

ANÁLISE DE ESTRATÉGIAS APLICADAS AO ILHAMENTO INTENCIONAL DE GERADORES SÍNCRONOS DISTRIBUÍDOS

ROGÉRIO L. LIMA, DANIEL MOTTER, JOSÉ CARLOS M. VIEIRA JR

*Laboratório de Sistemas de Energia Elétrica - LSEE, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação,
Escola de Engenharia de São Carlos - EESC, Universidade de São Paulo - USP
Avenida Trabalhador São-carlense, 400, 13560-590 – São Carlos – SP - Brasil
E-mails: rogeriolucio@sc.usp.br, danielmottes@usp.br, jcarlos@sc.usp.br*

RENATO M. MONARO

*Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
PEA – Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas
Av. Prof. Luciano Gualberto, Travessa 3, nº 158 CEP: 05508-010 – São Paulo – SP – Brasil
E-mail: monaro@usp.br*

Abstract— The islanded operation of distributed generators, if allowed, must ensure the formation of a stable energized island with acceptable power quality levels to the loads. Thus, at least two issues arise from this: the first one is related to the transition from non islanded to islanded connection, which can cause severe voltage and frequency transients capable of activating the distributed generator protection. The second one is related to the quality of the power supplied to the islanded loads at steady-state operation, which must comply with technical limits. In this context, this paper aims at investigating both issues when a synchronous distributed generator becomes suddenly islanded. Two operating strategies are proposed and investigated concerning their feasibility to create a sustained energized island. The results show that both strategies can be faced as potential solutions if islanding is allowed.

Keywords— Distributed Generation; Intentional Islanding; Synchronous Generator; Power Quality; Power Distribution.

Resumo— A operação ilhada de geradores distribuídos, uma vez permitida, deve assegurar a formação estável de uma ilha energizada com os níveis de qualidade de energia adequados às cargas. Assim duas questões são oriundas deste objetivo: a primeira está relacionada à transição do modo de operação do gerador distribuído de paralela para a ilhada, o que pode causar transitórios de tensão e frequência capazes de levar a proteção dos geradores a desconectá-los. A segunda está relacionada à qualidade da energia fornecida às cargas em regime permanente durante a operação ilhada, que deve atender aos limites definidos pelos órgãos reguladores. Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo investigar estratégias para viabilizar a operação ilhada de geradores distribuídos. Duas estratégias operacionais são propostas e investigadas quanto à viabilidade da formação de ilhas energizadas. Os resultados mostram que ambas as estratégias podem ser encaradas como potenciais soluções caso o ilhamento seja permitido.

Palavras-chave— Geração Distribuída; Ilhamento Intencional; Gerador Síncrono; Qualidade de Energia Elétrica, Distribuição de Energia Elétrica.

1 Introdução

Um dos principais requisitos a serem atendidos pelos proprietários de geradores distribuídos (GDs) quando da sua conexão à rede de distribuição de energia elétrica é a imediata desconexão destes no caso de formação do ilhamento após contingências que provoquem perda da conexão com a subestação da concessionária (Jenkins et al., 2000; IEEE, 2003). Esta exigência visa evitar danos aos equipamentos da rede elétrica, aumenta a segurança da equipe de manutenção da concessionária, e evita problemas relacionados à qualidade da energia elétrica que poderão ocorrer em caso de ilhamento não intencional (Xu, Mauch & Martel, 2004; Chowdhury et al., 2008). De maneira geral, recomenda-se que os geradores distribuídos sejam desconectados em menos de 2 segundos após a ocorrência do ilhamento (IEEE, 2003), mas

este valor varia conforme a filosofia de operação das concessionárias.

Esta exigência é prática comum na maioria das concessionárias distribuidoras de energia elétrica em todo o mundo. No entanto, com o aumento do número de GDs em redes de distribuição de energia, estas se tornaram mais dependente destes geradores, de forma que a desconexão massiva de geradores distribuídos pode resultar em problemas graves de estabilidade e de qualidade de energia elétrica (Trindade et al, 2010). Dessa forma, pesquisadores e engenheiros das empresas distribuidoras de energia iniciaram estudos para investigar estratégias para a operação e o controle do ilhamento intencional de GDs. Tal interesse motivou a IEEE publicar um conjunto de recomendações contendo aspectos importantes que devem ser observados para viabilizar a operação ilhada de GDs (IEEE, 2011). Embora o ilhamento intencional não seja comum em redes de distribuição de energia atualmente, esta condição operacional é promissora, como pode ser observado por algumas propostas in-

teressantes encontradas na literatura técnica (Hegazy & Chikhani, 2003).

Neste contexto, se a operação ilhada de GDs for permitida, a estabilidade da rede durante a operação do ilhamento deve ser garantida e os índices de qualidade de energia devem atender aos limites legais. O tema deste artigo é sobre estes dois últimos aspectos e seu principal objetivo é investigar o comportamento transitório da tensão e frequência do GD durante a transição do modo paralelo para operação ilhada. A partir destas análises, este trabalho visa também propor estratégias e soluções que suavizem os transitórios durante essa transição, de modo que os dispositivos de proteção de frequência e de tensão não desconectem o GD prematuramente.

