

ABORDAGEM POSSIBILÍSTICA FUZZY PARA LOCALIZAÇÃO ROBUSTA DE FALTAS EM ALIMENTADORES COM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

OURESTE E. BATISTA, ROGÉRIO A. FLAUZINO, LUCAS A. MORAES, MARCEL A. ARAÚJO.
LABORATÓRIO DE AUTOMAÇÃO INTELIGENTE DE PROCESSOS E SISTEMAS, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E DE COMPUTAÇÃO, UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
AV. TRABALHADOR SÃO-CARLENSE, Nº 400, CEP: 13566-590, SÃO CARLOS, SP, BRASIL.
E-MAILS: OURESTE.BATISTA@USP.BR, RAFLAUZINO@SC.USP.BR, LUCAS.MORAES@USP.BR, MARCEL.ARAUJO@USP.BR

Abstract— Although Distributed Generation (DG) is a sustainable alternative to meet the growing demand for electricity, the intermittency of their primary sources and variability in its operation introduces additional uncertainties to the Power Distribution Systems (PDS). Because of its great potential for penetration in the PDS, it is important to investigate their impact to the grid's safety and reliability. In contribution to such investigations, this article conducts a study of the variability in fault currents and voltages measured in the substation. For this, computer simulations of a system with DG were developed based on the IEEE 13 Node Test Feeder. The analysis was structured in the calculation of the apparent impedance of the faulty phase, for which there was variability greater than 30% in the module and that 15% angle. These results highlight the need for greater robustness in fault location or any other task that involves analysis of short circuit. Due to this variability was proposed a fuzzy system for robust fault location in distribution feeders with DG, whose accuracy error was less than 12 m.

Keywords— Distributed generation, Fault location, Power distribution, Fuzzy systems.

Resumo— Embora a Geração Distribuída (GD) seja uma alternativa sustentável para atender a demanda, a intermitência de suas fontes primárias e a variabilidade em sua operação introduzem incertezas adicionais aos Sistemas de Distribuição (SD). Em função de seu grande potencial de penetração nos SD é importante investigar seus impactos à segurança e à confiabilidade da rede. Em contribuição a tais investigações, este artigo realiza um estudo sobre a variabilidade nas medidas de tensão e corrente na subestação, em condições de falta. Para isto, desenvolveram-se simulações computacionais de um sistema com GD, baseado no IEEE 13 Node Test Feeder. A análise foi estruturada no cálculo da impedância aparente da fase faltosa, para a qual se verificou variabilidade maior que 30% no módulo e que 15% no ângulo. Tais resultados evidenciam a necessidade de maior robustez na localização de faltas ou em qualquer outra tarefa que envolva análise de curto circuito. Em função desta variabilidade, foi proposto um sistema *fuzzy* para localização robusta de faltas em alimentadores de distribuição com GD, cujo erro médio de exatidão foi menor que 12m.

Palavras-chave— Geração distribuída, Localização de faltas, Distribuição de energia elétrica, Sistemas *Fuzzy*.

1 Introdução

Em conjunto com o aumento da utilização de fontes renováveis de energia, a GD tem apresentado grande destaque nas discussões sobre o futuro dos sistemas de distribuição de energia elétrica, associando-se a conceitos como os de *smart grids* e *microgrids* (Ipakchi e Albuyeh, 2009; Soroudi, 2012). Assim como os benefícios da GD impulsionam sua consolidação, seus impactos no sistema elétrico têm tomado à atenção de muitos pesquisadores, órgãos reguladores, distribuidoras de energia elétrica e responsáveis por estudos de viabilidade técnica (El-Khattam et al., 2006; Silva et al., 2007; Newman et al., 2011; Villafafila-Robles et al., 2011). Uma vez que são destacados conflitos nos sistemas de proteção, como em (Doyle, 2002), a penetração massiva de GD torna fundamental o desenvolvimento de estudos sobre sua influência na segurança e na confiabilidade do sistema, bem como soluções e alternativas para mitigá-los.

