

INFORMAÇÕES GERAIS DO TRABALHO

Título do Trabalho: Estudos sobre a capacidade de hospedagem de geração distribuída em sistemas elétricos de potência.

Autor (es): Carine Flávia Dos Reis, Rarena Kellen Reis Pedrosa, Thuanny Reis Neves, Prof. Dr. Renan Souza Moura, Prof. Dr. Carlos Renato Borges dos Santos

Palavras-chave: Margem de carga. Curva PV. MATLAB.

Campus: Formiga.

Área do Conhecimento (CNPq): Sistemas Elétricos De Potência.

RESUMO

Há um crescente interesse em inserir fontes de energias renováveis nos sistemas elétricos de potência. Para isso, é preciso conhecer a potência máxima que pode ser instalada em sistema que não cause problemas operacionais. Esta potência máxima é definida como a capacidade de hospedagem de geração distribuída do sistema, ou seja, o quanto de potência um barramento é capaz de receber sem que o sistema entre em colapso, gerando problemas de instabilidade de tensão. Para analisar quais os lugares mais apropriados para inserir estas fontes, a técnica do vetor tangente será utilizada, enquanto que os valores de potência são calculados através da implementação de um algoritmo genético, que buscará as melhores soluções, dentro de um conjunto, por meio de técnicas evolutivas. Para analisar se um indivíduo é mais bem condicionado que o outro, a curva PV, responsável por indicar o máximo carregamento de um sistema elétrico, é utilizada como função objetivo. A metodologia será testada em dois sistemas testes do IEEE e em um sistema real. Em todas as simulações os limites operacionais dos sistemas analisados serão considerados.

INTRODUÇÃO:

Para inserir qualquer elemento em um sistema elétrico de potência (SEP), deve-se observar a existência de algum parâmetro máximo que possa causar problemas operacionais caso seja violado. Este parâmetro máximo é denominado como a capacidade de hospedagem e quando associado ao suporte de potência reativa e excedido, pode levar o sistema ao colapso de tensão. (LEAL, 2017)

Uma vez associada principalmente aos sistemas fracos, os problemas de estabilidade de tensão são agora uma fonte de preocupação em redes altamente desenvolvidas, como resultado de cargas mais pesadas e transferências de energia em longas distâncias. Conseqüentemente, a estabilidade de tensão é cada vez mais abordada no planejamento do sistema e nos estudos operacionais (CSANNYI, 2010).

Os estudos sobre o teorema da Máxima Transferência de Potência (MTP) trazem importantes conceitos que permitem compreender o fenômeno da instabilidade de tensão em sua forma simples. Sob o ponto de vista da análise estática, o teorema da MTP define um limite da rede em relação à potência entregue à carga, que tem sido considerado como o ponto crítico da estabilidade de tensão para cargas do tipo potência constante. (KUNDUR, 1994).

O cálculo de fluxo de potência permite determinar as condições operativas de um sistema elétrico de potência em regime permanente (Monticelli, 1983). Devido a não linearidade das equações que descrevem um sistema elétrico de potência, este trabalho utilizará o método iterativo de Newton-Raphson, onde a seguinte analogia matemática elétrica indicada pela Tabela 1 é considerada:

Tabela 1 - Analogia matemática elétrica do processo de fluxo de potência.

Matemático	Físico
$f(x)=0$	$\sum P=0$ $\sum Q=0$
x (variável de estado)	V e θ (variáveis de estado)
$x \Rightarrow$ solução. Interrompe-se o processo quando a diferença entre duas soluções for menor que uma tolerância ε	Aceitar uma tolerância, neste caso, equivale a aceitar uma pequena violação na lei de Kirchoff

Fonte: MOURA e ETO (2007).

Em fenômenos de instabilidade de tensão em formas mais lentas, a análise é realizada frequentemente como um problema de estabilidade estática, em que simulações de fluxo de potência são métodos de estudos primários. Algumas técnicas de análise baseadas em fluxos de potência são as curvas do tipo PV e QV, as quais determinam limites de carregamento para a operação do sistema em estado estável e suporte de potência reativa, respectivamente (TAYLOR, 1994).

