

UM NOVO ESQUEMA DE PROTEÇÃO DE MICRORREDES BASEADO EM SISTEMAS MULTIAGENTES E MICRO-PMUS

Fernando Augusto de Salum e Dizioli

Pedro Henrique Aquino Barra, Thiago Souza Menezes

Prof. Dr. Denis Vinicius Coury

Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

fernando.dizioli@usp.br

Objetivos

Usualmente, os sistemas de distribuição de energia elétrica são construídos de forma radial. Logo, o fornecimento de energia às cargas é muito dependente da geração e transmissão. Uma solução moderna para esse problema está associada ao conceito de microrredes, combinando geração distribuída e flexibilidade operacional no sistema de distribuição. As microrredes podem reduzir ou até eliminar a dependência das cargas em relação a uma geração centralizada, podendo operar de forma desconectada da alimentação principal (chamada de operação ilhada). Não obstante, as microrredes dependem de um sistema de proteção mais moderno, diferente dos comumente utilizados em sistemas radiais, devido à intermitência e limitação de corrente dos geradores distribuídos, além das possíveis inversões de fluxo de potência nas linhas da microrrede (JIANG; HE; BO, 2010).

Este trabalho de iniciação científica tem por objetivo implementar um sistema de proteção para uma microrrede. Para tanto, será utilizado um sistema multiagentes (SMA) para identificar e corrigir faltas nas linhas, o qual utiliza as diferenças do ângulo de fase das correntes nas barras da microrrede, adquiridos por meio de micro-PMUs. Destaca-se que um sistema multiagentes é uma filosofia de inteligência artificial distribuída, onde diversos programas computacionais autônomos (agentes) interagem entre si e com o ambiente (rede) para atingir um objetivo global.

Métodos e Procedimentos

Tanto a microrrede quanto o SMA foram construídos no programa *Power Systems*

Computer Aided Design (PSCAD). A microrrede foi baseada em um sistema de *benchmark* em média tensão de 14 barras do CIGRÉ (STRUNZ et al., 2014). Uma região correspondente às barras 3 a 11 delimitam a microrrede, conforme Figura 1. Uma chave entre as barras 2 e 3 pode conectar ou ilhar o sistema, enquanto as chaves S_2 e S_3 podem fechar malhas na microrrede. Além disso, um gerador síncrono é conectado à barra 5.

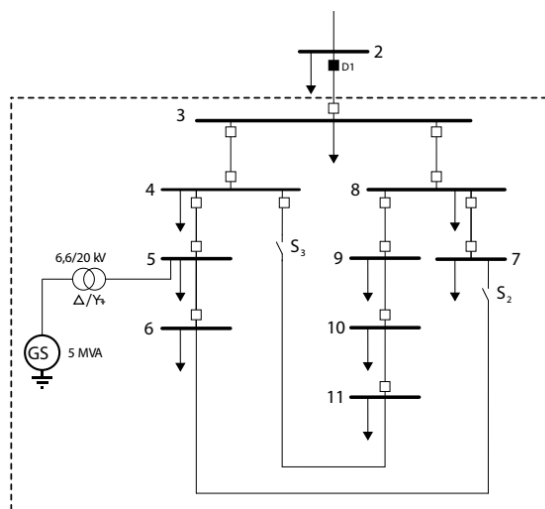


Figura 1: Microrrede sob estudo.

Os micro-PMUs foram representados na simulação como medidores associados às componentes de FFT (*Fast Fourier Transform*), do qual são extraídos os ângulos das correntes com uma taxa amostral de 64 amostras por ciclo, ou 3840 Hz para o sistema operando a 60 Hz.

Para o SMA, foram criados três tipos de agentes: agente de seção, agente de disjuntor e agente de chave. Uma parte da lógica foi

construída com os próprios componentes do PSCAD, e outra parte foi feita em linguagem C, inserida em componentes personalizados.

