

APLICAÇÃO DE OTIMIZAÇÃO POR ENXAME DE PARTÍCULAS PARA A ALOCAÇÃO ÓTIMA DE FILTROS ATIVOS EM SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

Luiza Fraga Rosa (IC)¹, Camila Paes Salomon (PQ)¹

¹Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

Palavras-chave: Distorção Harmônica Total. Filtros Ativos. Otimização por Enxame de Partículas. Sistema Elétrico de Potência.

Introdução

O aumento das cargas não lineares nos sistemas elétricos de potência (SEP) tem demandado diversos estudos relacionados à mitigação de problemas advindos de sua utilização. Um dos problemas é a presença indesejada de conteúdo harmônico, que tem a propriedade de causar o fenômeno de ressonância nos sinais da rede, gerando vários problemas no sistema elétrico. Os elementos existentes no SEP são relativamente sensíveis, visto que possuem limites de tolerância ao conteúdo harmônico. Caso esses limites sejam violados, haverá diminuição tanto do rendimento quanto da vida útil do equipamento submetido a essa condição (PAULILO & TEIXEIRA, 2013).

Paralelamente a este contexto, a eletrônica de potência é uma área que tem se desenvolvido nos últimos anos e atualmente abrange um elevado número de aplicações em constante desenvolvimento, como os Sistemas de Transmissão Flexível em Corrente Alternada (do Inglês, *Flexible AC Transmission System – FACTS*), nos quais os conversores eletrônicos de potência formam a base desta aplicação. Assim sendo, a fim de reduzir a distorção harmônica em SEP, uma alternativa é a alocação de filtros ativos, que utilizam a capacidade de um conversor CC-CA para produzir uma tensão ou corrente alternada com qualquer forma de onda. Eles podem ser conectados em série (minimizando a distorção da tensão) ou em paralelo (minimizando a distorção da corrente). A função dos inversores é fazer com que se produza uma corrente ou tensão que siga uma dada referência de modo a compensá-las.

Devido a questões técnicas e econômicas, torna-se importante selecionar os melhores locais e o melhor dimensionamento para inserir filtros ativos no SEP. Tem-se, assim, a alocação ótima de equipamentos, sendo um problema de otimização não linear e multimodal. Para resolver esse tipo de problema, há diversos métodos, incluindo os tradicionais de otimização e algumas técnicas não-convencionais. Uma das técnicas meta-heurísticas que vem sendo utilizadas para problemas em engenharia elétrica é a otimização por enxame de partículas (do Inglês, *Particle Swarm Optimization –*

PSO), que se baseia no comportamento social de um bando de pássaros. O método foi proposto por Eberhart e Kennedy em 1995 e tem como objetivo buscar a solução ótima em um espaço de busca, através da troca de informações entre indivíduos de uma população, determinando qual trajetória cada um deles deverá tomar no espaço de busca.

Dessa forma, a proposta do presente trabalho consiste em examinar a alocação filtros ativos paralelos (*shunt*) em sistemas de distribuição de energia elétrica, com o objetivo de reduzir a taxa de distorção harmônica total da corrente (do Inglês, *Total Harmonic Distortion – THD*), e analisar a influência de alguns parâmetros do PSO sobre os resultados. O filtro ativo paralelo é modelado como uma fonte de corrente monofásica em paralelo, injetando correntes harmônicas que irão reduzir essas distorções. Para isso, se dará continuidade a um trabalho anterior (SANTOS, 2022), utilizando o algoritmo do PSO, a fim de obter a alocação ótima dos filtros. Para tanto, serão utilizados os *softwares* MATLAB e OpenDSS para a implementação, e um sistema de teste de distribuição de 13 barras (KERSTING, 2000) será empregado para verificar o método.

