



Evolução Diferencial Aplicada na Estimação de Parâmetros de um Sistema Oscilatório

RESUMO

Iolanda Ortiz Bernardes

ibernardes@alunos.utfpr.edu.br

Estudante do curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brazil.

Marcelo Favoretto Castoldi

marcastoldi@utfpr.edu.br

Prof. Dr. do Departamento Acadêmico de Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brazil.

OBJETIVO: Esse trabalho consiste no estudo sobre métodos de otimização baseados em sistemas inteligentes que, posteriormente, serão aplicados na estimação de parâmetros de um motor de indução trifásico (MIT). O método específico escolhido para o estudo foi a evolução diferencial (ED), utilizada na resolução de um problema de minimização, através da estimação de quatro parâmetros de um sistema oscilatório fornecido. **MÉTODOS:** A simulação foi realizada seguindo a estrutura da evolução diferencial e com o uso do software MATLAB®, versão 2014b, no notebook Acer Aspire com processador Intel® Core™ i5-3337U e sistema operacional de 64 bits. **RESULTADOS:** Os valores obtidos para os parâmetros x , y , z e k foram 4,2154, -3,7089, 34,9949 e 0,3131, obtendo um erro relativo máximo de 1% para o parâmetro k . **CONCLUSÕES:** O sucesso dos resultados obtidos é evidenciado pela sobreposição da curva fornecida com a curva estimada do sistema oscilatório analisado. Ou seja, os parâmetros estimados via evolução diferencial, através da minimização de uma função objetivo, foram satisfatórios.

PALAVRAS-CHAVE: Estimação de parâmetros. Evolução Diferencial. Sistema oscilatório.

INTRODUÇÃO

O motor de indução trifásico (MIT) pode ser considerado a principal máquina de conversão de energia elétrica em mecânica motriz (GUEDES; CASTOLDI; GOEDEL, 2016). Além disso, os MITs são responsáveis por uma grande parte do consumo de energia elétrica no país, aproximadamente 30% do consumo total de eletricidade (CARDOSO et al., 2009). Estes motores podem apresentar elevada eficiência, em torno de 90%. No entanto, em algumas situações, este número pode ser bem menor, afirma Garcia (2003). Uma das causas principais de baixa eficiência é o dimensionamento inadequado do MIT. Assim, para que um motor funcione corretamente são necessários controle e acionamento adequados e, para isso, seus parâmetros devem ser levados em conta.

Dessa maneira, o objetivo principal do trabalho foi utilizar o algoritmo de evolução diferencial (ED) como forma de estimação de um sistema oscilatório, a fim de que este, futuramente, possa ser utilizado para a estimação dos parâmetros de um MIT.

EVOLUÇÃO DIFERENCIAL

A evolução diferencial, do inglês *differential evolution* (ED), é um algoritmo de otimização evolucionária baseado em teorias darwinianas sobre a evolução de espécies e conceitos relacionados à genética (COSTA, 2015). De acordo com Lopes (2011), se configura como uma das estratégias mais utilizadas para a resolução de problemas da ciência e engenharia. Na identificação de parâmetros de dois motores de indução, usados nas bombas de circulação de casas produzidas pelo fabricante dinamarquês de bombas Grundfos AIS, tem-se como exemplo o uso do DE (Ursem, 2004).

Na evolução diferencial, uma população de cromossomos (vetores de soluções candidatas ao problema) evolui através da aplicação de três operadores genéticos: mutação, cruzamento e seleção, seguindo esta ordem. O modelo que exemplifica a estrutura do ED por ser encontrado, por exemplo, em Guedes (2017).