A presença de GD é responsável pela perda da característica radial dos SD, alterando o fluxo de potência em seu sentido e magnitude (Ebrahimi and Ghanizadeh, 2012). Sob esta nova configuração, métodos determinísticos para localização de falta terão

sua eficácia prejudicada devido ao aumento da complexidade do sistema e à introdução de expressivas incertezas, advindas da variabilidade e intermitência do fornecimento de energia da unidade de GD (Carpinelli et al., 2001; El-Khattam et al., 2003a; Chen et al., 2008; Qiang et al., 2011; Soroudi et al., 2011). As manobras de conexão e desconexão de geradores em múltiplos pontos e em momentos indefinidos resultam em variações expressivas e aleatórias na configuração da rede e em seus parâmetros elétricos, exigindo estratégias robustas o suficiente para interpretar diferentes situações como resultantes de um mesmo tipo de operação ou falha (Zangiabadi et al., 2009).

Esta situação remete a um novo paradigma para determinação do desempenho de soluções em SD. Os métodos e técnicas devem, além de critérios de precisão e exatidão, apresentar maior robustez frente a entradas com considerável nível de incerteza (Xinzhou et al., 2002; Zheng et al., 2003). Neste sentido, o objetivo do estudo proposto é avaliar o grau de variabilidade no comportamento sob falta de um SD, em um cenário com diversas situações de conexão e desconexão de geradores distribuídos. Estas situações foram avaliadas por meio de simulações computacionais, nas quais se registrou os fasores das tensões e correntes de falta medidas na subestação. Com estes dados, um sistema inteligente foi imple-

mentado para desempenhar a tarefa de localização de faltas baseada lógica fuzzy, tratando as incertezas por meio de uma abordagem possibilística.

2 Impactos da Geração Distribuída

Motivada por razões técnicas, econômicas e ambientais, a GD tem emergido como opção para a crescente demanda de energia elétrica e em resposta aos avanços tecnológicos, ao aumento de cargas sensíveis e à criação de novas políticas energéticas (Soroudi, 2012). A GD é comumente associada a fontes renováveis, e a busca pela redução nos impactos ambientais impulsionará sua penetração nos PDS (Silva et al., 2007). Esta penetração provocará mudanças no comportamento da rede de distribuição, levando-a de uma característica passiva, com fluxo unidirecional da subestação para os consumidores, para uma posição mais ativa, com fluxo bidirecional devido à ramais que consomem, geram e armazenam energia (Ruiz-Rodriguez et al., 2012).

Nos PDS, a grande ramificação, o desbalanço elétrico, a dinâmica das cargas, os níveis de tensão e corrente, e demais peculiaridades lhes conferem um nível intrínseco de incerteza. A este nível de incerteza acrescentam-se ainda variações operacionais e perturbações, como reconfigurações na rede, falha em equipamentos, erros de modelagem e simulação, ruídos de medições e mudanças climáticas (Alvarado et al., 1992). Embora o objetivo da GD seja promover aumento na robustez e confiabilidade do sistema, a sua penetração introduz incertezas, que somadas às já existentes tornam a abordagem determinística insuficiente para modelar o comportamento do sistema, analisar seu desempenho e tomar decisões com margem de erro admissível. Neste cenário, existem duas abordagens capazes de incorporar incertezas (El-Hawary, 1998; Chen et al., 2008):

- Probabilística, na qual as variáveis são representadas por funções de densidade de probabilidade, explorando o comportamento estocástico. Utilizam-se técnicas e ferramentas estatísticas
- Possibilística, na qual as variáveis são representadas por seu intervalo de variação e avaliadas sobre diversos cenários possíveis. Utilizam-se conceitos de matemática intervalar e lógica fuzzy

Quando a GD é baseada em energia renovável, como eólica, fotovoltaica e maremotriz, tem-se um grande desafio: a variabilidade na geração, uma vez que depende de fontes primárias com comportamento intermitente, variante em função da localização geográfica e de difícil previsão (Hadian and Haghifam, 2010; Villafafila-Robles et al., 2011; Villanueva et al., 2011). Em contraste com os objetivos da GD, a variabilidade induz flutuações de energia ao longo do dia que podem provocar redução na robustez do sistema elétrico (Newman et al., 2011). Há, ainda, a dependência da geração de uma unidade de GD com a demanda e a geração das outras no mesmo alimen-

tador, pois ao exceder a capacidade de consumo haverá fluxo reverso de potência reativa, da unidade consumidora para a subestação, e as perdas aumentarão (Chen et al., 2008). Qualquer que seja a abordagem utilizada, o fato é que as incertezas provenientes da penetração de GD em alto nível são relevantes e reduzirão significativamente a eficácia de técnicas de planejamento determinísticas, exigindo que diferentes cenários sejam levados em consideração (Carpinelli et al., 2001).