Os agentes de seção recebem os ângulos de corrente das barras adjacentes à linha na qual estão inseridos. Esses calculam a diferença ($\Delta\theta$) entre os ângulos das barras. Caso a variação entre a medida atual de $\Delta\theta$ e a medida anterior seja maior do que um valor mínimo (*threshold*) por três amostras consecutivas, o agente detecta a falta e envia o sinal de abertura dos disjuntores para o agente de disjuntor. Então, se o agente de disjuntor receber mais de um sinal de atuação, ele aciona o disjuntor da linha na qual a diferença de $\Delta\theta$ for mais acentuada. Por fim, o agente de chave é responsável por monitorar o estado das chaves S_2 e S_3 , e desativar o agente associado a essas linhas, caso as chaves estejam abertas.

Resultados

Todas as simulações foram realizadas com um tempo de 2 segundos, e a aplicação das faltas na metade da extensão das linhas em 1,5 segundos, visando garantir que o sistema esteja operando em regime permanente no momento imediatamente anterior à falta.

Inicialmente, foram aplicadas faltas monofásicas sólidas (com resistência de falta nula) nas linhas 3-4, 4-5, 5-6, 7-8, 8-9, 9-10, 10-11 e 3-8, com as chaves S_2 e S_3 abertas. O *threshold* ajustado foi de 5°. A relação entre as faltas aplicadas e os disjuntores acionados é mostrada na Figura 2.

disjuntor	falta							
	3-4	4-5	5-6	7-8	8-9	9-10	10-11	3-8
3-4	1	0	0	0	0	0	0	0
4-5	0	1	0	0	0	0	0	0
5-6	0	0	1	0	0	0	0	0
7-8	0	0	0	1	0	0	0	0
8-9	0	0	0	0	1	0	0	0
9-10	0	0	0	0	0	1	0	0
10-11	0	0	0	0	0	0	1	0
3-8	0	0	0	0	0	0	0	1

Figura 2: Relação entre faltas monofásicas sólidas e acionamentos de disjuntores da microrrede.

Como pode ser observado pela Figura 2, em todos os casos o sistema de proteção foi acionado corretamente. Os tempos de acionamento para esses disjuntores estão entre 1,24 ms (falta 10-11) e 8 ms (falta 7-8),

sendo este um tempo de atuação consideravelmente pequeno.

Na Tabela 1 apresenta as variações de $\Delta\theta$ medidas pelos agentes próximos à linha 3-4 quando é aplicada uma falta nesta linha. Os valores são mostrados desde o tempo de aplicação da falta (1,5 s) até a sua detecção pelo SMA, 15 ms depois, indicada pelas três variações consecutivas de $\Delta\theta$ na linha 3-4. Nas demais linhas, o valor de $\Delta\theta$ permanece próximo à zero.

Tabela 1: Variações de $\Delta\theta$ medidas para uma falta monofásica sólida na linha 3-4

Tempo (s)	Linha 3-4	Linha 4-5	Linha 3-8
1,50020	0,000000	0,000000	0,000000
1,50046	0,276513	0,007634	0,028082
1,50072	2,644478	0,017782	0,083097
1,50098	5,189804	0,001908	0,001392
1,50124	7,650043	0,007012	0,018498
1,50150	10,355548	0,008604	0,016674

Conclusões

Nota-se pela Figura 2 que o esquema proposto tem um alto potencial para uma proteção rápida e seletiva. Em estudos futuros, ajustes adicionais serão realizados para casos mais complexos, como malhamento ou ilhamento da rede, utilizando-se da comunicação e capacidade de decisão dos agentes. Os próximos passos da pesquisa também incluem a validação da proposição e embarcar o método em *hardware*. Para a validação, pretende-se realizar experimentos em laço fechado (*hardware-in-the-loop*), utilizando microcontroladores e o RTDS (*real-time digital simulator*).

Referências Bibliográficas

JIANG, W.; HE, Z.-y.; BO, Z.-q. The overview of research on microgrid protection development. In: IEEE. **2010 International Conference on Intelligent System Design and Engineering Application**. [S.l.], 2010. v. 2, p. 692–697.

STRUNZ, K.; ABBASI, E.; ABBEY, C.; ANDRIEU, C.; GAO, F.; GAUNT, T.; GOLE, A.; HATZIARGYRIOU, N.; IRAVANI, R. Benchmark systems for network integration of renewable and distributed energy resources. **Cigre Task Force C**, v. 6, n. 04-02, p. 78, 2014.