Metodologia

Para chegar na Distorção Harmônica Total são realizados os seguintes passos:

1. Criação dos filtros a serem selecionados como opção: foram retirados do OpenDSS que analisou o programa do sistema IEEE 13 barras modificado (SANTOS, 2020).
2. Criação dos monitores: transferindo os valores de frequência, módulo e ângulo da tensão e corrente, dependendo do número de fases que a barra possui, do OpenDSS para MATLAB.
3. Cálculo THD: Após as leituras dos valores, foram calculadas as distorções harmônicas das tensões e correntes, em cada fase. Assim, todos os valores foram alocados em um arranjo de matrizes.
4. Algoritmo do PSO: Com os valores extraídos de THDv e THDi, de cada fase considerando todas as barras, foi implementada a metodologia de solução do problema baseada em PSO, em que o seu argumento é a melhor

posição da rede para alocar o filtro.

6. Simulações: A partir dos programas descritos, foram feitas as simulações do problema da alocação ótima, utilizando as seguintes relações:

- Meio em que as partículas vivem - Sistema de distribuição;
- Posições das partículas - Posições dos filtros;
- Espaço de busca- 13 Barras do sistema;
- Função objetivo -THDi;
- Melhor global: Melhor posição do sistema para a alocação do filtro.

Encontrando assim a barra para alocação do filtro ativo para que tenha a menor distorção.

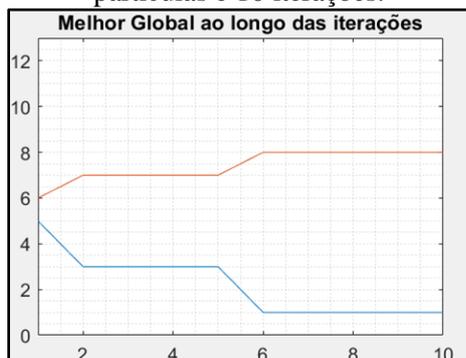
Resultados e discussão

Esta seção apresenta os resultados obtidos a partir dos programas modificados para o uso de dois filtros ativos, foram simulados os seguintes casos:

1. 3 partículas e 10 iterações;
2. 6 partículas e 20 iterações.

Para o estudo de caso 1, foram obtidas as Figuras 1 e 2.

Figura 1 – Melhor global ao longo do caso com 3 partículas e 10 iterações.



Fonte: Autoria própria.

Figura 2 – THDi com 3 partículas e 10 iterações.

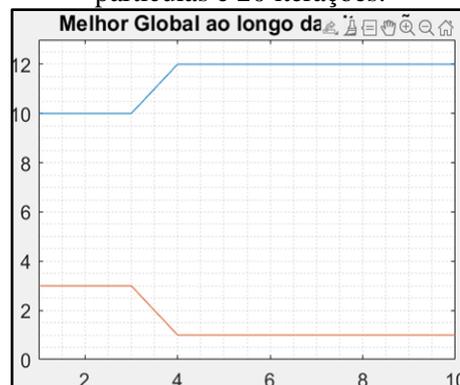


Fonte: Autoria própria.

Para o estudo do segundo caso, foram obtidos os

resultados presentes nas Figuras 3 e 4.

Figura 3 – Melhor global ao longo do caso com 6 partículas e 20 iterações.



Fonte: Autoria própria.

Figura 4 – THDi com 6 partículas e 20 iterações.



Fonte: Autoria própria.

O resultado obtido de THDi foi igual a 11,28% em ambos os casos, os mesmos resultados que foram encontrados para a alocação de apenas um filtro, em que o melhor global estava alocado na barra 1. Notou-se que seria necessário um modelo mais complexo para os filtros, que considerasse a interação entre eles, para poder fazer a alocação de mais de um filtro. Como este desenvolvimento seria complexo, decidiu-se por deixá-lo proposto para um trabalho futuro.