A mudança no fluxo de potência, na direção e amplitude das correntes de falta compõem o principal impacto da penetração de GD nos PDS, a perda da característica radial sob a qual os sistemas de proteção foram projetados. Além dos problemas de coordenação e seletividade, destacados em (Doyle, 2002), para sistemas com GD, os diferentes tipos de tecnologia de GD, como turbinas a gás natural, turbinas a vapor (combustíveis fósseis ou biomassa), máquinas de combustão interna (diesel), células a combustível, microturbinas, pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), geração eólica e células fotovoltaicas, têm características elétricas particulares. Este fato associado ao tipo de conexão com a rede, como a utilização de inversores de frequência, contribui para a existência de diferentes formas de flutuação de energia, incertezas na operação e resposta a faltas (Qiang et al., 2011). Estes aspectos exigem maior robustez à localização de faltas, em nível compatível às incertezas presentes nas variáveis de entrada (Xin Zhou et al., 2002).

3 Análise de Robustez Proposta

O conceito de robustez é muito utilizado na teoria de controle, representando a capacidade de um sistema em manter-se estável na presença de incertezas e perturbações. Em um sistema robusto, o efeito da variação das entradas na exatidão da saída é minimizado (Fig. 1). Um método robusto para localização de faltas deve ser aplicável para variações de tipos de falta, impedância de falta, saturação de transformadores de corrente (TCs), configuração do sistema e etc (Xin Zhou et al., 2002). A exatidão tem sido a maior referência para quantificar o desempenho de um sistema e validar sua aplicação. As incertezas, no entanto, afetam a exatidão de forma que em cenários incertos a robustez deva receber igual atenção (Zheng et al., 2003).

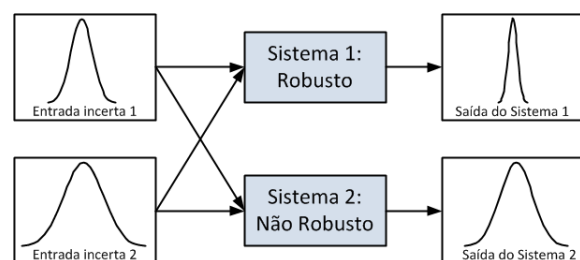


Figura 1. Ilustração da robustez

O estudo proposto neste artigo aborda a incerteza nas operações de conexão e desconexão das unidades de GD à rede, mostrando o grau de variabilidade nas medições de tensões e correntes de falta vistas pela subestação, em função de diversas combinações de entrada e saída de geradores no alimentador. Este estudo foi motivado pela crescente discussão sobre as incertezas na operação de unidades de GD, adicionais àquelas provenientes do comportamento estocástico das fontes primárias. Em (El-Khattam et al., 2003b) é descrito que as fontes de incertezas na operação de unidades de GD incluem o número de unidades conectadas à rede em certo momento, sua localização e a potência importada ao sistema. Em (Zangiabadi et al., 2009) afirma-se que diferentes consumidores podem ter diferentes estratégias para operar seu gerador e os processos de conexão e desconexão à rede podem ser aleatórios. Seus resultados mostram que a aleatoriedade na operação provoca aumento nas perdas e reduz a capacidade de transferência de potência. Em relação ao tratamento das incertezas, em (Soroudi et al., 2011) destaca-se a abordagem possibilística, em vista de que nem todas as incertezas são necessariamente estocásticas, pois algumas variáveis dependem de decisões de investimento ou operação do proprietário ou operador, definindo uma variabilidade baseada em certas regras, o que pode ser melhor tratado por sistemas de inferência fuzzy.

3.1 Configuração do Sistema de Distribuição Simulado

Para avaliar a variabilidade na resposta a faltas, foi modelado um sistema de distribuição baseado no IEEE 13 Node Test Feeder (Kersting, 2001), utilizando a toolbox SimPowerSystems™ e o ambiente gráfico Simulink® presentes no software MATLAB®. O sistema original foi adaptado para a integração da GD, como ilustrado na Fig. 2.

