

UM ALGORITMO GENÉTICO PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS EM REDES AÉREAS RADIAIS DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Helton do Nascimento ALVES (1); Raphaela Carvalho MACHADO (2)

(1) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão - IFMA, Avenida Getúlio Vargas, nº 4, Monte Castelo, São Luís - MA, e-mail: helton@ifma.edu.br

(2) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão -IFMA, Avenida Getúlio Vargas, nº 4, Monte Castelo, São Luís - MA, e-mail: raphaela.ic@ifma.edu.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um algoritmo para localização de faltas em redes aéreas radiais de distribuição de energia elétrica. Uma falta em uma rede elétrica pode ser detectada e ter seus efeitos isolados desde que os dispositivos de proteção operem com confiabilidade e rapidez. Assim, é necessário um sistema de proteção eficaz para detectar a ocorrência de uma falta e localizá-la, auxiliando o pessoal da operação na correção e restabelecimento do sistema. Como ferramenta algorítmica para o desenvolvimento do método proposto, foi utilizado um algoritmo genético. Uma ferramenta matemática também aplicada neste método é o fluxo de potência baseado na técnica *backward-forward*. Um alimentador aéreo real de 103 barras não-transpostas foi utilizado para avaliar o algoritmo proposto. Os resultados obtidos mostram que o algoritmo é eficiente na localização de faltas envolvendo curtos-circuitos. Esse trabalho faz parte de uma pesquisa mais ampla que visa a implementação de um *software* de diagnóstico de faltas para ser aplicado remotamente nas concessionárias e geradoras da região.

Palavras-chave: localização de faltas, algoritmo genético

1 INTRODUÇÃO

Normalmente podem ocorrer faltas em redes aéreas de distribuição de energia elétrica, ocasionando a interrupção do fornecimento de energia, podendo também gerar danos aos equipamentos instalados na rede, diminuindo assim a confiabilidade do sistema.

Quando a tarefa de diagnóstico de faltas é feita com rapidez e eficácia, diminui-se o tempo de paradas não-programadas nas instalações elétricas, pois quando selecionada a hipótese correta, a equipe de manutenção pode rapidamente ser acionada para solucionar o problema.

Diversos trabalhos têm sido publicados ao longo dos anos buscando minimizar o tempo de interrupção do fornecimento de energia durante eventuais faltas. Diante do rápido avanço tecnológico, diversas técnicas podem atualmente ser aplicadas para a tarefa de diagnóstico de faltas.

Um método utilizando dispositivos programáveis é apresentado por De Souza (2008). Este método propõe uma arquitetura reconfigurável usando dispositivos lógicos programáveis capazes de detectar e classificar faltas em sistemas de potência. Fernando H. et al utiliza um método baseado na análise dos sinais transitórios de faltas ocorridas ao longo de um sistema radial para identificar a falta e localizar seu ponto de ocorrência. Outro método utilizando relés de corrente diferencial nas três fases é proposto por Izykowski (2007). Este método usa os valores da corrente e fasores de tensão para estabelecer o diagnóstico de faltas.

A literatura também propõe a utilização de técnicas de inteligência artificial (IA) para a tarefa de diagnóstico de faltas. As técnicas de IA se adequam bem a esta tarefa, pois não necessitam de formulações analíticas e ainda assim apresentam soluções satisfatórias. Dentre estas técnicas destacam-se as redes neurais artificiais (VALE, 2006), a lógica difusa (CHEN et al, 2000), os algoritmos genéticos (AG) (WEN e CHANG, 1997) e

a busca tabu (CHANG e WEN, 1998). A aplicação de outros métodos, tais como sistemas imunológicos artificiais (SIA) também são encontrados na literatura (MACHADO et al, 2009).

2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

O sistema de distribuição de energia elétrica vem apresentando ao longo dos anos um aumento na sua demanda devido ao crescimento populacional e desenvolvimento industrial. Esse aumento tem tornado maiores as exigências dos padrões de qualidade e continuidade de energia elétrica, de modo a garantir que estes sistemas operem em condições normais evitando assim danos às instalações. Minimizar o tempo de paradas não programadas é fundamental para alcançar esse padrão.