Este trabalho está organizado como segue: a seção 2 apresenta uma breve revisão sobre os modos de operação dos geradores distribuídos em condição ilhada e em paralelo com a rede de distribuição; a seção 3 define por meio de simulações no domínio do tempo as principais questões relacionadas à operação ilhada; a seção 4 apresenta duas soluções possíveis para a operação ilhada, e a seção 5 apresenta as principais conclusões deste trabalho.

2 Modos de controle do gerador distribuído

Normalmente, os GDs conectados nas redes de distribuição são configurados para fornecerem potência ativa constante com controle do fator de potência ou de potência reativa (controle PQ) (Jenkins et al., 2000). Comumente, a potência reativa é nula, o que torna um fator de potência unitário medido no ponto de acoplamento comum entre o GD e a rede (Jenkins et al., 2000). No entanto, se o ilhamento intencional é desejado, os GDs presentes na ilha devem controlar a frequência e a tensão no sistema ilhado (controle fV) (Mohamad et al., 2011; IEEE, 2011; Trindade et al., 2010), a fim de garantir a estabilidade e os níveis aceitáveis de qualidade de energia para as cargas ilhadas. Portanto, para uma transição bem sucedida, a conversão automática do modo de controle PQ para fV deve ser feita sem que os limites de tensão e frequência ajustados nos dispositivos de proteção sejam violados (Trindade et al., 2010).

Assim, o primeiro passo para a realização da operação ilhada é a conversão o modo de controle do GD de controle PQ para fV após a perda da alimentação principal. Tal mudança de controle deve ser realizada dentro do tempo de restrição (t_{REST}), que é o tempo máximo para alteração dos modos de controle do GD, sem a que a proteção de frequência e de tensão do GD atue (Trindade et al., 2010). Assim, quanto maior é o t_{REST} , maior é a possibilidade de formação de uma ilha de estável. O tempo de restrição e as variações de tensão e frequência são usados neste trabalho para avaliar a desempenho do ilhamento intencional.

3 Avaliação da operação ilhada em unidades GD

Esta seção apresenta simulações no domínio do tempo para avaliar a viabilidade de formação de ilhas estáveis. Os elementos da biblioteca do SimPowerSystem do Matlab/Simulink (Hydro-Québec, 2013) foram utilizados para executar as simulações. O objetivo é avaliar o comportamento da frequência e tensão durante a alteração dos modos de controle e regime permanente pós ilhamento.

3.1 Definição do Caso Base

As análises serão realizadas com base na rede de distribuição de energia da Figura 1, que tem um alimentador de 33 kV com seis barras de carga, conectadas à subestação (SUB) com potência de curto circuito de 1500 MVA. Foi considerado apenas um GD síncrono, equipado com uma turbina a vapor com regulador de velocidade (Hydro-Québec, 2013) e uma excitatriz com regulador automático de tensão (AVR) do tipo IEEE DC1 (Kundur, 1994). A potência ativa nominal das cargas é apresentada na Figura 1, e o fator de potência é definido em 0,94. Este sistema elétrico foi baseado no sistema apresentado em Freitas et al (2006).

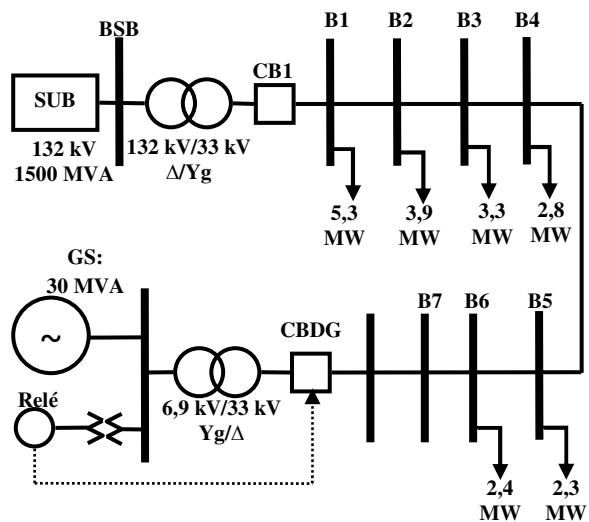


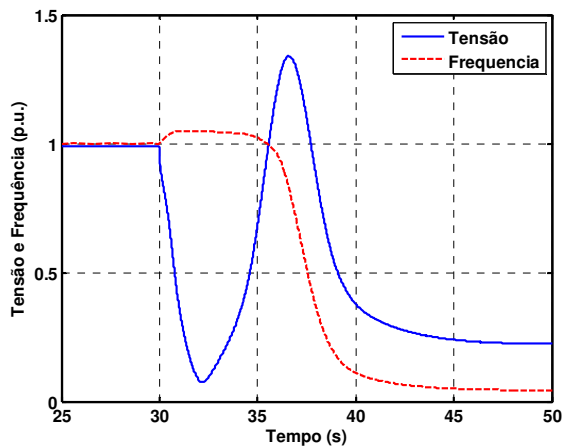
Figura 1. Rede de distribuição de Energia: CA, 60 Hz.

