



Evento: XXVIII Seminário de Iniciação Científica

ESTUDO PARA LOCALIZAÇÃO DE FALTAS DE ALTA IMPEDÂNCIA EM CENÁRIOS DE REDES ELÉTRICAS INTELIGENTES ¹

STUDY FOR LOCATION OF HIGH IMPEDANCE FAULTS IN SMART GRIDS SCENARIOS

Nathaly Priscila Müller², Cristina Schoefer Dessbesell³, Jean Schäffel Moreira, Maurício de Campos⁵, Marcos Vicente Hart⁶

¹ Projeto de Pesquisa desenvolvido na Unijui, pertencente ao Grupo de Pesquisa GAIC;

² Bolsista de iniciação tecnológica/CNPQ; Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, nathaly.muller@sou.unijui.edu.br;

³ Estudante do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, cristina.dessbesell@sou.unijui.edu.br;

⁴ Estudante do Curso de Graduação em Ciências da Computação, jean.moreira@sou.unijui.edu.br;

⁵ Professor Orientador do DCEEng/GAIC, campos@unijui.edu.br;

⁶ Engenheiro Eletricista, Egresso da UNIJUI, vcnt6088@gmail.com.

RESUMO

A localização de faltas de alta impedância nas redes de distribuição representa um desafio para as concessionárias de energia, visto que são sutis quando comparadas às faltas de baixa impedância. Existem atualmente vários estudos sendo desenvolvidos no sentido de disponibilizar soluções para identificação das faltas de alta impedância em redes de distribuição de energia. No entanto, estas soluções ainda são de difícil implementação e com um custo elevado. O cenário torna-se ainda mais complexo com a presença e ampliação da geração distribuída, muitos conceitos mudam assim como as características de funcionamento da rede de distribuição de energia elétrica. A geração distribuída interfere diretamente no fluxo de potência, alterando assim características do sistema de proteção. Além disso, em cenários de redes elétricas inteligentes, os medidores inteligentes podem se caracterizar como sensores ao longo do sistema. Neste trabalho é apresentada a aplicação e a avaliação de uma técnica de detecção de faltas de alta impedância em um cenário de redes elétricas inteligentes possuindo sistemas de geração distribuída baseada no desequilíbrio de tensões.

Palavras-chave: Distribuição de energia. Falta de alta impedância. Smart Grid.

INTRODUÇÃO

A confiabilidade e a qualidade do serviço de fornecimento de energia elétrica constituem-se em dois aspectos que o projeto, manutenção e operação dos sistemas de distribuição de energia devem se preocupar. Entretanto, de uma forma geral, todos os sistemas elétricos estão susceptíveis a faltas (TLEIS, 2018). Portanto, nem sempre é possível proteger o sistema de todos os tipos de faltas pois, ainda, não estão disponíveis equipamentos capazes de realizar essa tarefa.



Neste sentido, pode ser citado o caso das faltas de alta impedância (HIF), que podem ser causadas, por exemplo, por galhos de árvores que tocam a rede elétrica ou ainda um rompimento de cabo sobre uma superfície isolante tal como asfalto, gerando uma baixa corrente de falta. Como essa corrente não é percebida pelo sistema de proteção (i.e. fusíveis) este não é acionado. Nesse sentido, às HIF colocam a população em risco, à mercê de eletrochoques e incêndios segundo Santos et. al (2017) e Bravo (2017). As HIFs em muitos casos só são detectadas a partir da denúncia de um cidadão. Conforme Zamora et. al. (2007), para as faltas que apresentam um incremento no fluxo de corrente de um sistema, já existem diversos dispositivos de proteção disponíveis. No entanto, para as HIF, ainda não existem dispositivos que garantam 100% de confiabilidade.