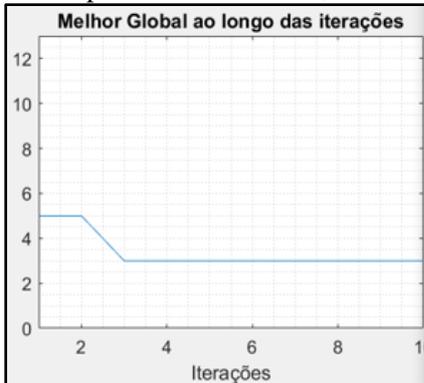
Dando sequência ao trabalho, optou-se por analisar alguns parâmetros do PSO e de que maneira eles iriam influenciar no resultado. Foram feitas simulações com variação do peso de inércia, a fim de averiguar a otimização na aproximação de 0,9 (GARCIA & ONAKA, 2013), os seguintes casos foram realizados:

1. 3 partículas, 10 iterações e peso de inércia 0,4;
2. 3 partículas, 10 iterações e peso de inércia 0,7;
3. 3 partículas, 10 iterações e peso de inércia 2,3.

Nas Figuras 5 e 6 serão apresentados os resultados

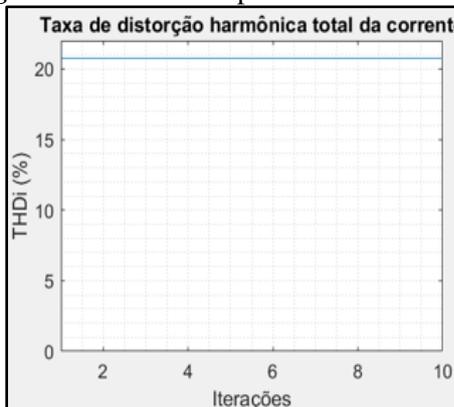
referentes à simulação do primeiro caso.

Figura 5 – Melhor global ao longo das iterações com peso de inércia de 0,4.



Fonte: Autoria própria.

Figura 6 – THDi com peso de inércia de 0,4.



Fonte: Autoria própria.

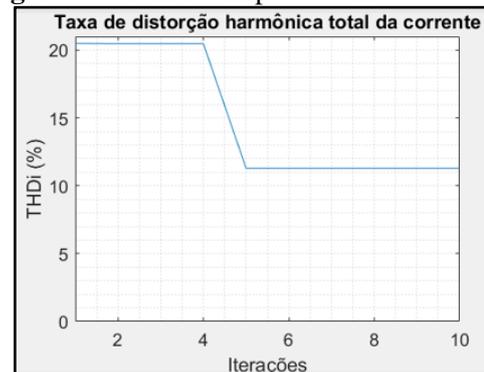
Nota-se que a distorção se manteve alta, em um valor próximo a 20%. Um parâmetro muito abaixo assim, como 0,4, pode impedir que o sistema chegue na sua resposta ideal. As Figuras 7 e 8 apresentam os resultados das simulações do segundo caso.

Figura 7 – Melhor global com peso de inércia de 0,7.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 – THDi com peso de inércia de 0,7.



Fonte: Autoria própria.

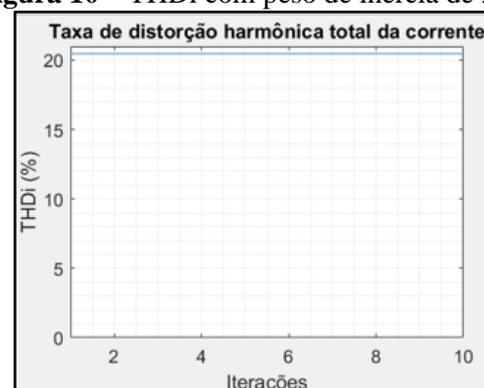
Com o peso de inércia em 0,7, para um mesmo número de partículas e iterações da simulação anterior, obteve-se uma menor distorção. As Figuras 9 e 10 apresentam os resultados de simulação do terceiro caso.

Figura 9 – Melhor global com peso de inércia de 2,3.



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 – THDi com peso de inércia de 2,3.



Fonte: Autoria própria.

Com um valor elevado de peso de inércia não se alcançou o valor aguardado para a distorção, obtendo nele uma operação de resultados com menor qualidade.

Para o estudo da influência da função objetivo, foram feitas simulações modificando a média dos máximos para média das médias e também calculando a mediana dos máximos. Consequentemente os resultados em cada um dos casos foram os seguintes, apresentados pelas Tabelas 1, 2 e 3.