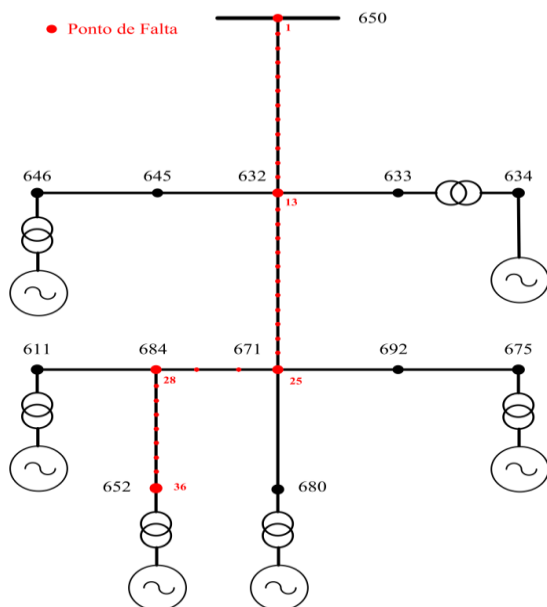


Figura 2. IEEE 13 node test feeder adaptado

O regulador de tensão do ramo 650-632 foi retirado, pois a GD já promove melhoria no perfil de tensão. A chave do ramo 671-692 foi mantida fechada em todas as simulações. Representando a penetração de GD, seis geradores síncronos foram conectados aos pontos de consumo 611, 634, 646, 652, 675 e 680. Os geradores foram representados por seu modelo subtransitário (Fig. 3), com 0,03 pu de resistência de armadura (r_a), 0,24 pu de reatância síncrona subtransitória (x_s''), configurados em modo de controle de tensão terminal (1 pu) e potência ativa fixada em 425 kW, ou seja, a barra em seus terminais é do tipo PV.

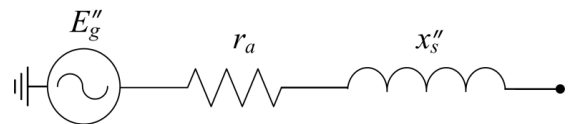


Figura 3. Equivalente subtransiente do gerador síncrono

O sistema trifásico em questão possui a tensão de entrada em 115 kV e um transformador com potência de 5 MVA reduz para a tensão de distribuição em 4,16 kV. O alimentador possui 1,55 km em seu ramo de maior extensão (650 -652) e 944 m nos ramos, aproximadamente. As unidades consumidoras são atendidas com tensão de 4,18 kV, sendo que apenas um destes, conectado ao nó 634, utiliza um transformador de distribuição com potência de 500 kVA que reduz esta tensão para 480 V. No alimentador são consumidos 3.466 kW e 2.102 kvar, o que significa um carregamento de quase 75% no transformador da subestação, contabilizando a compensação reativa de 700 kvar. As cargas foram igualmente distribuídas entre as três fases, para minimizar o desbalanço de potência. O alimentador foi representado pelo modelo de linha com parâmetros distribuídos, afim de uma resposta mais fiel do comportamento transitório e acoplamento elétrico entre fases. Cada unidade de GD foi conectada à rede por meio de transformadores iguais àquele presente no ramo 633-634.

3.2 Simulações e Análise

Os casos simulados envolveram todas as combinações dos estados de conexão e desconexão dos seis geradores, o que inclui o caso sem GD, totalizando 64 situações para cada ponto de falha (distância em relação à subestação). As faltas foram aplicadas em 36 pontos ao longo do ramo principal (650-652), percorrendo todo o alimentador. O sistema foi avaliado sob faltas do tipo fase-terra, pelo seu alto índice de ocorrência, e trifásicas, pela sua severidade, contemplando um cenário simétrico e outro assimétrico (Elmore, 2004).

A variedade de casos representa a incerteza associada à operação das unidades de GD, gerando variações na conformação do sistema. Os métodos tradicionais para localização de faltas, como em (Lee et al., 2004), apresentam melhor desempenho para

faltas francas, assim esta característica foi escolhida para que os resultados obtidos representassem a variabilidade em grau mais otimista. Em cada simulação foram registrados os fasores de corrente e tensão pós falta por fase. Para analisar a variabilidade das medidas, em termos de robustez, foi avaliada a função de transferência definida em (1).