A curva PV é uma importante ferramenta para a análise de estabilidade de tensão em estudos de sistemas radiais ou multiterminais, a qual relaciona a tensão em um determinado barramento com seu respectivo crescimento de carregamento. O uso dessa curva é um dos mais adotados em análises estáticas. (LEAL, 2017).

A obtenção da curva em determinado barramento do SEP é feita pelo aumento contínuo da carga neste barramento, mantendo seu fator de potência constante, onde tensão e a potência são monitoradas. Para cada aumento de carga, a partir do caso base, um problema de fluxo de potência é resolvido e os pontos de equilíbrio obtidos definem o traçado da curva. Assim, a partir do levantamento da curva PV, é possível realizar uma avaliação rápida e simples das condições críticas do sistema elétrico, permitindo a análise de diversos cenários. (LEAL, 2017).

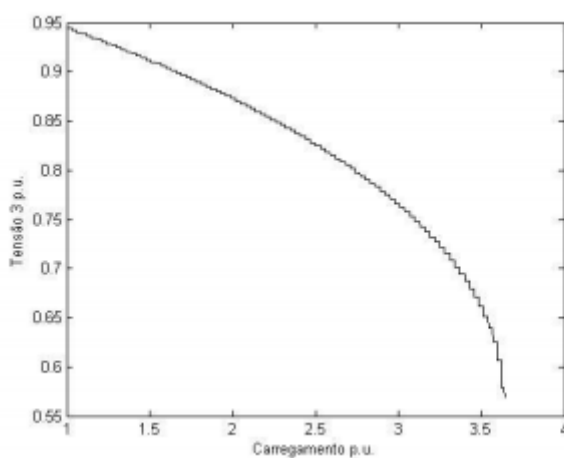
O algoritmo genético é utilizado neste trabalho para calcular a capacidade de hospedagem de geração distribuída que não cause problemas relacionados com o suporte de potência reativa. Este algoritmo consiste em uma técnica evolutiva, que tem por objetivo encontrar qual a melhor solução para um problema utilizando conceitos de genética básica. Populações de indivíduos são criados e submetidos a operadores genéticos, tais como seleção: busca indivíduos mais aptos para a solução do problema; recombinação: realiza o cruzamento entre dois indivíduos para se obter novos indivíduos; e mutação: modifica a estrutura um indivíduo selecionado aleatoriamente para se obter novas opções (LINDEN, 2012).

A utilização do algoritmo genético como solução do problema foi escolhida devido à sua robustez. Entre suas principais vantagens estão: a forma com que a técnica trabalha utilizando parâmetros codificados, e não os parâmetros propriamente ditos; partir de uma população de soluções alternativas e não de uma única solução ao realizar as simulações; e a utilização de regras de transição probabilísticas e não determinísticas (KAGAN et al., 2009).

O método empregado para obter curvas PV's se dá por sucessivas soluções do fluxo de potência. A cada nova convergência, realiza-se o incremento de carga no sistema elétrico a fim de obter a tensão em cada um dos barramentos do sistema.

Por meio dessa curva, Figura 1, é possível relacionar a tensão em um determinado barramento de acordo com o aumento de sua carga. Assim, é possível determinar o ponto de máximo carregamento, que é a máxima carga que pode ser inserida nesse barramento. A distância entre o ponto operacional inicial e o máximo carregamento é a margem de carga desse sistema (Moura, 2016).

Figura 1- Modelo de Curva PV



Fonte: MOURA (2016).

Primeiramente, por meio de um *software* elaborado pelos autores, foram obtidas as margens de carregamento para os sistemas testes do IEEE de 14 barras e 30 barras, e para o sistema sul-sudeste brasileiro. Esses valores foram comparados com a bibliografia, e estão de acordo com os resultados encontrados em (Moura, 2016). Esses valores são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Ponto de máximo carregamento dos sistemas teste do IEEE.

Sistemas	Margem de carga [pu]
14 barras	1.93
30 barras	1.55
Sistema Sul Sudeste	1.11

Fonte: Autores.