Tabela 1 – Média das máximas

Partículas	Iterações	Posição	THDi [%]
3	10	1	11,2860
5	10		
5	20		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 – Média das médias

Partículas	Iterações	Posição	THDi [%]
5	10	1	5,0557
5	20		
20	30		

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 – Mediana das máximas

Partículas	Iterações	Posição	THDi [%]
3	10	1	9,6421
5	10		
5	20		

Fonte: Autoria própria.

Mesmo em todos os casos a melhor posição sendo a mesma, na barra 1, nota-se uma proporcionalidade entre os resultados. Enquanto para a Tabela 1 foram aproveitadas a distorção máxima de cada fase para obter a média entre elas, nas Tabelas 2 e 3 foram utilizadas o valor médio das distorções de cada fase e a partir delas feitas a média e mediana respectivamente.

Conclusões

Este trabalho apresentou contribuições na alocação ótima de filtros ativos em sistemas de distribuição de energia elétrica utilizando PSO, com o objetivo de minimização da distorção harmônica. Foi desenvolvido um algoritmo em MATLAB e foi utilizado o sistema teste de distribuição de 13 barras do IEEE para a validação da metodologia proposta. As principais contribuições foram testar a alocação de dois filtros, verificar a influência do peso de inércia e verificar a influência da função objetivo sobre os resultados.

Confrontando às alterações realizadas através da variação do parâmetro de peso de inércia, é possível notar a existência de um intervalo ótimo, não se permite que tais valores se afastem demasiadamente de 0,9, mantendo-os em uma proximidade que garante o melhor desempenho.

Quanto à modificação da função objetivo, é perceptível que existe uma relação proporcional clara. Contudo, é importante ressaltar que a ideia de buscar a média dos máximos ainda parece mais vantajosa, uma vez que essa abordagem representa de forma mais aproximada os piores cenários possíveis.

Também se testou na rotina computacional a alocação de dois filtros com o objetivo de reduzir a taxa de distorção harmônica. Contudo, ao se examinar atentamente os resultados obtidos, torna-se evidente que a abordagem utilizada não leva em consideração adequadamente a interferência do segundo filtro na rede. Isso conduz à sugestão de trabalhos futuros em que novas modificações e investigações serão necessárias para aprimorar o algoritmo para a alocação de mais de um equipamento, considerando um modelo mais complexo para o filtro ativo, que leve em conta a interação entre eles.

Agradecimentos

Agradeço à professora e orientadora Camila Paes por todo apoio prestado. Agradeço aos meus colegas pela troca de informações. Minha sincera gratidão à Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, e ao órgão de fomento CNPq por todo o suporte à pesquisa em todo o Brasil, em especial pela bolsa financiada a mim.

Referências

- PAULILO, Gilson & TEIXEIRA, Mateus Duarte. **Qualidade de energia: Harmônicos - conceitos**. Cap. 2. Revista O Setor Elétrico, 2013. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2013/03/Ed85_fasciculo_qualidade_cap2.pdf. Acesso em: 16 jul. 2023.
- KERSTING, W. H. **Radial Distribution Test Feeders**. IEEE Distribution System Analysis Subcommittee. Seattle: [s.n.]. 2000. p. 908-912.
- SANTOS, Y. A. **Simulação e avaliação do impacto da inserção de um filtro ativo paralelo de potência em sistemas de distribuição**. Orientador: Camila Paes Salomon. 2020. 104 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI, Itajubá - MG, 2020.
- SANTOS, J. L. A. **Aplicação de otimização por enxame de partículas para a alocação ótima de filtros ativos em sistemas elétricos de potência**. Orientador: Camila Paes Salomon. 2022.
- GARCIA, E. P. & ONAKA, J. M. **Uso de técnicas de otimização por enxame de partículas aplicadas na alocação e dimensionamento ótimo de banco capacitores em sistemas de distribuição de energia elétrica** Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/85123/194129.pdf?sequence=/>. Acesso em: 11 set. 2023.