As tradicionais práticas de diagnóstico de faltas em redes de distribuição se baseiam no julgamento dos operadores, levando em conta suas experiências em análise e planejamento de ações corretivas. Durante a ocorrência de uma falta em subestações automatizadas, os sinais de alarmes recebidos indicando anormalidade, caracterizam-se pelo status da atuação dos relés e dos disjuntores e em tempo mínimo, os operadores devem estimar a situação do defeito. Assim, em vista dos complexos sistemas de distribuição existentes, realizar a automação de forma eficiente é considerado uma tarefa difícil, se os procedimentos adotados baseiam-se somente nos operadores humanos. Devido a esses fatores, torna-se imprescindível o uso de ferramentas de apoio à operação do sistema, capazes de aumentar a sua confiabilidade, reduzindo o número e/ou duração de paradas não programadas das instalações.

3 ALGORITMOS GENÉTICOS

Propostos inicialmente por Holland (1976), os algoritmos genéticos (AG's) são uma técnica computacional aplicados na solução de problemas de otimização, onde tendo como inspiração a teoria da evolução de Darwin, realiza uma série de buscas para encontrar a solução ótima de um determinado problema.

Os problemas de otimização utilizando um AG necessitam de três pontos principais: a codificação do problema, a função que se deseja maximizar ou minimizar e o espaço de soluções. Uma das vantagens de um AG é a sua simplicidade na formulação e solução de problemas, sendo particularmente útil nos casos em que outras técnicas apresentam dificuldades (GOLDBERG, 1989).

Um AG básico é constituído de uma população inicial de indivíduos denominados cromossomos, que são uma das possíveis soluções dentro espaço de busca de um problema. Geralmente a aptidão é calculada através de uma função objetivo e utilizado o método da roleta para selecionar os indivíduos mais aptos. A aptidão é o valor de saída da função objetivo e o método da roleta, consiste na seleção dos indivíduos proporcional à sua aptidão.

Depois de selecionados os melhores indivíduos da população, uma nova população de indivíduos é gerada a partir deles utilizando operadores de cruzamento. Os operadores de cruzamento têm a finalidade de cruzar indivíduos, dois a dois, chamados pais, e gerar descendentes através da combinação de seus genes.

No processo de cruzamento, também denominado recombinação genética, pode ser que através de um único ciclo, onde é calculada a aptidão e cruzamento dos indivíduos, a solução ótima do problema não seja encontrada. Assim um processo de iteração ocorre e uma busca de soluções é realizada. Também pode ser que ocorra a convergência para um mínimo local, em outras palavras, a solução encontrada não é de fato, a solução ótima do problema, então operadores de mutação também são inseridos no AG para evitar esta convergência.

Cada vez que um ciclo acontece, é dito que ocorreu uma geração. Todos os mecanismos para a operação de cruzamento e mutação dos indivíduos são feitos aleatoriamente. Escolhas quanto ao número de gerações, tipos de operadores de cruzamento e mutação e espaço de busca, por exemplo, podem ser determinados para melhorar o desempenho do algoritmo. Um fluxograma de um AG simples, resumindo suas principais etapas, poder ser visto na Figura 1.

