



**SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GPC 30
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO V

GRUPO DE ESTUDO DE PROTEÇÃO, MEDIÇÃO E CONTROLE EM SISTEMAS DE POTÊNCIA – GPC

METODOLOGIA PARA ANÁLISE E AVALIAÇÃO DOS AJUSTES E DAS LIMITAÇÕES DA PROTEÇÃO ANTI-ILHAMENTO DE GERADORES SÍNCRONOS DISTRIBUÍDOS

José Carlos de Melo Vieira Jr. * Diogo Salles Correa Walmir de Freitas André Luiz M. França

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP

RESUMO

Este artigo apresenta uma nova abordagem gráfica para avaliar e ajustar relés baseados em medidas de frequência empregados na proteção da conexão de geradores síncronos distribuídos com a rede elétrica. A grande vantagem dessa abordagem é que ela considera, em um mesmo plano definido pelo desbalanço de potência reativa *versus* desbalanço de potência ativa, os critérios de proteção contra ilhamentos e contra variações anormais de frequência. Dessa forma, as limitações impostas por estes critérios de proteção podem ser facilmente visualizadas e com isso, os relés baseados em medidas de frequência podem ser ajustados para satisfazê-los simultaneamente. Além disso, a aplicação do método proposto possibilita a melhoria da capacidade de detecção de ilhamento dos relés, a minimização da ocorrência de atuações indesejadas e a coordenação entre diferentes relés baseados em medidas de frequência.

PALAVRAS-CHAVE

Geração distribuída, ilhamento, máquina síncrona, proteção de sistemas de energia elétrica.

1.0 - INTRODUÇÃO

Guias de interconexão para geração distribuída elaborados pelas concessionárias de energia elétrica descrevem um conjunto de requisitos técnicos a serem obedecidos pelos geradores distribuídos antes de sua conexão e durante sua operação. Tais requisitos são necessários para garantir uma operação segura e harmoniosa entre o gerador e o sistema de distribuição. Neste contexto, os requisitos que lidam com a proteção relacionada à frequência elétrica são de grande importância. Portanto, este artigo enfoca dois tipos de requisitos técnicos de proteção de frequência: variações anormais de frequência e detecção de ilhamento. O primeiro desses requisitos é necessário para proteger o gerador, cargas e demais equipamentos contra variações excessivas de frequência, minimizar perturbações elétricas causadas pela desconexão e partida de outros geradores e explorar a capacidade dos geradores distribuídos em auxiliar o sistema elétrico durante perturbações no sistema de transmissão (1). Por outro lado, os esquemas de proteção contra ilhamentos devem desconectar o gerador distribuído tão logo uma situação de ilhamento ocorra, com o objetivo de garantir a segurança da equipe de manutenção da concessionária e prevenir danos às cargas e equipamentos do sistema ilhado, bem como aos próprios geradores (1)-(4). Além disso, os guias técnicos recomendam um tempo de até 2 segundos para o sistema de proteção detectar o ilhamento e desconectar o gerador (5). Um valor típico para este tempo é 500 ms.

É comum que os esquemas de proteção necessários para atender aos requisitos mencionados anteriormente sejam compostos por diferentes relés baseados em medidas de frequência. Usualmente, relés de taxa de variação

de frequência são dedicados à detecção de ilhamento, ao passo que relés de frequência são empregados em esquemas de proteção contra variações anormais de frequência (1). No entanto, os desempenhos desejados desses relés podem ser conflitantes: um dispositivo de proteção contra ilhamento ajustado com sensibilidade suficiente para detectar o ilhamento de forma eficiente pode frequentemente provocar desligamentos do gerador no caso de pequenas oscilações de frequência. Em contrapartida, se um desses relés for ajustado para não violar os critérios de proteção contra variações anormais de frequência, ele pode não detectar a condição de ilhamento dentro do tempo requerido pelos guias técnicos. Tal conflito faz com que o processo de ajuste desses relés exija certo cuidado, logo, não é uma tarefa simples.