$$H_k = \frac{\dot{V}_k}{\dot{I}_k} = \frac{|\dot{V}_k| \angle \varphi_{V_k}}{|\dot{I}_k| \angle \varphi_{I_k}} = |Z_k| \angle (\varphi_{V_k} - \varphi_{I_k}) \quad (1)$$

na qual k é a fase faltosa (a , b ou c); V é a tensão; I_a corrente; φ o ângulo de fase e Z representa a impedância aparente, que inclui as impedâncias mútuas. Esta relação combina o comportamento das tensões e correntes, e evidencia comportamento dinâmico da rede. A quantificação da variabilidade (VAR) pode ser expressa em termos percentuais da razão entre o intervalo dado pelos extremos da variação e o valor para o caso sem GD, definida em (2) para o módulo ($|Z|$) e em (3) para o ângulo (φ).

$$VAR_{|Z|} = \frac{\max(|Z|) - \min(|Z|)}{|Z|_{\text{sem GD}}} \quad (2)$$

$$VAR_{\varphi} = \frac{\max(\varphi) - \min(\varphi)}{\varphi_{\text{sem GD}}} \quad (3)$$

4 Variabilidade da Impedância Aparente

A análise dos resultados mostrou que a simetria dos curtos-circuitos trifásicos é capaz de atenuar significativamente a variação na impedância aparente, em relação a curtos-circuitos fase-terra. A variabilidade na fase faltosa para faltas trifásicas foi mais de 17 vezes menor e com um valor máximo de 1,3% inferior ao valor mínimo para faltas fase-terra. Por estes motivos, este artigo dará enfoque ao comportamento do sistema sob a ocorrência de faltas fase-terra. A variação na impedância aparente definida em (1), para a fase faltosa (“ a ”), em função do ponto de falta, pode ser visualizada na Fig. 4 para o módulo e na Fig. 5 para a fase.

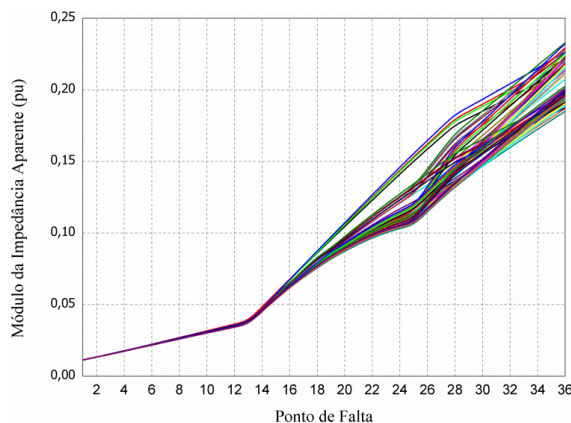


Figura 4. Variação do módulo da impedância aparente da fase “ a ”

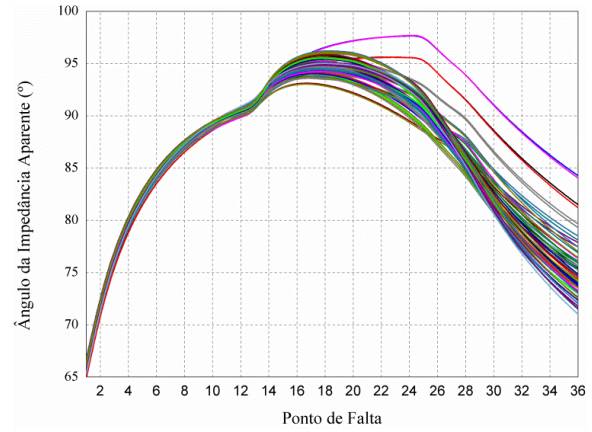


Figura 5. Variação do ângulo da impedância aparente da fase “ a ”

As Figuras 4 e 5 apresentam a variação decorrente das 64 combinações de operação das unidades de GD e a evolução do comportamento do sistema sob faltas ao longo de todo o alimentador. No início do alimentador as faltas ocorrem muito antes dos geradores e por isso a entrada e saída destes não provoca grandes variações. À medida que se distancia da subestação e aproxima-se dos geradores, a variabilidade na operação destes influencia de forma expressiva as medidas de tensão e corrente de falta, visto que a variabilidade resultante apresenta-se proporcional à quantidade de geradores próximos ao ponto e ao grau desta proximidade. Dos resultados, tem-se que a variabilidade da impedância aparente chegou a 33% para o módulo e 16% para o ângulo, na fase faltosa. Este comportamento é um reflexo da incerteza na operação dos geradores, com relação ao seu estado de conexão e desconexão à rede ($S_i = ON$ ou OFF). Quando o planejamento utiliza apenas medidas na subestação e sem infraestrutura de comunicação, o vetor de estados dos geradores ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) é desconhecido.