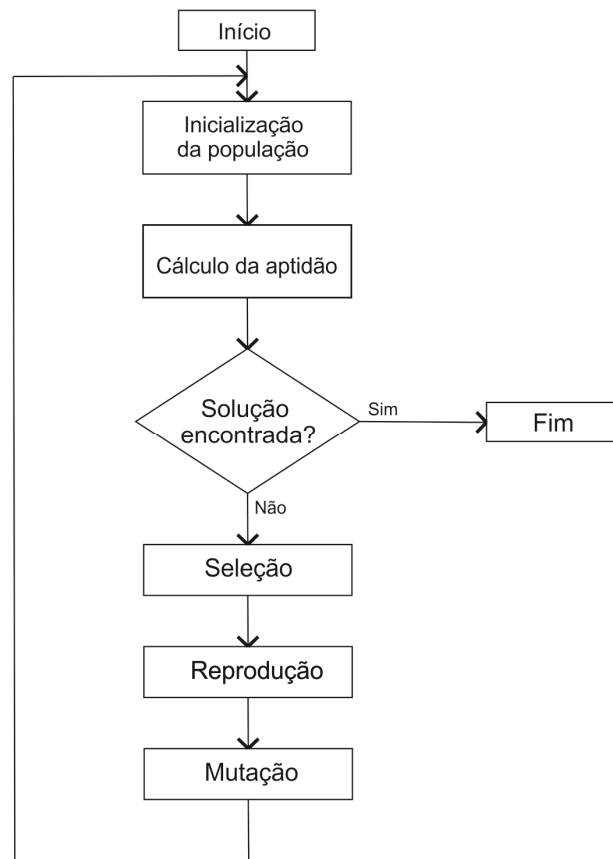


Figura 1 – Fluxograma de um AG simples

4 ALGORITMO DE LOCALIZAÇÃO DE FALTAS PROPOSTO

O algoritmo proposto para localização de faltas em redes aéreas de distribuição radiais utiliza técnicas de IA, especificadamente, algoritmos genéticos. Após detecção de uma falta pelo sistema de proteção da rede, o algoritmo tem como funcionalidade localizá-la. Para desenvolver esta tarefa, o método proposto, baseia-se na leitura dos dados das correntes trifásicas de um alimentador. O AG foi desenvolvido tendo como função objetivo a comparação entre as correntes de falta medidas e as correntes calculadas pelo fluxo de potência inserido o valor da resistência de falta, sendo necessário indicar qual número da barra onde ela ocorreu e o tipo de falta. Neste trabalho foram consideradas as faltas tipo curto-circuito monofásico, bifásico e trifásico.

Para solucionar o problema, o algoritmo busca minimizar a equação (1) através de um AG. Os valores de corrente medidos quando ocorrida uma falta são comparados com os valores obtidos de um fluxo de potência. O fluxo de potência, aplicando o método da soma de corrente, consiste em calcular os valores das correntes trifásicas pós falta para cada seção do alimentador, considerando um valor para a resistência de falta. Após calculadas as correntes, o AG minimiza a equação (1) para determinar a seção mais provável de ter ocorrida a falta.

$$f(m, k, R) = I_L - I_C(m, k, R) \quad (1)$$

Sendo,

$f(m, k, R)$: Função erro que contabiliza a diferença entre a corrente eficaz por fase pós-falta registrada na SE e a corrente eficaz calculada;

I_L : Corrente eficaz por fase pós-falta registrada na SE;

$I_C(m, k, R)$: Corrente eficaz calculada;

m : Barra em que é inserido o curto-circuito;

k : Tipo de curto-circuito (AT, BT, CT, AB, BC, CA, ABT, BCT, CAT, ABC, ABCT);
 R : Resistência de falta;

A codificação do problema é feita através de um vetor composto por v elementos, onde o primeiro elemento é valor da resistência de falta, codificada em decimal, e os demais elementos representam a codificação em binário da numeração de uma barra. A seleção dos cromossomos para os cruzamentos ocorre através do método da roleta. Neste caso, os cromossomos que produzam maiores valores de aptidão terão maiores chances de ser escolhido. Dessa forma, é necessário fazer um ajuste na função aptidão dada pela equação (1), para transformar os menores valores, nos maiores. Esse ajuste é feito segundo a equação a seguir.

$$f_N(x) = \sum_{i=1}^n |f(i)| - f(x) \quad (2)$$

Sendo,

$f(i)$: Função erro que contabiliza a diferença entre a corrente eficaz por fase pós-falta da SE e a corrente eficaz calculada com os valores do cromossomo i ;

x : Cromossomo de onde são colhidos os valores de R e m ;

$f_N(x)$: Nova função de adaptação que contabiliza a aptidão do cromossomo x ;

n : Número total de cromossomos gerados.

O algoritmo compreende os seguintes passos:

1. Coletar I_L e k das etapas de detecção e classificação de faltas pelo sistema de proteção;
2. Adotar a função expressa pela equação (2) como função de adaptação (*fitness*);
3. Gerar aleatoriamente uma população inicial de tamanho n ;
4. Determinar o índice de adaptação de cada cromossomo através do fluxo trifásico;
5. Escolher c cromossomos da população atual utilizando o método da roleta. Fazer o cruzamento de pares de cromossomos desse subconjunto;
6. Escolher p cromossomos da população atual utilizando o método da roleta. Realizar mutação nos cromossomos desse subconjunto;
7. Calcular os índices de adaptação dos novos cromossomos;
8. Considerando a população atual mais os novos cromossomos, eliminar os cromossomos menos adaptados até que a população retorne ao tamanho n ;
9. Repetir os passos de 5 a 8 g vezes ou até a população ter um grau de homogeneidade h pré-estabelecida.

Os números m e p de cromossomos escolhidos para cruzamento e mutação respectivamente são preestabelecidos. Também são definidos por antecipação g e h . A variável g determina o limite máximo de gerações que o algoritmo pode realizar. A variável h define o grau mínimo de homogeneidade da população para interrupção do processo. A homogeneidade é avaliada da seguinte forma:

$$MAX(f_N) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n f_N(i) \leq \text{tolerância} \quad (3)$$

Os genes dos pais copiados para geração dos filhos são escolhidos da seguinte forma: o novo R é o arredondamento da média aritmética dos R dos pais e os bits que representam cada barra serão escolhidos aleatoriamente conforme esquematizado na Figura 2. Uma máscara lógica aleatória se aplica a um dos pais e a máscara complementar ao outro.