Com o objetivo de lidar com esse conflito, este trabalho propõe uma metodologia inovadora que determina uma região no plano desbalanço de potência reativa *versus* desbalanço de potência ativa ($\Delta Q \times \Delta P$), onde a zona de não detecção do relé deve estar situada para que ambos os critérios de proteção mencionados anteriormente sejam simultaneamente satisfeitos. Este método será denominado *Região de Aplicação no Plano $\Delta Q \times \Delta P$* . Com o emprego deste método, é possível determinar os ajustes mais adequados dos relés, de forma a atender a ambos os critérios, verificar se diferentes relés baseados em medidas de frequência estão coordenados, identificar em que condições operativas e quanto determinado ajuste viola um ou ambos os critérios de proteção e minimizar os casos de atuação indevida dos relés utilizados na proteção anti-ilhamento. De fato, este método é uma generalização daquele proposto em (6).

Este artigo está organizado como segue. O conceito do método proposto é apresentado na seção 2. O emprego do método é discutido na seção 3, por meio de alguns exemplos de aplicação. Finalmente, a seção 4 apresenta as principais conclusões deste trabalho.

2.0 - REGIÃO DE APLICAÇÃO NO PLANO $\Delta Q \times \Delta P$

Para explicar o método proposto, os requisitos técnicos de proteção contra variações anormais de frequência apresentados na Tabela 1 serão inicialmente empregados. Ressalta-se que os valores desta tabela visam facilitar a explicação do método. Não necessariamente são valores utilizados na prática.

Tabela 1 - Critérios admitidos para proteção contra variações anormais de frequência.

Gerador	Faixa de frequência (Hz)	Tempo de atuação
> 30 kW	> 63	Instantâneo
	60,5 – 63,0 (ajustável)	Tempo ajustável
	57 – 59,5 (ajustável)	Tempo ajustável
	< 57,0	Instantâneo

O método proposto neste trabalho é baseado no conceito de zona de não detecção dos relés (7), (8). Uma zona de não detecção mapeia uma região no plano desbalanço de potência reativa *versus* desbalanço de potência ativa, onde um relé baseado em medida de frequência falha em detectar o ilhamento, dado seu ajuste e tempo máximo requerido para a atuação. Quanto menor a zona de não detecção de um relé, melhor será sua capacidade para detectar ilhamento. Para exemplificar o conceito de zona de não detecção e apresentar as idéias do método proposto, considere a Figura 1. Ela apresenta o método da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$, considerando os requisitos de proteção da Tabela 1 e um tempo máximo de detecção de ilhamento igual a 500 ms. Valores positivos de desbalanço de potência indicam excesso, ao passo que valores negativos indicam déficit de potência no sistema ilhado. Na Figura 1, a região em cinza é a região de aplicação dos relés baseados em medidas de frequência, a qual é determinada pela intersecção de duas zonas de não detecção. Essas zonas de não detecção foram obtidas por meio de simulações dinâmicas e os procedimentos para obtê-las são apresentados na Seção 3. As zonas de não detecção que compõem a região de aplicação são as seguintes:

- Zona de não detecção determinada pelos critérios de sub e sobrefrequência da Tabela 1, entre os quais o gerador não deve ser desconectado. Esses valores correspondentes são 59,5 Hz e 60,5 Hz, respectivamente. Essa zona de não detecção será denominada região de não operação e indica que relés baseados em medidas de frequência empregados na proteção anti-ilhamento não devem apresentar zonas de não detecção localizadas parcial ou totalmente em seu interior.
- Zona de não detecção determinada pelos critérios de sub e sobrefrequência que, se violados, o gerador deve ser instantaneamente desconectado. Esses valores correspondem a 57 Hz e 63 Hz, respectivamente e compõem a fronteira externa da região de aplicação. Se a zona de não detecção do relé de proteção anti-ilhamento for maior que as fronteiras desta região, significa que os ajustes correspondentes são indesejados, pois permitirão frequências inferiores a 57 Hz e superiores a 63 Hz, além de apresentar baixo desempenho em relação à detecção de ilhamento.

Portanto, se ambos os critérios de proteção devem ser simultaneamente satisfeitos, os relés da proteção anti-ilhamento devem ser ajustados de modo que as fronteiras de suas zonas de não detecção estejam contidas dentro da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$. A aplicação desta metodologia para ajustar e avaliar esquemas de proteção anti-ilhamento é discutida na próxima seção.

