro e de método iterativo para X_n .

B. Problema Proposto

O problema buscado e proposto para esse artigo se refere a determinação por Newton-Raphson de uma resistência externa a um gerador durante o evento caracterizado como afundamento de tensão, descrito pela IEEE 1159-1995 e pelo módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANAEE. Conforme mostrado em [1], e simulado sob as condições descritas, foi utilizada a tabela 1 para o gerador em questão.

Dados do Gerador Elétrico	
Potência Nominal	500 hp
Tensão Nominal (V)	2300 V
Torque Nominal (T)	1980 N.m
Número de Polos (P)	4
Resistência do Estator (R_1)	0.262 Ω
Reatância do Estator (X_1)	1.206 Ω
Reatância do Rotor (X_2)	1.206 Ω
Reatância de Magnetização (X_m)	54.02 Ω
Resistência do Rotor (R_2)	0.187 Ω

Ainda, foi definida previamente as seguintes condições para implementação no método de Newton:

- $F(x)$ deve ser a função que descreve o torque eletromagnético do gerador menos o torque que o gerador deve assumir após a implementação dessa resistência;
- X_n é o nosso resistor externo, é ele quem buscamos através do método numérico;
- $F'(x)$ é a derivada do torque anterior ao resistor pela resistência externa a ser integrada ao circuito, descrita segundo a expressão:

$$\frac{dT_{em}}{dR_{ext}} = \frac{3PV_{th}^2([A]s - 2(R_{th} + B)B)}{2\omega n([A]s)^2} \quad (6)$$

$$\text{Com } A = (R_{th} + \frac{R_{ext} + R_2^2}{s}) + (X_{th} + X_2)^2 e \quad (7)$$

$$B = \frac{R_{ext} + R_2^2}{s} \quad (8)$$

C. Afundamentos de Tensão

O afundamento de tensão é definido pela Resolução Normativa nº863/2019 no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica como, “uma variação superior ou igual a um ciclo e inferior ou igual a três segundos”, essa é a caracterização exclusiva do afundamento, sendo a sua definição geral dada por “desvios significativos na amplitude do valor eficaz da tensão durante intervalo inferior a três minutos (VTCD)”. Essas faltas podem ser divididas por agentes causadores: internos e externos. O mais comum é o afundamento externo, onde o suprimento de energia da instalação sofrera uma falta, como exemplo, um galho de árvore que em contato com os cabos causa o acionamento dos dispositivos de proteção para curto-circuito. Para o caso de afundamentos internos, as razões são provocadas por partidas de motores, esses não adequadamente suportado pela rede interna do ambiente, resultando em consumo excessivo.

Durante esses eventos, a tensão aplicada nos terminais de um gerador já em funcionamento, tende a acompanhar a falta.

Nesse momento, o torque eletromagnético que se opõe ao torque mecânico tende a diminuir, resultando em uma aceleração do gerador, o que resulta no acionamento dos dispositivos de proteção, podendo parar a máquina.

III. RESULTADOS

Logo após a execução do código fonte em python das equações, aplicando o método de Newton e utilizando valores de $0,2 \Omega$ e 1Ω para R_{ext} , os resultados obtidos nos faz deduzir que quando não se aplica resistência sob o gerador, o mesmo adentra em um processo contínuo de aceleração. Em um caso real, quando o equipamento se encontra em situações como esta, sistemas de segurança entram em ação o freando de volta para a velocidade normal, para evitar que o equipamento se danifique.

Já com o valor de 1Ω para R_{ext} , o gerador tende a voltar a sua velocidade normal antes mesmo de $0,8$ p.u., caso contrário ao que nos é apresentado quando a R_{ext} é considerada como $0,2 \Omega$, onde o gerador demora um pouco mais de $0,8$ p.u. para retornar a sua velocidade normal de operação. Isso decorre devido a uma possível saturação da resistência no sistema.

De acordo com [1], por meio de cálculos de método numérico, uma resistência externa de $0,7 \Omega$ é encontrada ao final de um afundamento de $0,2$ p.u.. Isto nos explica o porque de que quando consideramos 1Ω como R_{ext} o gerador tende a voltar a velocidade normal antes do tempo, em comparação a quando consideramos $0,2 \Omega$ de R_{ext} , que tende demorar um pouco mais.

IV. CONCLUSÃO

Por tratar-se de texto elaborado com o intuito de apresentar a versatilidade do método de Newton, considerações particulares deixaram de ser consideradas. Essas devem ser buscadas no artigo base deste, como forma de compreender as especificidades do assunto “Afundamento de Tensão em Geradores Assíncronos”. Contudo, as poucas simulações demonstraram de modo satisfatório o uso do método numérico em questão, não se abstendo de necessidade de compreender as particularidades propostas em [1] para um futuro próximo.

AUTOAVALIAÇÃO DOS INTEGRANTES

D.M.S.: 85

M.R.:75

L.R.M.:70

TRABALHO: 70

REFERENCIAS

- [1] A. Cota, E. F. A.F. Bastos, S. R. Silva, and H. A. Pereira. “Aplicação do Método de Newton-Raphson no Controle da Resistência Externa de Geradores Eólicos Durante Afundamento de Tensão.” Disponível em: <http://www.swge.inf.br/anais/SBSE2012/PDFS/ARTIGOS/97003.PDF>. Acesso em: 12 Mar. 2021.
- [2] D. Umans (2014). *Máquinas elétricas de Fitzgerald e Kingsley*. Porto Alegre, RS: AMGH.
- [3] BÓSON TREINAMENTOS EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA. Introdução aos Números Complexos em Python. Disponível em: <http://www.bosontreinamentos.com.br/programacao-em-python/introducao-aos-numeros-complexos-em-python/>. Acessado em 13 de mar. 2021.
- [4] Mathematical Python - Newton’s Method. Disponível em: <https://www.math.ubc.ca/~pwalls/math-python/roots-optimization/newton/>. Acessado em 13 de mar. 2021.

A conclusão deste trabalho foi bem dificultoso, pois foi um pouco difícil e frustrante implementar o problema em python, isto porque foi encontrada uma certa dificuldade em se achar alguns certos valores e de representar números complexos resultantes para se mostrar na tela.