



CRICTE 2017

XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia



ALGORITMO DE FLUXO DE POTÊNCIA BACKWARD/FORWARD TRIFÁSICO PARA SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Jorge L. Richter

Egresso do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI)

eletrjorge25@gmail.com

Edenilso Toniolo

Mestrando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM)

edenilso@gmail.com

Rafael O. G. Carvalho

Egresso do curso de Engenharia Elétrica pela Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI)

gutler.rafael@gmail.com

Resumo. *Este artigo apresenta o estudo do desenvolvimento de um algoritmo de fluxo de potência trifásico. Foi utilizado o método de soma das correntes baseado na técnica backward/forward, considerando sua aplicação em redes assimétricas e desequilibradas. Foram consideradas as impedâncias mútuas dos cabos, os limites de potência ativa e reativa, as magnitudes de tensão nas barras, os ajustes dos taps de reguladores de tensão e limites de transmissão de potência ativa. O algoritmo foi desenvolvido em Matlab, seu desempenho foi analisado com a aplicação na rede IEEE34 barras. Foram obtidos os valores das tensões em cada barra, bem como as perdas, o algoritmo se mostra útil, entre outras aplicações, para uso em reconfiguração de redes de distribuição de energia.*

Palavras-chave: Fluxo de potência trifásico. Método backward/Forward. Redes de distribuição.

1. INTRODUÇÃO

A proposta deste trabalho aborda o desenvolvimento de um algoritmo de Fluxo de Potência Trifásico de uso genérico, rápido e eficiente para sistemas de distribuição

desequilibrados, que permita auxiliar na tomada de decisões em mercados de energia elétrica de tempo real. Para seu uso é necessário informar os parâmetros de simulação, estes parâmetros poderão ser alterados manualmente ou via software, tornando-o versátil. Esta abordagem difere da abordagem convencional unifilar e com cargas modeladas em potência constante [1] e nos aspectos relacionados à utilização das variáveis de controle do problema nas simulações.

O estudo é viabilizado através do sistema teste de distribuição do IEEE de 34 barras, sendo que todas as análises decorrentes são implementadas e validadas dispondo de um algoritmo computacional e de saídas gráficas compiladas no software MATLAB.

2. MODELAGEM DA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Os modelos utilizados para a representação das cargas dependem basicamente do tipo de estudo a ser realizado, podendo ser desde uma análise de fluxo de potência e curto-circuito, que retratam uma dada condição de regime permanente, a uma análise dinâmica de estabilidade e/ou

transitórios eletromagnéticos, conforme Barbosa [2].

As redes de distribuição de energia elétrica possuem topologia radial na distribuição primária e também na secundária, sendo assim, o fluxo de potência sempre fluirá em uma única direção, caso exista somente uma fonte de alimentação, conforme Cheng *et al.* [3]. Na Figura 1 está representado um trecho trifásico e os componentes a serem considerados na modelagem, segundo Pizzali [4] e Richter [5].

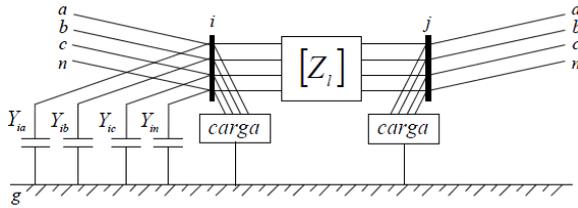


Figura 1. Representação do trecho trifásico.

Todo o desenvolvimento matemático é arranjado matricialmente considerando cinco condutores, sendo as três fases e o neutro, o que não impede de utilizar o algoritmo para redes que possuam apenas as três fases. O procedimento matemático utilizado segue o que está disposto na Ref. [4] e Ref. [5], de onde são oriundos todos os termos dispostos nas equações Eq. (1), Eq. (2), Eq. (3), Eq. (4) e Eq. (5). A matriz de impedância de cada trecho está representada em Eq. (1), o cálculo da corrente em cada barra se dá através de Eq. (2). A corrente total em cada trecho é definida por Eq. (3). A queda de tensão em cada trecho é alcançada através da Eq. (4), por fim as perdas são calculadas para cada trecho por Eq. (5).

$$[Z_{l3\phi}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} & Z_{ag} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} & Z_{bg} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} & Z_{cn} & Z_{cg} \\ Z_{an} & Z_{bn} & Z_{nc} & Z_{nn} & Z_{ng} \\ Z_{ag} & Z_{bg} & Z_{gc} & Z_{ng} & Z_{gg} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} I_{ia}^{(k)} \\ I_{ib}^{(k)} \\ I_{ic}^{(k)} \\ I_{ig}^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (S_{ia}/V_{ia})^{*(k-1)} \\ (S_{ib}/V_{ib})^{*(k-1)} \\ (S_{ic}/V_{ic})^{*(k-1)} \\ -\frac{Z_{gi}}{Z_{mni} + Z_{gi}} (I_{ia}^{(k)} + I_{ib}^{(k)} + I_{ic}^{(k)}) \\ -\frac{Z_{gi}}{Z_{mni} + Z_{gi}} (I_{ia}^{(k)} + I_{ib}^{(k)} + I_{ic}^{(k)}) \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} J_{ia}^{(k)} \\ J_{ib}^{(k)} \\ J_{ic}^{(k)} \\ J_{ig}^{(k)} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} I_{ia}^{(k)} \\ I_{ib}^{(k)} \\ I_{ic}^{(k)} \\ I_{ig}^{(k)} \end{bmatrix} + \sum_{m \in M} \begin{bmatrix} J_{ia}^{(k)} \\ J_{ib}^{(k)} \\ J_{ic}^{(k)} \\ J_{ig}^{(k)} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Onde:

$J_{ia}, J_{ib}, J_{ic}, J_{in}, J_{lg}$ Correntes atuais (k) do trecho (ramo l).

$I_{ia}, I_{ib}, I_{ic}, I_{in}, I_{lg}$ Representam as correntes atuais (k) do nó j.

$J_{ma}, J_{mb}, J_{mc}, J_{mn}, J_{mg}$ Correntes atuais trechos à jusante do nó j.

$$\begin{bmatrix} V_{aa'} \\ V_{bb'} \\ V_{cc'} \\ V_{gg'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a - V_{a'} \\ V_b - V_{b'} \\ V_c - V_{c'} \\ V_g - V_{g'} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{aa} & \bar{Z}_{bc} & \bar{Z}_{bn} & \bar{Z}_{bg} \\ \bar{Z}_{bc} & \bar{Z}_{cc} & \bar{Z}_{cn} & \bar{Z}_{cg} \\ \bar{Z}_{bn} & \bar{Z}_{nc} & \bar{Z}_{nn} & \bar{Z}_{ng} \\ \bar{Z}_{bg} & \bar{Z}_{gc} & \bar{Z}_{ng} & \bar{Z}_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ I_g \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$[Perdas] \cong \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} & Z_{an} & Z_{ag} \\ Z_{ab} & Z_{bb} & Z_{bc} & Z_{bn} & Z_{bg} \\ Z_{ac} & Z_{bc} & Z_{cc} & Z_{cn} & Z_{cg} \\ Z_{an} & Z_{bn} & Z_{cn} & Z_{nn} & Z_{ng} \\ Z_{ag} & Z_{bg} & Z_{cg} & Z_{ng} & Z_{gg} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J_{ia}^2 \\ J_{ib}^2 \\ J_{ic}^2 \\ J_{in}^2 \\ J_{lg}^2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Onde:

J_{lx} Representam as correntes que fluem no trecho l onde (x = a, b, c, n, g)

Z_{xx} Representam as impedâncias próprias do trecho l onde (x = a, b, c, n, g)

Z_{xy} Representam as impedâncias mútuas do trecho l onde (x = a, b, c, n, g; y = a, b, c, n, g; $\forall x \neq y$)

3. CÁLCULO DO FLUXO DE POTÊNCIA

O método de cálculo executado pelo algoritmo se dá de maneira iterativa, onde são considerados os dados da rede e o algoritmo calcula valores aproximados, sendo estes valores atualizados (em matrizes) a cada iteração.

Os dados da rede são dispostos através de uma planilha do Excel que contém as informações físicas da rede (composição, cabos, estruturas, ligações, cargas, tensão inicial). Então o algoritmo efetua uma sequência de cálculos e atualização de valores até que se chegue a um resultado apropriado, conforme disposto na Ref. [5]. Cada iteração do algoritmo composta por três etapas distintas.

3.1 Etapa Backward

Na iteração atual (k), calculam-se e atualizam-se todas as correntes em cada barra (considerando a tensão anterior (k^{-1}) em cada barra e a potência alimentada pela mesma) através da Eq. (2).

Com base nas atuais correntes em cada barra são calculadas as correntes acumuladas em cada trecho utilizando Eq. (3).

3.2 Etapa Forward

Na iteração atual (k), calcula-se todas as quedas de tensão de cada trecho através de Eq. (4). Posteriormente são atualizadas as tensões de cada barra através da relação entre a tensão de fornecimento e a queda de tensão em cada trecho, segundo a lei de Kirchhoff para tensão.

3.3 Critério de parada

Ao fim de cada iteração são comparadas as tensões atuais e anteriores em cada barra, caso o erro seja menor que o estipulado o cálculo do fluxo de potência chega ao fim, onde as perdas em cada trecho são estipuladas através da Eq. (5).

4. APLICAÇÃO DO ALGORITMO

Aplicamos o algoritmo desenvolvido segundo a Ref. [5] em uma rede padronizada que está ilustrada na Figura 2, os dados desta rede, que foram utilizados, estão dispostos na IEEE [6].