As equações 1, 2, 3 e 4 são utilizadas para a elaboração desse algoritmo. Na equação (1), $x_{i,j}$ representa o vetor população inicial, $x_{i,U}$ o limite superior e $x_{i,L}$ o inferior. Na equação (2), $v_{i,g}$ é o vetor mutado, F é o fator de ponderação e $x_{r1,g}$, $x_{r2,g}$ e $x_{r3,g}$ são vetores escolhidos aleatoriamente da população para que a mutação possa ser realizada. A equação (3) resume o operador cruzamento, onde $u_{i,g}$ é o vetor cruzado e CR é a probabilidade de cruzamento, atuando como controlador na transmissão das informações dos vetores pais aos filhos. A equação (4) exemplifica a seleção, sendo que $x_{i,g+1}$ é o novo vetor população inicial que pode ser composto por $u_{i,g}$, se o valor da sua função objetivo for menor, caso contrário quem ocupa a posição i é $x_{i,g}$, mas isso acontece apenas para o caso de minimização. Dessa maneira, todo o processo é repetido até ser estabelecido um critério de parada, dado, normalmente, pelo número de gerações.

$$x_{i,j} = x_{i,L} + \text{rand}(x_{i,U} - x_{i,L}) \quad (1)$$

$$v_{i,g} = x_{r1,g} + F(x_{r2,g} - x_{r3,g}) \quad (2)$$

$$u_{i,g} = \begin{cases} v_{i,g} & \text{se } \text{rand} \leq CR \text{ ou } j = j_{\text{rand}} \\ x_{i,g} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

$$x_{i,g+1} = \begin{cases} u_{i,g} & \text{se } f(u_{i,g}) \leq f(x_{i,g}) \\ x_{i,g} & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

MÉTODOS

A implementação consistiu em um algoritmo de evolução diferencial aplicado na estimação de parâmetros de um sistema oscilatório proposto, representado pela equação (5).

$$\text{resp}(t) = xe^{yt} + \cos(zt + k) \quad (5)$$

Para determinar os parâmetros x , y , z e k do sistema oscilatório, a função objetivo (FO) proposta foi minimizada. Tal função consiste na diferença entre as curvas (fornecida e estimada), ponto a ponto. A comparação é feita pelo do método dos mínimos quadrados, apresentado na equação (6).

$$FO = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{\text{resp}_i - \text{resp}1_i}{\text{resp}_i} \right)^2 \quad (6)$$

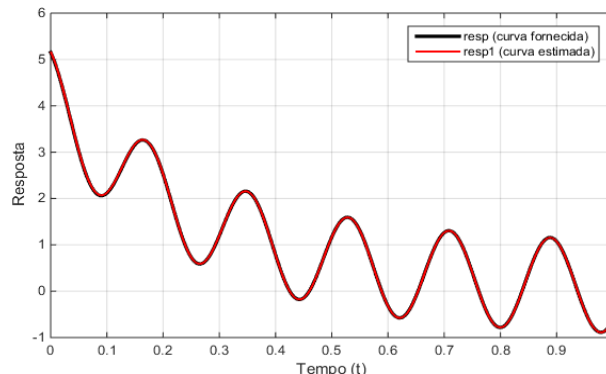
As curvas possuem $n=1001$ pontos atribuídos no mesmo intervalo de tempo. Os valores de F e CR foram 0,8 e 0,5, respectivamente.

RESULTADOS

Os limites definidos para cada parâmetro foram: $0 \leq x \leq 5$; $-5 \leq y \leq 0$; $30 \leq z \leq 40$; e $0,1 \leq k \leq 0,5$.

A população inicial foi constituída por 30 cromossomos com 4 genes cada correspondendo, respectivamente, a x , y , z e k . Esta foi submetida aos operadores genéticos do ED, considerando um número máximo de 1000 gerações. A Figura 1 apresenta a curva estimada sobreposta à curva fornecida.

Figura 1 - Representação gráfica das funções $\text{resp}(t)$ e $\text{resp}1(t)$.



Fonte: MATLAB®, versão 2014b.