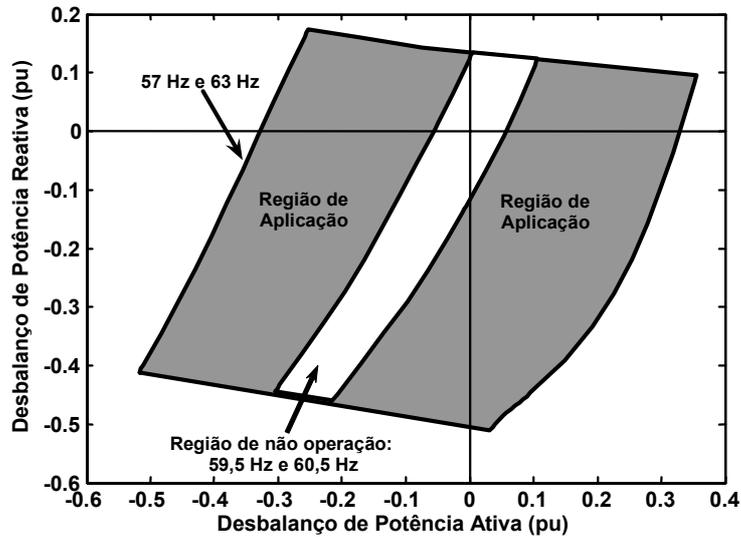


Figura 1 - Região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$.

3.0 - UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DA REGIÃO DE APLICAÇÃO NO PLANO $\Delta Q \times \Delta P$

Esta seção apresenta a utilidade do método proposto para ajustar relés baseados em medidas de frequência com o objetivo de satisfazer os critérios de proteção contra ilhamentos e contra variações anormais de frequência, simultaneamente. A Tabela 2 apresenta os critérios de proteção contra variações anormais de frequência, baseados em (5). Na terceira coluna dessa tabela, o tempo de desconexão compreende o tempo entre o início da condição anormal e a desconexão do gerador, logo ele inclui o tempo de abertura do disjuntor. Neste trabalho, o tempo máximo de detecção de ilhamento foi admitido como 500 ms.

Tabela 2 - Critérios de proteção contra variações anormais de frequência, baseados em (5).

Gerador	Faixa de frequência (Hz)	Tempo de desconexão (s)
≤ 30 kW	> 60,5	0,16
	< 59,3	0,16
> 30 kW	> 60,5	0,16
	57 – 59,5 (Ajustável)	0,16 – 300 (Ajustável)
	< 57,0	0,16

Os critérios de proteção contra ilhamento e contra variações anormais de frequência foram aplicados para analisar a proteção da interconexão do gerador da Figura 2 com a rede elétrica. Nesta rede, os componentes foram modelados como trifásicos, as linhas de distribuição foram modeladas como impedâncias série e os transformadores foram modelados de acordo com o circuito T . O gerador síncrono foi representado pelo seu modelo de sexta ordem, usando a referência dq no rotor (9). Esse gerador foi considerado equipado com regulador de tensão IEEE Tipo 1 (9). Finalmente, as cargas foram representadas pelo modelo de impedância constante (9). O regulador de velocidade foi desprezado nessas análises porque o tempo da simulação empregada para obter cada ponto da zona de não detecção era curto, em torno de 1 segundo. Além disso, os geradores distribuídos normalmente operam com potência ativa constante (1). Portanto, o conjugado mecânico do gerador síncrono foi considerado constante em cada simulação realizada.

Para obter as zonas de não detecção é necessário simular ilhamentos considerando todas as combinações de déficit e excesso de potência ativa e reativa no sistema ilhado. Para cada condição de desbalanço de potência ativa e reativa considerada, a condição de ilhamento era simulada por meio da abertura do disjuntor DJ na Figura 2. Durante cada simulação, a frequência do gerador era monitorada para verificar se atingia os valores de sub e sobrefrequência dos critérios de proteção (para se obter a região de aplicação), ou os ajustes do relé de proteção anti-ilhamento (para se obter a zona de não detecção do dispositivo). A grandeza monitorada depende do tipo do

relé, por exemplo, a taxa de variação da frequência ou a frequência absoluta. Caso a frequência ou outra grandeza não atinja os valores dos critérios de proteção contra variações anormais de frequência ou os valores ajustados no relé dentro do tempo requerido para a detecção do ilhamento, os valores de desbalanço de potência reativa (ΔQ) e de potência ativa (ΔP) correspondentes são armazenados para traçar as zonas de não detecção. Os procedimentos para simular ilhamento considerando as combinações de déficit e excesso de potência ativa e reativa são descritos a seguir:

- Déficit de potência ativa: as potências ativas das cargas foram mantidas fixas nos valores da Figura 2 e variou-se a potência ativa injetada pelo gerador de 0 a 30 MW. Dessa forma, obteve-se uma variação do desbalanço de potência ativa de 30 MW a 0 ou 1 pu a 0.
- Excesso de potência ativa: a potência ativa do gerador foi mantida fixa em 30 MW (1 pu) e o consumo das cargas foi variado de 0 a 30 MW.
- Déficit e excesso de potência reativa: como o gerador estava configurado para controlar a tensão terminal, a tensão de referência do regulador de tensão foi variada de 0,95 pu a 1,05 pu, em passos de 0,01 pu. Então, para cada valor de tensão de referência uma simulação completa de déficit de potência ativa e uma de excesso de potência ativa eram executadas.

Depois de aplicados os passos anteriores, basta desenhar os pontos armazenados no plano $\Delta Q \times \Delta P$ e traçar a zona de não detecção. Ressalta-se que as condições operativas que causaram violações dos limites de tensão em regime permanente foram desprezadas. Esses limites de tensão foram admitidos como 0,95 pu e 1,05 pu.

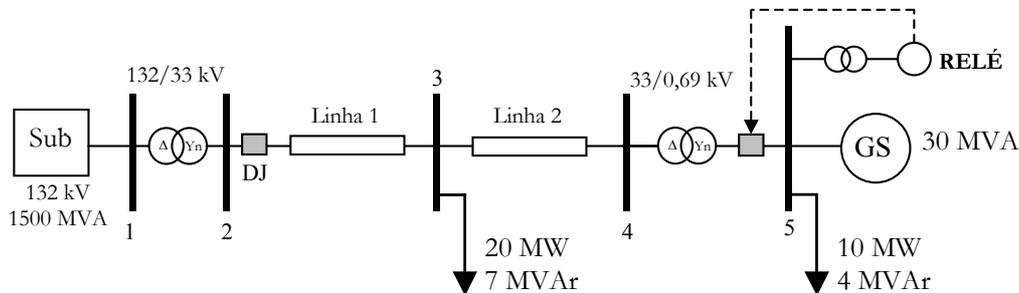


Figura 2 - Diagrama unifilar do sistema elétrico.

A região de aplicação correspondente aos critérios da Tabela 2 e ao tempo de detecção de 500 ms é apresentada na Figura 3. Nesta figura e no restante deste trabalho, a potência-base admitida é igual à potência nominal do gerador, ou seja, 30 MVA. Inicialmente, nota-se que os critérios de sobrefrequência são mais restritivos do que os apresentados na Tabela 1, provocando uma diferença na região de aplicação. Observa-se que no lado direito da região de aplicação, não há, de fato, uma região e sim uma linha. Isso é decorrente do critério de sobrefrequência da Tabela 2 não considerar a possibilidade de ajustes no valor da frequência ou no tempo de desconexão. Tal critério simplesmente determina que frequências superiores a 60,5 Hz devem provocar a desconexão imediata do gerador.

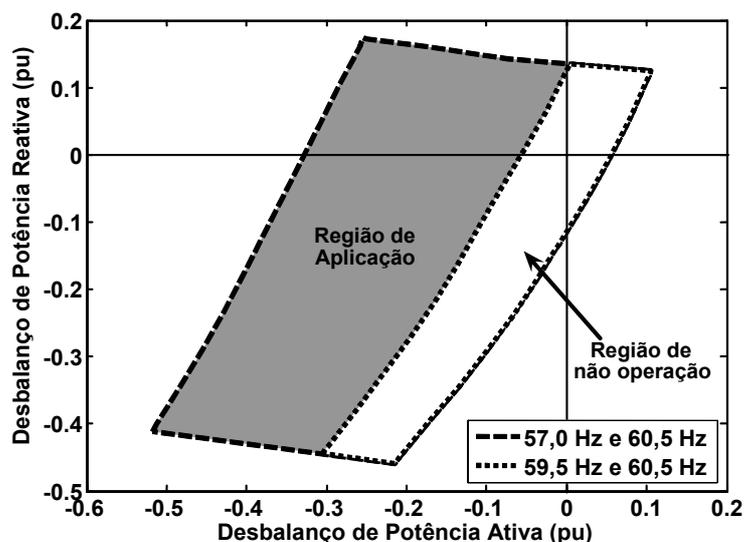


Figura 3 - Região de aplicação considerando os critérios da Tabela 2 e tempo de detecção igual a 500 ms.