5 Localização Robusta de Faltas e Resultados

A variabilidade evidenciada na Tabela I é um indicativo que um sistema robusto para localização de faltas deve dar maior atenção aos valores das tensões e correntes nas fases faltosas, uma vez que há grande variação nestas medidas para as fases sãs. Os dados pós-falta contém muito mais informação sobre a posição de falta, mas pouco dizem sobre o estado de conexão dos geradores à rede ($S_i = ON$ ou OFF) e, sem uma infraestrutura de comunicação tipo *smart grid*, o vetor de estado ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$) é desconhecido pela concessionária. Esta informação pode ser extraída dos dados pré-falta, pois o carregamento da subestação diminui com a entrada de geradores no sistema. Neste sentido, o sistema inteligente para localização robusta de faltas terá a conformação mostrada na Fig. 6, no qual as entradas são os módulos e fases das impedâncias aparentes pré e pós-falta, compondo dois pares de entrada. A saída é a estimativa

da distância entre a subestação e o ponto de falta, em metros.

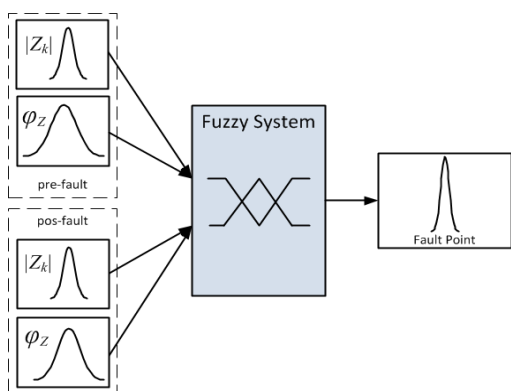


Figura 6. Sistema para Localização Robusta de Falhas

Com o banco de dados formado pelas simulações foi possível construir um sistema de inferência *fuzzy* multicamadas, a partir do ajuste estrutural e paramétrico automático apresentado em (Flauzino, 2003) e (Flauzino, 2007). A Figura 7 mostra o diagrama esquemático do modelo *Fuzzy* Multicamadas para um sistema composto por duas entradas e três regras de inferência ativadas.

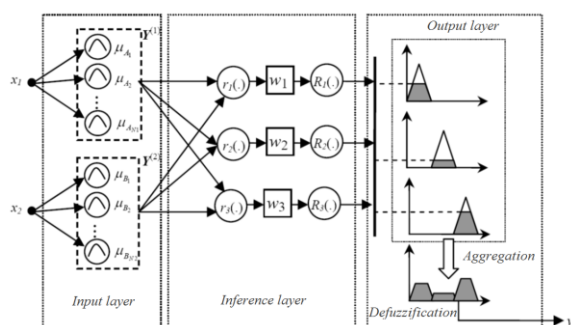


Figura 7. Sistema *Fuzzy* Multicamadas

O algoritmo de ajuste proposto é baseado na arquitetura Mandani, na qual os membros consequentes das regras *fuzzy* são representados por variáveis linguísticas. A utilização deste tipo de sistema de inferência *fuzzy*, devido à sua estrutura, proporciona robustez, oferece um elevado nível semântico e uma boa capacidade de generalização. A grande vantagem dessa abordagem é a de manter a capacidade de interpretação do sistema *fuzzy*, ao contrário das arquiteturas paramétricas, como o algoritmo ANFIS (*Adaptive Network-based-Fuzzy Inference Systems*), em que as funções resultantes são polinomiais no domínio real (Guillaume, 2001).

Para avaliar a performance da ferramenta para localização robusta de falhas, um conjunto de amostras de teste foi aplicado ao sistema. A estimação apresentou um erro médio de 11,07 m, desvio padrão de 12,25 m e erro máximo de 68,53 m. O teste do sistema está representado graficamente na Fig. 8 e a Figure 9 contém o histograma do erro. Cada nível representa o mesmo ponto de falta com as 64 combi-

nações de conexão dos geradores. Desta forma, o critério de robustez está embutido no critério de exatidão. Nota-se que os maiores erros ocorrem nos pontos em que há maior proximidade com geradores.