A preocupação sobre o tema não é recente, e já foram desenvolvidos diversos estudos sobre métodos para a detecção e a localização das HIF, no entanto, o sistemas está se modernizando com a inserção de tecnologias as redes, como as redes inteligentes (*smart grid*), e os métodos propostos até então focam nas redes convencionais. As proposições ainda apresentam algumas falhas e utilizam-se de diversas técnicas para estimar a localização da falta. Já no caso das redes elétricas inteligentes (*smart grids*) o monitoramento da rede acontece de forma on-line e em inúmeros pontos. Isto se dá a partir de um conjunto de dispositivos, entre eles o medidor inteligente (*Smart Meter*), que permite o conhecimento em tempo real das condições de fornecimento de energia bem como das informações do consumo, conforme Depru et. al (2011). Os medidores inteligentes formam uma rede de comunicação que conecta o sistema, a concessionária e os consumidores. Desta forma agilizam diversas questões e cada vez mais estão se tornando uma ferramenta importante na identificação de problemas no sistema elétrico.

Neste artigo, é apresentada a análise e avaliação da proposição de detecção da condição e falta de alta impedância a partir do monitoramento do desbalanceamento de fases em um cenário criado a partir de um trecho de um sistema de distribuição brasileiro imaginado sua estrutura totalmente alinhada com o conceito das redes elétricas inteligentes, levando-se em conta a influência da densidade de geração de distribuída presente no sistema.

METODOLOGIA

Foram realizadas simulações computacionais a partir da plataforma Matlab/Simulink



utilizando a biblioteca *SimScape*, analisando e avaliando a proposição de detecção da condição e falta de alta impedância a partir do monitoramento do desbalanceamento de fases em um cenário criado a partir de um trecho de um sistema de distribuição brasileiro, levando-se em conta a influência da densidade de geração de distribuída presente no sistema. Adiciona-se ainda a questão de não realizar nenhuma instrumentação adicional na rede, além do uso do medidor inteligente, para realizar esta detecção. Onde o fator de desequilíbrio nas leituras das tensões em cada um dos medidores inteligentes é calculado através do método CIGRE. Este método relaciona grandezas dos módulos das tensões de linha para obter o fator desequilíbrio do sistema, de acordo com Eugene (1986).

$$K(\%) = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$$
$$\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2}$$

sendo: $K(\%)$ – Valor percentual do fator de desequilíbrio e V_{AB} , V_{BC} e V_{CA} – respectivamente os módulos das tensões de linhas. O fator desequilíbrio é característico da rede e das cargas conectadas. É necessário ainda, que se leve em consideração o tempo de atuação dos fusíveis, religadores e outros equipamentos que possam interferir na identificação da falta, gerando um falso positivo.

O cenário utilizado neste estudo foi criado a partir de um trecho real do sistema de distribuição de energia da concessionária DEMEI, no município de Ijuí, Rio Grande do Sul, Brasil. Ele representa uma região totalmente ocupada por edificações residenciais unifamiliares. A rede simulada possui tensões trifásicas do primário de 23,1 kV e secundário 380/220V. A rede é constituída de cabo multiplexado 50 mm² e 70 mm² no secundário. Os transformadores possuem potência de 45 kVA e 75 kVA, com conexão delta no primário e estrela solidamente aterrada no secundário. As cargas representam os valores médios das residências daquele trecho de pequeno porte em momentos ociosos do dia, onde a potência instantânea consumida nos períodos utilizados neste estudo, é relativamente baixa.

O primeiro teste tem por objetivo determinar o fator de desequilíbrio, portanto as cargas conectadas estão equilibradas em uma rede convencional de sentido único e em seguida a fase A do alimentador sofre uma falta de alta impedância. Já no segundo teste é realizado o mesmo procedimento do primeiro, porém, com a microgeração das residências inserida.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente obteve-se o fator de desequilíbrio para uma rede convencional. A falta ocorre na fase A da rede de distribuição. O rompimento do condutor ocorre quando a rede está operando em regime permanente no tempo de 0,6 segundos. Desta maneira, os valores apresentados pelo desequilíbrio são de integral consequência da falta pois percebeu-se que quando a rede está em total equilíbrio o fator $k(\%)$ é igual a 0 e no momento em que houve o rompimento do cabo, causando uma falta de alta impedância, esse valor passa a ser igual a 82.2, aproximadamente, desequilibrando o sistema. Com base nos dados é possível estabelecer um fator de desequilíbrio que permite diferenciar condições características provocadas pela ruptura de um condutor energizado. É importante ressaltar que apenas as cargas conectadas a jusante do rompimento são afetadas.