A seguir, algumas utilidades da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$ são discutidas.

3.1 Minimização do Desbalanço Crítico de Potência

Desbalanço crítico de potência é definido como o nível de desbalanço de potência abaixo do qual o relé baseado em medida de frequência não é capaz de detectar o ilhamento dentro do tempo requerido (6), (7). Estes níveis de desbalanço crítico compõem as fronteiras das zonas de não detecção dos relés. Logo, se o relé deve ser ajustado para ser eficiente na proteção contra ilhamento, os desbalanços críticos de potência relativos ao ajuste aplicado devem ser pequenos. Em outras palavras, sua zona de não detecção deve ser pequena: quanto menor, mais eficiente será o relé para detectar ilhamento. No entanto, se essa zona de não detecção for muito pequena, o relé poderá operar no caso de variações de frequência entre 59,5 Hz e 60,5 Hz, violando os critérios da Tabela 2. Portanto, para minimizar os desbalanços críticos de potência, satisfazendo ambos os critérios simultaneamente, a zona de não detecção do relé deve ser pequena, porém sempre maior que a região de não operação. Observa-se que a região de não operação limita a capacidade de detecção de ilhamento do relé, se ambos os critérios de proteção precisam ser respeitados. Para demonstrar esse conceito, a Figura 4 mostra as zonas de não detecção de um relé de taxa de variação de frequência em duas situações distintas. Inicialmente, o relé é ajustado em 1,0 Hz/s – 0 ms. Pelo método da região de aplicação, observa-se que esse ajuste não é adequado, pois sua zona de não detecção viola parcialmente os limites da região de não operação. Isso implica que os critérios de variação contra frequências anormais foram violados para determinadas condições operativas. Para eliminar essa violação, os ajustes do relé precisam ser alterados e se propõe ajustá-lo em 1 Hz/s – 150 ms. Nesta condição, observa-se que a zona de não detecção correspondente não viola a região de não operação, mas suas fronteiras estão bem próximas das bordas da região de não operação. Em suma, o desbalanço crítico de potência foi minimizado graças à utilização da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$.

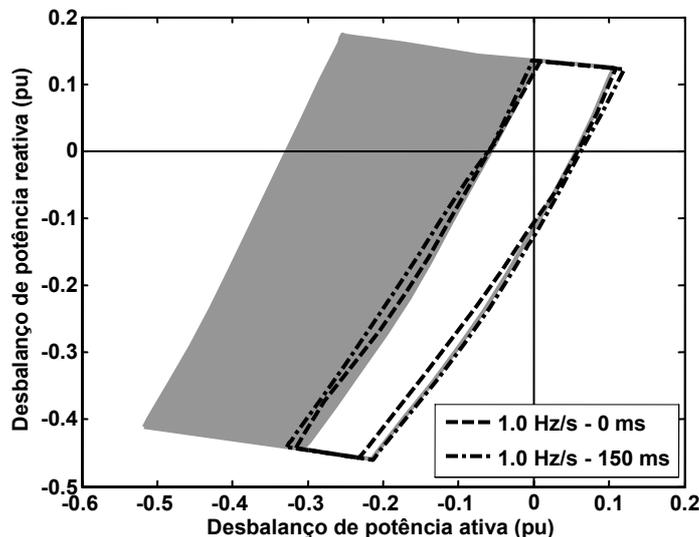


Figura 4 - Método da região de aplicação utilizado para ajustar um relé de taxa de variação de frequência para minimizar os desbalanços críticos de potência.

3.2 Minimização de Ocorrências de Atuações Indevidas

Relés empregados na proteção anti-ilhamento, quando ajustados muito sensíveis, podem levar a desconexões frequentes do gerador distribuído devido a transitórios no sistema de distribuição causados por eventos diferentes de ilhamento. Curtos-circuitos ou chaveamento de cargas são exemplos típicos de eventos que podem ocasionar a operação indevida desses dispositivos de proteção. Logo, eles devem ser ajustados para minimizar esse tipo de ocorrência e normalmente isto é realizado deixando o relé menos sensível, seja pelo aumento no valor do ajuste ou de sua temporização. Neste contexto, o método da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$ pode ser empregado para verificar se os novos ajustes configurados para minimizar a ocorrência de operação indevida, ainda mantêm os dois critérios de proteção satisfeitos. A Figura 5 mostra a zona de não detecção de um relé de taxa de variação de frequência ajustado em 0,5 Hz/s – 330 ms e a região de aplicação obtida considerando os critérios de proteção da Tabela 2 e 500 ms como tempo requerido para a detecção do ilhamento.