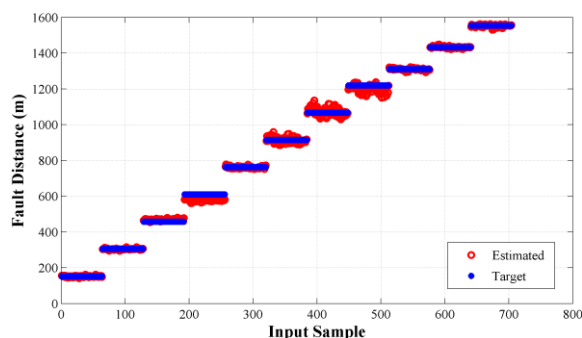


Figura 8. Teste do sistema

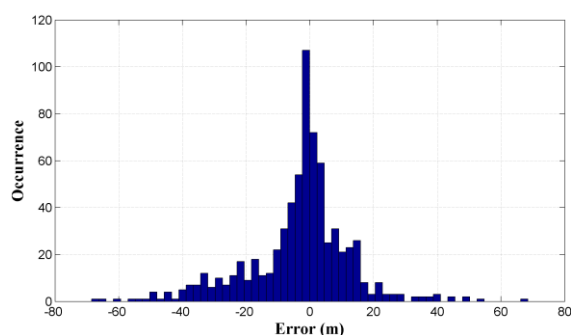


Figura 9. Histograma de erro para o teste do sistema

6 Conclusão

Mesmo sob um ponto de vista otimista para os métodos de localização de falta, ou seja, aplicando-se apenas faltas francas, o SD com GD apresentou uma variabilidade na impedância aparente superior a 30% em seu módulo e 15% em seu ângulo, para faltas fase-terra e em relação ao sistema sem GD. Este nível de variação no comportamento do sistema é resultado da incerteza na operação das unidades de GD. Como está não é a única fonte de incertezas neste cenário, os métodos de localização de faltas em alimentadores de distribuição com geração distribuída devem ser robustos. Para este propósito, um sistema *fuzzy* foi implementado para desenvolver a tarefa de localização robusta de faltas. A estimação apresentou um erro médio de 11 m e um erro máximo de 68 m, o que representa uma resposta aceitável em vista da facilidade em complementar a identificação da falta por inspeção visual.

Agradecimentos

Este trabalho recebeu apoio financeiro da CAPES e FAPESP (2011/17610-0). Os autores agradecem as contribuições dos Professores R. A. S. Fernandes e J. C. M. Vieira Jr. para este artigo, com

ideias, suporte teórico e contribuição na modelagem do Sistema de Distribuição.