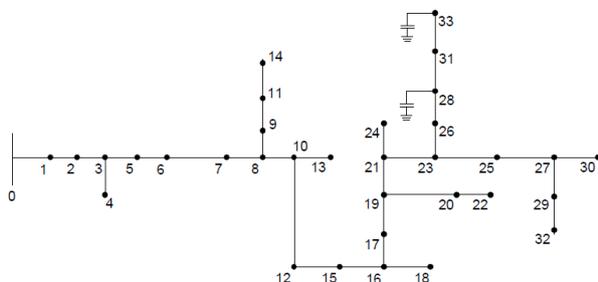


Figura 2. Rede IEEE 34 barras adaptada

A execução do algoritmo convergiu para os valores de tensão que estão expressos

normalizados por unidade (pu) no eixo vertical em relação às barras (eixo horizontal) na Figura 3.

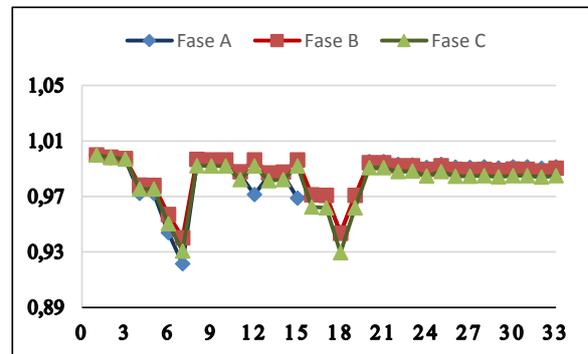


Figura 3. Tensões resultantes do algoritmo

Quadro 1. Perdas calculadas

Send	Receive	Perda(W) A	Perda(W) B	Perda(W) C
1	2	1235	786	269
2	3	837	500	155
3	4	15771	8804	2432
4	5	0	0	0
4	6	18597	9595	2665
6	7	14744	7607	2113
7	8	7	3	2
9	10	153	0	0
9	11	3022	3288	2363
10	12	3513	0	0
12	15	198	0	0
11	14	0	0	0
11	13	262	236	183
13	16	6248	5767	4405
16	17	146	144	97
20	22	424	863	83
20	21	0	0	0
24	26	135	11	175
24	27	10	11	22
28	31	0	0	0
28	30	10	4	2
27	29	45	50	108
29	32	3	1	8
32	34	0	0	1
8	9	212	87	61
18	20	3	3	2
17	19	0	0	0
17	18	10385	10118	6845
22	25	0	0	0
22	24	462	994	54
26	28	252	60	96
30	33	0	138	0
21	23	344	33	297

Os valores obtidos para as perdas em cada trecho estão dispostos no Quadro 1, sendo que alguns trechos não possuem todas as fases e alguns trechos representam os reguladores de tensão, justificando alguns valores nulos obtidos.

5. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o resultado de uma simulação realizada com o algoritmo de fluxo de potência trifásico desenvolvido, os resultados obtidos foram positivos e similares aos obtidos em Ref. [4]. Destaca-se também o fato deste algoritmo ser de característica genérica, sendo útil para a construção de algoritmos de otimização de redes de distribuição, bem como no algoritmo para cálculo de reconfiguração de redes de distribuição.

O algoritmo para cálculo do fluxo de potência vem demonstrando há anos o quão importante se fazem as ferramentas computacionais, levando em consideração apenas o algoritmo para cálculo de fluxo de potência, podemos observar que sem esta ferramenta seria inviável operar o sistema elétrico de potência nos dias atuais.

REFERÊNCIAS

- [1] M. A. D. d. Almeida, M. F. d. M. Jr. e D. B. F. Silveira, “Estimating Loads in Distribution Feeders Using a State Estimator Algorithm with Additional Adjustment of Transformers Loading Factors,” in International Symposium on Circuits and Systems- ISCAS, IEEE, 2003.
- [2] A. S. BARBOSA, Fluxo de Potência em Sistemas de Distribuição: Aplicações Práticas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba., Campina Grande, p. 124, Dezembro 1995.
- [3] C. S. CHENG e D. A. SHIRMOHAMMADI, three-phase power flow method for real-time distribution systems analysis. IEEE

Transactions on Power Systems, Vol. 10, No. 2, p. 671-679, 1995.

- [4] L. F. O. PIZZALI, Cálculo de Fluxo de Potência em Redes de Distribuição com Modelagem a Quatro Fios, Ilha Solteira - SP, Maio 2003. 120p.
- [5] J. L. RICHTER, Algoritmo para Cálculo do Fluxo de Potência Trifásico a Quatro Condutores em Redes de Distribuição Primária. 2016. 76f. Monografia (Graduação em Engenharia Elétrica). Universidade Regional do Noroeste do Rio Grande do Sul (UNIJUI - RS). Ijuí, RS.
- [6] IEEE, PES Distribution test feeders, IEEE 34 Node Test Feeder. Power Engineering Society. Available IEEE/PES Switchgear Committee web site: <http://ewh.ieee.org/soc/pes/dsacom/testfeeders/index.html>.