Para ampliar a margem de carregamento será utilizado o algoritmo genético.

A primeira etapa para a elaboração do algoritmo é determinar a função objetivo em questão. No caso deste trabalho a função objetivo é a curva PV para a determinação do ponto de máximo carregamento.

Feito isto, é realizada a seleção dos indivíduos da primeira geração do algoritmo. Essa seleção é determinada de maneira aleatória. Assim, os indivíduos mais aptos dessa primeira geração são escolhidos

para efetuarem cruzamento por meio da “Roleta viciada”, onde os indivíduos com maior “peso”, ou seja, chances de melhor solução, terão maior probabilidade de serem escolhidos, e os de menor peso terão, conseqüentemente, menor chance. A roleta seleciona esses indivíduos tendo como função a curva PV. Assim, podemos dizer que inicialmente o algoritmo tem uma natureza aleatória, mas depois a própria seleção natural (cruzamento e mutação) faz o trabalho de conhecer os mais aptos.

No problema em questão, os indivíduos são formados por todos os barramentos pertencentes a área crítica. As áreas críticas foram calculadas através da técnica do vetor tangente e estão indicadas na Tabela 3.

Tabela 3: Áreas críticas obtidas pelo método do vetor tangente.

Sistemas	Barras pertencentes a área crítica
14 barras	4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14
30 barras	25, 27, 28, 29, 30
Sistema Sul Sudeste	6, 8, 63, 64

Fonte: Autores.

Cada indivíduo é constituído por genes, cuja formação é dada por potências ativas e potências reativas geradas. Todos os indivíduos compõem a população e seu número equivale a quantidade de barras do sistema escolhido. Para sistemas ímpares, como sistema sul sudeste (65 barras), o número de indivíduos é acrescido de um, pois um cruzamento dois a dois é realizado, resultando em outros dois, os quais farão parte da próxima geração.

Na fase de cruzamento é levada em conta a possibilidade de mutação. Neste trabalho, a mutação considerada foi de 1%. Para implementá-la é sorteado um número entre 0 e 99, caso o número zero for o selecionado, o indivíduo sofrerá mutação em um de seus genes, do contrário, o indivíduo permanece sem nenhuma alteração

Este processo, se repete até se obter o número de gerações desejadas. No algoritmo implementado optou-se por realizar 50 gerações. Ao fim do processo, será determinada a melhor solução para a margem de carregamento do sistema escolhido.

RESULTADOS E DISCUSSÕES:

Ao utilizar a técnica de busca do algoritmo genético para calcular a capacidade de hospedagem que permite o aumento da margem de carga, observam-se os seguintes valores de margem de carregamento dos sistemas indicados pela Tabela 4.

As potências geradas ativas e reativas, encontradas pela técnica de busca do algoritmo genético, são mostradas nas Tabelas 5 e 6, respectivamente. Os valores de potência das Tabelas 5 e 6, quando combinados na inicialização do cálculo da curva PV, permitem o aumento de carga indicado pela Tabela 4.

Tabela 4: Novos valores de máximo carregamento dos sistemas teste do IEEE utilizando algoritmo genético.

Sistemas	Barras críticas	Margem de carga [pu]	Aumento da margem [%]
14 barras	4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14	3,3540	73,78
30 barras	25, 27, 28, 29, 30	1,6640	7,36
Sul Sudeste	6, 8, 63, 64	1,1850	6,76

Fonte: Autores.

Tabela 5: Potências ativas geradas nas barras críticas.

Sistemas	Barras críticas	Potências ativas nas barras críticas (p.u. na base de 100 MVA)
14 barras	4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14	$P_{G4} = -0,1506$ $P_{G6} = -0,6987$ $P_{G7} = 0,8328$ $P_{G9} = -0,3308$ $P_{G10} = 0,1283$ $P_{G12} = -0,3606$ $P_{G13} = 1,3025$ $P_{G14} = 1,4099$
30 barras	25, 27, 28, 29, 30	$P_{G25} = 0,5838$ $P_{G27} = -0,3439$ $P_{G28} = 0,7756$ $P_{G29} = 0,1163$ $P_{G30} = 0,1459$
Sul Sudeste	6, 8, 63, 64	$P_{G6} = 1,7958$ $P_{G8} = 0,6607$ $P_{G63} = 2,5088$ $P_{G64} = 1,0635$

Fonte: Autores

Tabela 6: Potências reativas geradas nas barras críticas.