Referências Bibliográficas

- Alvarado, F., Hu, Y., Adapa, R., 1992. Uncertainty in power system modeling and computation, in: [Proceedings] 1992 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. IEEE, pp. 754–760.
- Carpinelli, G., Celli, G., Pilo, F., Russo, A., 2001. Distributed generation siting and sizing under uncertainty, in: 2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502). IEEE, Porto, p. 7.
- Chen, P., Chen, Z., Bak-Jensen, B., 2008. Probabilistic load flow: A review, in: 2008 Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies. IEEE, pp. 1586–1591.
- Doyle, M.T., 2002. Reviewing the impacts of distributed generation on distribution system protection, in: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE, pp. 103–105.
- Ebrahimi, E., Ghanizadeh, A., 2012. Impact of Distributed Generation on Fault Locating Methods in Distribution Networks, in: International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12). Santiago de Compostela (Spain), pp. 1–5.
- El-Hawary, M.E., 1998. Electric Power Applications of Fuzzy Systems. IEEE.
- El-Khattam, W., Hegazy, Y.G., Salama, M.M.A., 2003a. Stochastic analysis of electrical distributed generation systems, 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting IEEE Cat No03CH37491.
- El-Khattam, W., Hegazy, Y.G., Salama, M.M.A., 2003b. Stochastic power flow analysis of electrical distributed generation systems, in: 2003 IEEE Power Engineering Society General Meeting (IEEE Cat. No.03CH37491). IEEE, pp. 1141–1144.
- El-Khattam, W., Hegazy, Y.G., Salama, M.M.A., 2006. Investigating Distributed Generation Systems Performance Using Monte Carlo Simulation. IEEE Transactions on Power Systems 21, 524–532.
- Elmore, W.A., 2004. Protective Relaying: Theory and Applications, 2nd ed. Marcel Dekker, New York.
- Flauzino, R. A., da Silva, I. N., 2003. Tuning of Fuzzy Inference Systems Through Unconstrained Optimization Techniques, in: International Journal of Computer Research, vol. 12, pp. 243–252.
- Flauzino, R. A., da Silva, I. N., 2007. Efficient parametric adjustment of fuzzy inference system using unconstrained optimization, in: Lecture Notes in Computer Science, vol. 4507, pp. 399–406.
- Guillaume, S., 2001. Designing fuzzy inference systems from data: An interpretability-oriented review, in: IEEE Transactions on Fuzzy Systems, vol.9, no.3, pp.426–443, Jun.
- Hadian, A., Haghifam, M.-R., 2010. Placement of DG with stochastic generation, in: IEEE PES T&D 2010. IEEE, pp. 1–7.
- Ipakchi, A., Albuyeh, F., 2009. Grid of the future. IEEE Power and Energy Magazine 7, 52–62.
- Kersting, W.H., n.d. Radial distribution test feeders, in: 2001 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.01CH37194). IEEE, pp. 908–912.
- Lee, S.-J., Choi, M.-S., Kang, S.-H., Jin, B.-G., Lee, D.-S., Ahn, B.-S., Yoon, N.-S., Kim, H.-Y., Wee, S.-B., 2004. An Intelligent and Efficient Fault Location and Diagnosis Scheme for Radial Distribution Systems. IEEE Transactions on Power Delivery 19, 524–532.
- Newman, D.E., Carreras, B.A., Kirchner, M., Dobson, I., 2011. The Impact of Distributed Generation on Power Transmission Grid Dynamics, in: 2011 44th Hawaii International Conference on System Sciences. IEEE, pp. 1–8.
- Qiang, J., Shuo, Z., Yong-li, L., 2011. A study on capacity of distributed generation and its effect on short circuit current at micro-grid operation mode, in: 2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT). IEEE, Weihai, Shandong, pp. 1109–1112.
- Ruiz-Rodriguez, F., Hernández, J.C., Jurado, F., 2012. Probabilistic load flow for radial distribution networks with photovoltaic generators. IET Renewable Power Generation 6, 110–121.
- Silva, J.A., Funmilayo, H.B., Bulter-Purry, K.L., 2007. Impact of Distributed Generation on the IEEE 34 Node Radial Test Feeder with Overcurrent Protection, in: 2007 39th North American Power Symposium. IEEE, pp. 49–57.
- Soroudi, A., 2012. Possibilistic-Scenario Model for DG Impact Assessment on Distribution Networks in an Uncertain Environment. IEEE Transactions on Power Systems 27, 1283–1293.
- Soroudi, A., Ehsan, M., Caire, R., Hadjsaid, N., 2011. Possibilistic Evaluation of Distributed Generations Impacts on Distribution Networks. IEEE Transactions on Power Systems 26, 2293–2301.
- Villafila-Robles, R., Sumper, A., Bak-Jensen, B., Valsera-Naranjo, E., 2011. Probabilistic analysis in normal operation of distribution system with distributed generation, in: 2011 IEEE Power and Energy Society General Meeting. IEEE, pp. 1–8.
- Villanueva, D., Pazos, J.L., Feijoo, A., 2011. Probabilistic Load Flow Including Wind Power Generation. IEEE Transactions on Power Systems 26, 1659–1667.
- Xinzhou, D.X.D., Zheng, C.Z.C., Xuanzhou, H.X.H., Kehong, W.K.W., Chengmu, L.C.L., 2002. Optimizing solution of fault location, in: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE, Chicago, IL, USA, pp. 1113–1117.
- Zangiabadi, M., Feuillet, R., Lesani, H., 2009. An approach to deterministic and stochastic evaluation of the uncertainties in distributed generation systems, in: Electricity Distribution - Part 1, 2009. CIRED 2009. 20th International Conference and Exhibition On. Prague, Czech Republic, pp. 1 – 4.
- Zheng, C., Xinzhou, D., Chengmu, L., 2003. Robustness of one-terminal fault location algorithm based on power frequency quantities, in: IEEE Power Engineering Society Summer Meeting. IEEE, pp. 1118–1122.