Na segunda situação, a geração distribuída foi conectada ao sistema. O sistema de geração possui uma capacidade de injetar até 22 kWp, esta potência foi aumentada gradativamente a partir do valor zero. Para esta situação foi considerado o rompimento do condutor da fase A, tendo a geração distribuída ligada à carga da rede de distribuição. O sistema de geração começa a injetar potência antes da falta ocorrer e continua injetando potência mesmo após a falta. Foi ignorado neste primeiro caso o sistema de proteção do sistema fotovoltaico. Ou seja, os inversores não serão desconectados mesmo após uma sobretensão. Observou-se que no instante que ocorre o rompimento do condutor da rede primária, o sistema de geração alimenta a carga, apresentando um baixo valor de fator de desequilíbrio. No entanto, quando a potência de geração aumenta, o fator de desequilíbrio também aumenta, porém, este aumento no fator de desequilíbrio não é evidente de uma falta de alta impedância. Neste caso, esta característica apresenta uma desvantagem na identificação da falta no sistema. Após ocorrer a falta os medidores a jusante detectam o desequilíbrio de tensão. Porém, medidores que estão situados em outros alimentadores não detectaram nenhum distúrbio. Para todas as cargas que não estão a jusante da falta seu fator de desequilíbrio $k(\%)$ permanece em 0 e o sistema permanece normal.

Outra análise aborda a desconexão do sistema fotovoltaico, observa-se que os inversores identificam e atuam quando ocorre uma anomalia na rede. No instante que ocorre a queda de energia de um condutor, todos os inversores a jusante do ponto de ruptura, imediatamente interrompem a injeção de potência. Assim, o fator de desequilíbrio tornou-se



semelhante à rede convencional. Neste caso, a identificação da falta é possível sob as mesmas condições iniciais.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O que se pode concluir previamente deste estudo é que o fluxo de potência interfere diretamente na análise da proteção. O sistema de geração possui a capacidade de controlar o fator de desequilíbrio, mesmo no momento de rompimento de um condutor. O sistema apenas apresenta um fator de desequilíbrio favorável nos instantes em que os inversores se desconectam do sistema de distribuição. Os medidores inteligentes tem um papel fundamental nas redes elétricas inteligentes, pois provêm instrumentação em todas as cargas do sistema. O estudo demonstrou uma das inúmeras possibilidades a partir deste cenário. Soma-se a isto que a inclusão da geração distribuída nos consumidores, resulta em novos modelos de análise planejamento das redes de distribuição. Os modelos matemáticos clássicos podem sofrer alterações significativas nos próximos anos baseado neste tema.

AGRADECIMENTOS

Os pesquisadores agradecem ao CNPq pelo apoio financeiro e a UNIJUÍ pela infraestrutura disponibilizada para realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRAVO, R., Pham, E. **12kV high impedance fault testing**. 2017 Ieee Power & Energy Society General Meeting, [s.l.], p.1-5, jul. 2017. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/pesgm.2017.8274061>.
- DEPURU, S. S. S. R., Lingfeng W., Vijay D. and Nikhil G. Smart meters for power grid — Challenges, issues, advantages and status. **2011 IEEE/PES Power Systems Conference And Exposition**, [s.l.], p.1-7, mar. 2011. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/psce.2011.5772451>
- EUGENE, C. “A new simple and effective approximate formulation for determination of three-phase unbalance by the voltmeter method.” In: *CIGRE 1986*. 1986.
- SANTOS, W. C., Lopes, F. V. Brito, N. S. D. and Souza B. A. **High-Impedance Fault Identification on Distribution Networks**. IEEE Transactions on Power Delivery, [s.l.], v. 32, n. 1, p.23-32, fev. 2017. <http://dx.doi.org/10.1109/tpwrd.2016.2548942>
- TLEIS, N. D. **Power Systems Modelling and Fault Analysis - Theory and Practice**. Oxford: Elsevier Ltd., p.650. 2018. ISBN 978-0-7506-8074-5.
- ZAMORA, I., Mazurkiewicz, A. J., Sagastabeitia K. J. and Zamora J. **New Method for Detecting Low Current Faults in Electrical Distribution Systems**. IEEE Transactions on Power Delivery. Vol. 22, Issue: 4, pp. 2072-2079. ISSN 1937-4208, 2007.