Pai 1								
R	Barra							
12	0	1	0	0	1	0	1	1
	T	T	F	F	T	T	F	T
Pai 2								
15	0	0	1	1	1	1	0	0
	F	F	T	T	F	F	T	F
Filho								
14	0	1	1	1	1	0	0	1

Figura 2 – Operador de cruzamento adotado

5 APLICAÇÃO

O algoritmo proposto foi aplicado a um alimentador aéreo trifásico de 103 barras. A topologia do alimentador é mostrada na Figura 3.

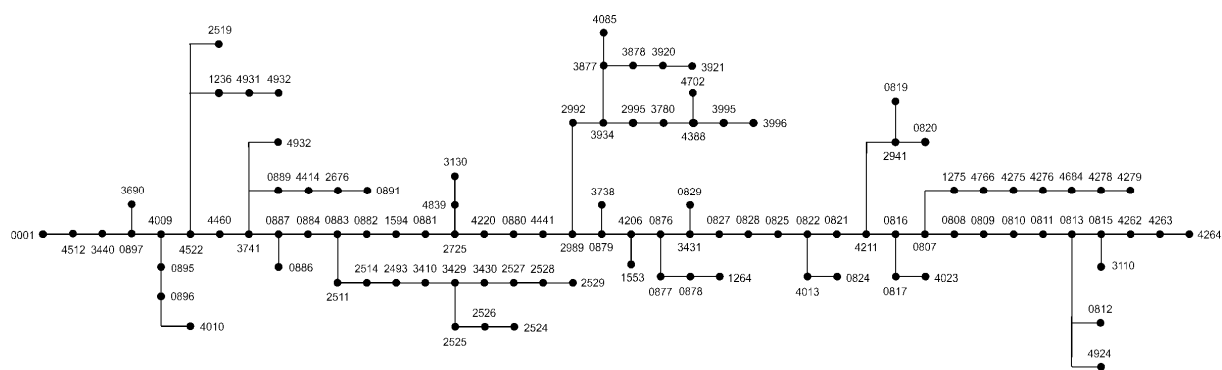


Figura 3 – Configuração do alimentador de 103 barras

Os dados do sistema que são capturados pelo algoritmo proposto correspondem às amostras das formas de onda das correntes medidas na subestação. Utilizou-se taxa de amostragem de 9,6 kHz e janela de tempo de um ciclo, que correspondeu 160 amostras por ciclo. Devido à indisponibilidade de obtenção desses dados de um sistema real, foram realizadas simulações a partir do ATP (*Alternative Transient Program*). Nestas simulações, o alimentador foi modelado pelo bloco LCC (*Line Cable Constant*) e considerado não-transposto. As cargas foram ligadas em delta e modeladas como impedância constante. O algoritmo descrito foi desenvolvido no MATLAB®.

Foram simulados no ATP casos de falta de curto-circuito monofásico (A-T, B-T, C-T), bifásico (AB, BC, CA), fase-fase-terra (AB-T, BC-T, CA-T) e trifásico em várias barras ao longo do alimentador. Foram utilizadas chaves normalmente abertas que fecharam em diferentes tempos e em diferentes barras para cada falta. A resistência de falta assumiu valores entre 5 e 20 Ω .

Os parâmetros utilizados no algoritmo de localização proposto foram os seguintes: população de 100 cromossomos, taxa de cruzamento de 60% e de mutação 1%. A tolerância considerada para definir a homogeneidade da população foi de 0,001 e o limite de geração foi de 300. Os resultados obtidos pelo algoritmo proposto podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados de um AG aplicado em um alimentador de 103 barras

Tipo de Falta	Barra em que foi inserida a falta	Resultados encontrados com maior frequência		
		Erro $f()$	R	Barra
A-T	4924	0.3448	20	812
B-T	817	0.6753	15	817
C-T	825	0.66	10	825
AB-T	2992	3.5	8	2992
AC-T	4414	2.1	12	4414
AB	883	0.3	14	883

Verifica-se que na maioria dos casos a localização da falta ocorreu com sucesso. No defeito AT ocorrido na barra 4924, o algoritmo localizou a barra 812, mas verifica-se pela Figura 3 que a barra 812 e 4924 estão ligadas ao mesmo nó, neste caso, foi identificado um ponto muito próximo de onde realmente ocorreu a falta. O erro entre a corrente pós falta lida e calculada se mostra maior nos defeitos bifásicos com a terra e no trifásico, mostrando que a modelagem desses defeitos precisa ser melhorada no fluxo de carga trifásico utilizado. Apesar disso, o algoritmo mostrou-se bastante eficiente na localização das faltas.