Os valores obtidos para os parâmetros x , y , z e k foram 4,2154, -3,7089, 34,9949 e 0,3131, respectivamente, sendo que os valores reais são 4,2, -3,7, 35, 0,31, resultando em um erro máximo de 1% para o parâmetro k . O tempo total de execução foi igual a 69,681 segundos e o erro da minimização da função objetivo foi de $4,7683 \cdot 10^{-5}$.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou resultados satisfatórios via evolução diferencial (ED) para a estimação dos parâmetros x , y , z e k do sistema proposto. Esse fato pôde ser comprovado pelo gráfico da Figura 1, no qual, a curva estimada ficou muito próxima da curva fornecida, como também pelo erro relativo máximo de 1% para o vetor k , pelo intervalo de tempo de execução justo, o baixo custo operacional e o erro para a minimização relativamente pequeno. Por isso, a pesquisa terá continuidade e, futuramente, será voltada para a estimação dos parâmetros de um MIT através da evolução diferencial.

Differential Evolution Applied in the Parameter Estimation of an Oscillatory System

ABSTRACT

OBJECTIVE: This work consists in a study about optimization methods based on intelligent systems that, later, will be applied in the estimation of parameters in a three-phase induction motor (MIT). The specific method chosen for the study was a differential evolution (ED), used in solving a minimization problem, through the estimation of four parameters of the oscillating system. **METHODS:** The simulation was performed following the differential evolution framework and with the use of MATLAB® software, version 2014b, in Acer Aspire notebook with Intel® Core™ i5-3337U processor and 64-bit operating system. **RESULTS:** The values obtained for the parameters x , y , z and k were 4.2154, -3.7089, 34.9949 and 0.3131, obtaining a maximum relative error of 1% for the parameter k . **CONCLUSIONS:** The success of the results obtained is evidenced by the overlap of the provided curve with the estimated curve of the oscillatory system analyzed. That is, the parameters estimated by way of the differential evolution, through the minimization of an objective function, were satisfactory.

KEYWORDS: Parameter estimation. Differential evolution. Oscillatory system.

REFERÊNCIAS

CARDOSO, R. B.; NOGUEIRA, L. A. H.; BORTONI, E. C.; HADDAD, J.; SOUZA, E. P. Avaliação da Economia de Energia Atribuída a Ações de Etiquetagem Energética em Motores de Indução no Brasil. **Revista Brasileira de Energia**, v. 15, n. 1, p. 29-47, 2009.

COSTA, B. L. G. **Metaheurística de otimização aplicadas na sintonia de controladores PI de um acionamento DTC-SVM para motores de indução trifásicos**. 2015. 127 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Cornélio Procópio, 2015.

GARCIA, A. G. P. **Impacto da Lei de Eficiência Energética para Motores Elétricos no Potencial de Conservação de Energia na Indústria**. 2003. 139 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Programas de Pós-Graduação em Planejamento Energético, Rio de Janeiro, 2003.

GUEDES, J. J. **Identificação de falhas de curto-circuito de estator em motores de indução trifásicos utilizando evolução diferencial**. 2017. 69 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Cornélio Procópio, 2017.

GUEDES, J. J.; CASTOLDI, M. F.; GOEDEL, A. **Temperature influence analysis on parameter estimation of induction motors using differential evolution**. IEEE Latin America Transactions, v. 14, n. 9, p. 4097-4105, 2016.

LOPES, H. S.; TAKAHASHI, R. H. C. **Computação evolucionária em problemas de engenharia**. Curitiba, PR: Omnipax, 2011.

URSEM, R. K.; PIERRÉ, V. **Parameter Identification of Induction Motors Using Differential Evolution**. IEEE Congress on Evolutionary Computation, May, 2004.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017

Como citar:

BERNARDES, I. O.; CASTOLDI, M. F. Evolução Diferencial Aplicada na Estimção de Parâmetros de um Sistema Oscilatório. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Iolanda Ortiz Bernardes

Av. Alberto Carazzai, 1640 - Centro, Cornélio Procópio - PR, 86300-000

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