Para verificar que o ajuste configurado no relé de taxa de variação de frequência minimiza a ocorrência de atuações indevidas, a seguinte análise foi realizada: um curto-circuito trifásico foi aplicado na barra 3 em $t = 0,25$ segundo e eliminado em $t = 0,35$ segundo. O tempo total de simulação foi de 1,25 segundo. Esse procedimento foi repetido para três cenários de geração: 10 MW, 20 MW e 25 MW. Para cada uma dessas condições operativas

verificou-se a estabilidade do relé considerando o ajuste da Figura 5 e o ajuste que minimizou o desbalanço crítico de potência (ver Figura 4): 1,0 Hz/s – 150 ms. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

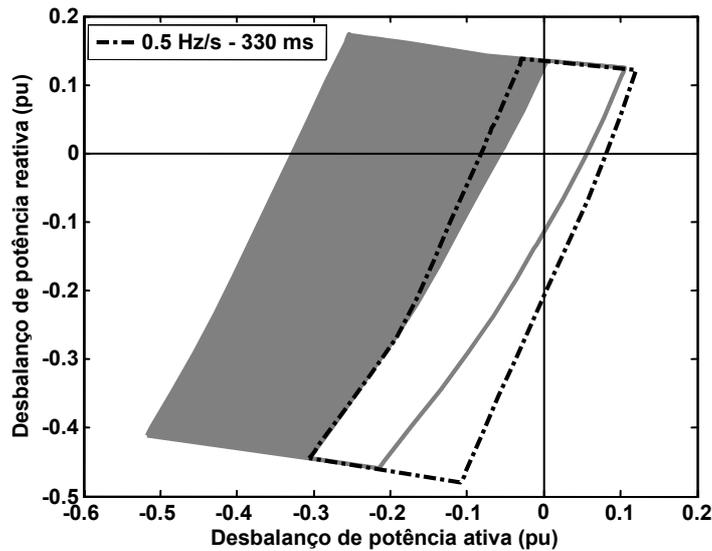


Figura 5 - Relé de taxa de variação de frequência ajustado para minimizar casos de atuação indevida.

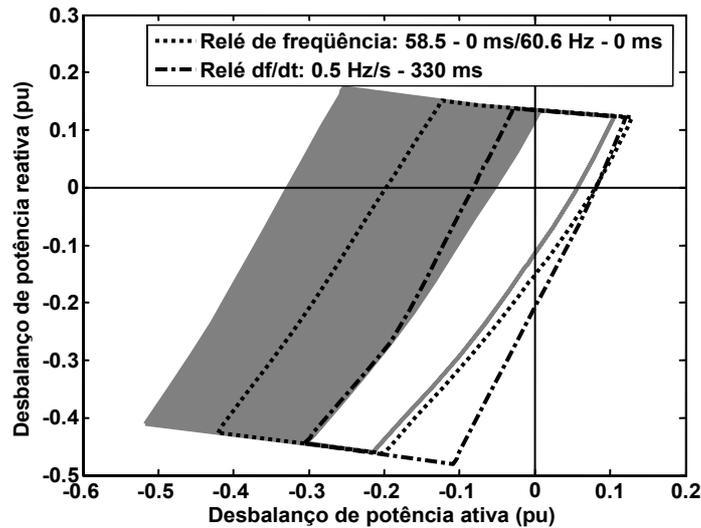
Tabela 3 - Desempenho do relé de taxa de variação de frequência frente a um curto-circuito na barra 3.