Sistemas	Barras críticas	Potências reativas nas barras críticas (p.u. na base de 100 MVA)
14 barras	4, 6, 7, 9, 10, 12, 13, 14	$Q_{G4} = 0,5047$ $Q_{G6} = -0,2004$ $Q_{G7} = -0,2569$ $Q_{G9} = 0,2268$ $Q_{G10} = 1,0989$ $Q_{G12} = 0,0736$ $Q_{G13} = 2,2957$ $Q_{G14} = 1,3763$
30 barras	25, 27, 28, 29, 30	$Q_{G25} = 1,4587$ $Q_{G27} = 0,0576$ $Q_{G28} = -1,5025$ $Q_{G29} = 1,7457$ $Q_{G30} = 0,3647$

Sul Sudeste	6, 8, 63, 64	$Q_{G6} = 0,4902$ $Q_{G8} = 0,0530$ $Q_{G63} = -0,6442$ $Q_{G64} = -0,3712$
--------------------	--------------	--

Fonte: Autores.

O maior aumento percentual de margem de carga no sistema com 14 barramentos se deve ao fator que área crítica, formada pela barra crítica e as suas duas primeiras vizinhanças, corresponde a 57% da quantidade de barramentos deste sistema.

Embora o aumento de margem percentual seja menor nos sistemas com 30 barramentos e o sistema sul sudeste, a quantidade de potência de carga que é atendida em valores reais é maior quando comparado com o sistema de 14 barramentos.

CONCLUSÕES:

Com a elaboração deste trabalho foi possível realizar o cálculo da capacidade de hospedagem do sistema elétrico de potência utilizando o algoritmo genético.

Com tal implementação, nota-se um incremento significativo na margem de carregamento em dois sistemas testes do IEEE e um sistema real brasileiro. Este resultado proporciona uma solução vantajosa, caso seja necessária uma ampliação da rede elétrica, evitando-se condições operativas indesejadas, caso o limite da capacidade de hospedagem seja violado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CSANNYI, E. Historical review of power system stability problems. Electrical Engineering Portal. 2010. Disponível em: <<http://electrical-engineering-portal.com/historical-review-of-power-system-stability-problems>>. Acesso em: 19 fevereiro 2018.

KAGAN, Nelson; SCHMIDT, Hernán Prieto; DE OLIVEIRA, Carlos César Barioni; KAGAN, Henrique. Métodos de otimização aplicados a sistemas elétricos de potência. São Paulo: Blucher, 2009.

KUNDUR, P. Power System Stability and Control. New York: McGraw-Hill, 1994.

LEAL, R. R. Otimização da alocação de capacitores shunt para aumento da margem de carga em sistemas elétricos de potência, utilizando algoritmo genético. 2017. Dissertação (trabalho de conclusão de curso) - Instituto Federal de Minas Gerais (IFMG), Formiga, 2017.

LINDEN, Ricardo. Algoritmos genéticos, Uma importante ferramenta de inteligência computacional. 2012. 2ª Ed. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=it0kv6UsEMEC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acessado em: 31 de maio de 2018.

MONTICELLI, Alcir José. Fluxo de carga em redes de energia elétrica. São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1983. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/professor/8/Liv-Monticelli%20Fluxo%20De%20Carga-1983.pdf>>. Acessado em: 31 maio 2018.

MOURA, R.S.; ETO, T.T. Efeito do controle de tensão em problemas de colapso de tensão. 2007. Nf 8. Trabalho de conclusão de curso – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

MOURA, Renan Souza. Estudo do efeito do tipo da curva QV em simulações dinâmicas em sistemas elétricos de potência. 2016. Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá. 2016.

TAYLOR, C. W. Power system voltage stability. New York: McGraw-Hill Inc, 1994. 273 p.