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi apresentado um algoritmo genético para localização de faltas em redes de distribuição radiais. Este método consistiu de um AG e um fluxo de potência que realiza a localização da falta de forma *off-line*, após a sua detecção e classificação. Foram descritas as principais etapas e características do AG e sua aplicação no problema proposto. Simulações para validação do algoritmo foram realizadas. Como dados de entrada do sistema, o algoritmo precisa apenas dos dados oscilográficos das correntes nas fases medidas na subestação. Devido à indisponibilidade de se fazer medições em campo, foi utilizado o *software* ATP, próprio para simulação de transitórios eletromagnéticos em sistemas elétricos. O algoritmo proposto apresentou excelentes resultados obtendo êxito na maioria das simulações. O AG demanda tempo computacional, mas como é executado de forma *off-line* não acarreta prejuízo ao algoritmo. Esses resultados nos remetem à continuação da pesquisa onde serão consideradas as possibilidades de se utilizar dados já amostrados do secundário do TC através de registradores de perturbação ou relés digitais, bem como a implementação de um conversor analógico/digital que possa ser conectado no secundário do TC para realizar essa amostragem. O objetivo final será a construção de um protótipo que possa ser utilizado em campo para monitoramento remoto e em tempo real do diagnóstico de faltas em redes de distribuição aérea.

REFERÊNCIAS

- ALVES, H. N., SOUZA, B. A. & FERREIRA, H. A.. **Banks of automatic capacitors in electrical distribution systems: a hibrid algorithm of control**. Revista Controle & Automação, 2005, Vol. 16 nº 1, p. 93-99.
- CHANG, C. S. e WEN, F. S. **Tabu search based approach to trouble call analysis**. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 1998, vol. 145, nº 6, p. 731-738.
- CHEN, W. H., LIU, C. W. e TSAI, M. S. **On-line fault diagnosis of distribution substations using hybrid cause-effect network and fuzzy rule-based method**. IEEE Transactions on Power Delivery, 2000, vol. 15, nº 2, p. 710-717.
- DAS, R., SACHDEV, M. S. & SIDHU, T. S. **A fault locator for radial subtransmission and distribution lines**. Power Engineering Society Summer Meeting, Proceedings, 2000, v. 1, p. 443-448.

DE SOUZA, Fabiano Alves. **Deteção de faltas em sistemas de distribuição de energia elétrica usando dispositivos programáveis**. São Paulo: Ilha Solteira, 2008, p.120.

GOLDBERG, D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Addison-Wesley, 1989, 412p.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in natural and artificial systems**. University of Michigan Press, 1976, 211p.

IZYKOWSKI Jan, ROSOLOWSKI Eugeniusz, MOHAN Murari, FULCZYK Marek e BALCEREK Przemyslaw. **A Fault-Location Method for Application with Current Differential Relays of Three-Terminal Lines**. IEEE transactions on power delivery, vol. 22, N°. 4, october 2007.

MACHADO, Raphaela Carvalho, ALVES, Helton do Nascimento e SOUZA, Cleonilson Protásio de. **Algoritmo baseado em sistemas imunológicos para detecção de faltas em sistemas de transmissão**. IV Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte Nordeste de Educação Tecnológica, Belém, 2009.

MAGNAGO Fernando H. e ABUR Ali. **A New Fault Location Technique for Radial Distribution Systems Based on High Frequency Signals**.

STRINGFIELD, T. W., MARIHART D. J. & STEVENS, R. F. **Fault location methods for overhead lines**. Transactions of the AIEE, part III - Power Apparatus and Systems, 1957, v. 76 (Aug.), p. 518-539.

SRINIVASAN, K. & ST-JACQUES, A. **A new fault location algorithm for radial transmission lines with loads**. IEEE Transactions on Power Delivery, 1989, v. 4, nº 03, p. 1676-1682.

VALE, D. T.; COSER, J. e ROLIM, J. G. **F-LOC – Ferramenta inteligente para diagnóstico de faltas em sistemas de distribuição de energia**. XVI Congresso Brasileiro de Automática, Bahia, 2006.

WEN, F. S. e CHANG, C. S. **Probabilistic approach for fault-section estimation in power systems based on a refined genetic algorithm**. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., 1997, vol. 144, nº 2, p. 160-168.