Relé	Ajuste	Potência ativa do gerador		
		10 MW	20 MW	25 MW
Taxa de variação de frequência	1,0 Hz/s – 150 ms	Não Opera	Opera	Opera
	0,5 Hz/s – 330 ms	Não Opera	Não Opera	Não Opera

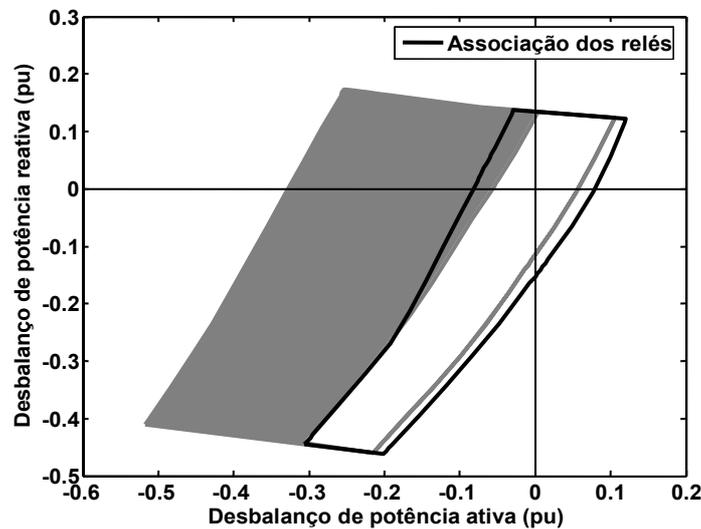
De acordo com a Tabela 3, o relé de taxa de variação de frequência ajustado conforme a Figura 5, não operou para nenhum dos casos de curto-circuito simulados, ao contrário do ajuste empregado para minimizar o desbalanço crítico de potência. No entanto, o ajuste da Figura 5 viola os critérios de proteção contra variações anormais de frequência no primeiro, parte do terceiro e quarto quadrantes (sentido anti-horário). Portanto, embora o relé ajustado com os valores da Figura 5 seja eficiente para a detecção do ilhamento, ele não pode ser empregado para satisfazer a ambos os critérios de proteção simultaneamente, se é previsto que o sistema elétrico operará em condições correspondentes às áreas em que ocorreram as violações no plano $\Delta Q \times \Delta P$. Assim, sugere-se que esse relé seja associado a um outro relé baseado em medida de frequência e que ambos operem de forma coordenada para que as funções de proteção contra ilhamento e contra variações anormais de frequência sejam devidamente atendidas. Essa coordenação será abordada na próxima sub-seção, por meio da utilização do método da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$.

3.3 Coordenação de Relés Baseados em Medidas de Frequência

Dois relés baseados em medidas de frequência podem ser coordenados para maximizar o desempenho da proteção dos geradores distribuídos. Por exemplo, o relé de taxa de variação de frequência ajustado conforme a Figura 5 não satisfaz ambos os critérios de proteção simultaneamente, uma vez que sua zona de não detecção viola a região de aplicação. No entanto, esse ajuste minimiza o desbalanço crítico de potência e a ocorrência de atuação indevida do relé, para algumas condições de operação do sistema de distribuição com o gerador distribuído. Assim, para melhorar o desempenho da proteção de frequência desse gerador, pode-se considerar um relé adicional para prover adequada proteção nas situações em que o relé de taxa de variação de frequência é ineficiente. Assim, como exemplo, considera-se um relé de frequência ajustado em 58,5 Hz – 0 ms e 60,6 Hz – 0 ms. O método proposto foi utilizado para avaliar a escolha desses ajustes e os resultados são apresentados na Figura 6, em que “relé df/dt ” representa o relé de taxa de variação de frequência.



(a) Zonas de não detecção independentes para cada relé.



(b) Zona de não detecção da associação dos relés.

Figura 6 - Aplicação do método proposto para analisar a coordenação entre diferentes relés baseados em medida de frequência.

Observa-se na Figura 6(a) que o relé de frequência é adequado para prover proteção satisfazendo a ambos os critérios, embora haja uma pequena violação da região de aplicação no primeiro, terceiro e quarto quadrantes. Essa violação pode ser desprezada, uma vez que é muito pequena. Por outro lado, o relé de taxa de variação de frequência é adequado para proteção contra ilhamento, mas viola parte da região de aplicação devido aos ajustes considerados, conforme mencionado anteriormente. Observa-se também que, dentro da região de aplicação (área em cinza), o relé de taxa de variação de frequência é mais efetivo que o de frequência, em relação à capacidade de detecção de ilhamento, pois os desbalanços críticos de potência são menores. Logo, os desempenhos desses relés são complementares e a zona de não detecção efetiva, resultante da ação dos dois relés, é apresentada na Figura 6(b), onde se mostra que a ação de ambos os relés resulta numa característica conjunta capaz de satisfazer ambos os critérios de proteção, minimizando os desbalanços críticos de potência. Ressalta-se que essa característica conjunta é a região obtida da intersecção das zonas de não detecção dos dois relés

4.0 - CONCLUSÕES

Este artigo apresentou uma nova metodologia gráfica para analisar e elaborar, de forma eficiente, esquemas de proteção baseados em medidas de frequência para a interconexão de geradores síncronos distribuídos com a rede elétrica. Os grandes atrativos dessa metodologia são que a mesma considera uma ampla faixa de pontos operativos do sistema elétrico e que os relés em questão podem ser ajustados/analísados de tal forma que os

critérios de proteção contra ilhamento e contra variações anormais de frequência sejam simultaneamente obedecidos. O método proposto define uma região – região de aplicação – no plano $\Delta Q \times \Delta P$ que determina as limitações de ajuste desses relés para que ambos os critérios de proteção não sejam violados. Em suma, os seguintes pontos podem ser destacados:

- Se um engenheiro de proteção ajusta um relé muito sensível para detectar ilhamento eficientemente, a utilização do método proposto o possibilita determinar quanto os critérios de proteção contra variações anormais de frequência foram violados;
- Se ambos os critérios precisam ser obedecidos simultaneamente, os desbalanços críticos de potência são definidos pelas bordas da região de não operação. Portanto, nenhum relé de proteção pode ser ajustado de forma a violar esses limites;
- Usualmente, os relés de proteção anti-ilhamento são ajustados de forma independente dos relés de proteção contra variações anormais de frequência, embora eles lidem com a mesma variável: a frequência elétrica. Portanto, a operação coordenada entre esses relés pode melhorar consideravelmente o desempenho do sistema de proteção com relação à obediência a esses dois critérios de proteção, minimizando os desbalanços críticos de potência e os casos de operação indevida dos relés. Neste contexto, o método proposto se destaca como uma ferramenta inovadora para analisar a coordenação entre relés baseados em medidas de frequência, uma vez que proporciona ao engenheiro de proteção uma visão mais abrangente do desempenho dos relés considerando as possíveis combinações de déficit e excesso de potência ativa e reativa no sistema ilhado.

Finalmente, embora os resultados apresentados neste artigo tenham sido obtidos para um único sistema elétrico e considerando critérios de proteção específicos, o método da região de aplicação no plano $\Delta Q \times \Delta P$ pode ser diretamente aplicado para outros sistemas elétricos de distribuição, sujeitos a diferentes critérios de proteção. Além disso, o método também pode ser perfeitamente aplicado para ajustar/analisar um outro tipo de relé muito empregado na proteção anti-ilhamento: o relé de “salto de vetor” (1), (7).

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) JENKINS, N., ALLAN, R., CROSSLEY, P., KIRSCHEN, D., STRBAC, G. *Embedded Generation*, 1st ed. Institute of Electrical Engineers, 2000.
- (2) WALLING, R.A., MILLER, N.W. *Distributed Generation Islanding-Implications on Power System Dynamic Performance* - IEEE/PES Power Engineering Society Summer Meeting, pp. 92 – 96, 2002.
- (3) ELECTRICITY ASSOCIATION G75/1. *Recommendations for the Connection of Embedded Generating Plant to Public Distribution Systems above 20 kV or with Outputs over 5 MW* - Electricity Association Std., 2003.
- (4) WORKING GROUP 37.23. *Impact of Increasing Contribution of Dispersed Generation on the Power System* - CIGRÉ, Tech. Rep., 1999.
- (5) IEEE STANDARD 1547. *IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems* - IEEE Standards Coordinating Committee 21, July 2003.
- (6) VIEIRA, J.C.M., FREITAS, W., XU, W., MORELATO, A. *Performance of Frequency Relays for Distributed Generation Protection* - IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1120-1127, July 2006.
- (7) VIEIRA, J.C.M. *Metodologias para Ajuste e Avaliação do Desempenho de Relés de Proteção Anti-Ilhamento de Geradores Síncronos Distribuídos* – 2006. 217 f.. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- (8) YE, Z., KOWALKAR, A., ZHANG, Y., DU, P., WALLING, R.A. *Evaluation of Anti-Islanding Schemes Based on Nondetection Zone Concept*. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 5, pp. 1171-1176, Sep. 2004.
- (9) KUNDUR, P. *Power System Stability and Control* - New York: McGraw-Hill Inc., 1994.