As condições de operação do caso base são: demanda de potência ativa total das cargas (P_C) é 24 MW com cargas do tipo impedância constante (Kundur, 1994); potência gerada do GD (P_G) de 27 MW; regulador automático de tensão (AVR) configurado para controle PQ e potência reativa nula, $Q = 0$.

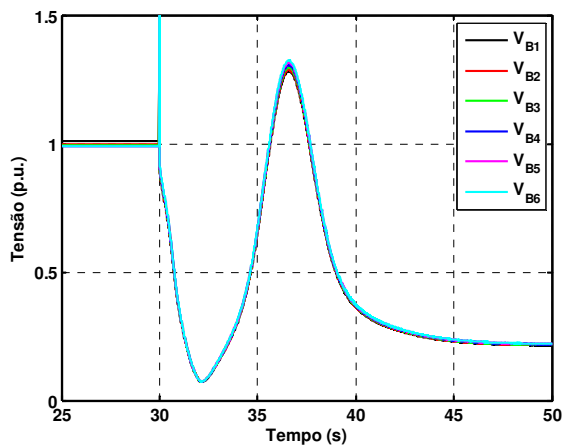
O ilhamento intencional é simulado com a abertura do disjuntor CB1 (Figura 1) no tempo t de 30 segundos após início da simulação. O GD será desconectado imediatamente se forem violados os limites de frequência de 57 ou 61,5 Hz, ou tendo violado os limites da magnitude de tensão de 0,7 pu ou 1,1 pu. Estes são os requisitos da proteção do GD. Neste artigo, os níveis aceitáveis de qualidade de energia

para a condição de regime permanente do sistema para a frequência estão na faixa de ajuste de 59,5 e 60,5 Hz, e a tensão entre 0,95 e 1,05 pu.

Apenas para exemplificar a importância da alteração dos modos de controle do GD no caso de ilhamento intencional, uma simulação de ilhamento foi executada e não foi considerada a mudança do modo de controle de PQ para fV. Os resultados são apresentados na Figura 2. A Figura 2(a) apresenta a frequência e a tensão nos terminais do GD. A figura 2(b) apresenta o comportamento da tensão nas barras de carga. Neste caso, o GD será desconectado pela proteção de tensão, tendo em vista que sua tensão terminal atingiu valores inferiores a 0,5 pu. Este exemplo demonstra o quanto é necessário à alteração dos modos de controle do GD de PQ para fV após ilhamento.



(a) Tensão e frequência do GD.



(b) Tensões nas barras de carga.

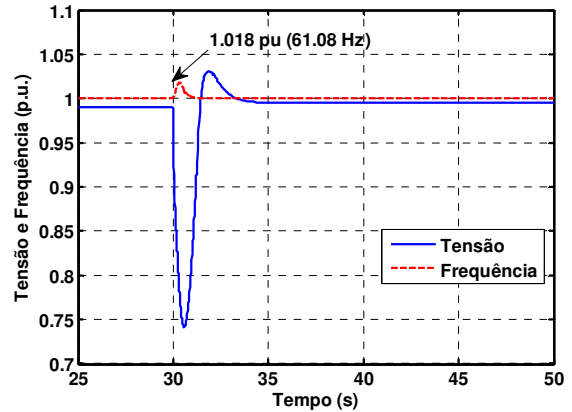
Figura 2. Comportamento da tensão e frequência após ilhamento e alteração do modo de controle do GD ($P_G = 27$ MW; $P_C = 24$ MW).

3.2 Caso base com a mudança do modo de controle do GD de PQ para fV

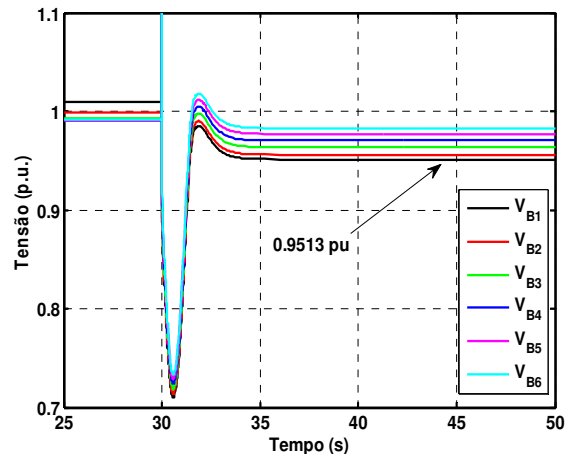
Agora o caso base é configurado para realizar a alteração do modo de controle após ilhamento. Assim, o modo de controle do GD foi alterado de PQ para fV em $t = 30,15$ segundos, 150 ms após o ilhamento. Este tempo foi definido arbitrariamente neste trabalho. Os resultados estão apresentados na Figura 3.

A partir da Figura 3(a), pode-se observar que tanto a tensão como a frequência do GD não violam os ajus-

tes definidos dos dispositivos de proteção. Além disso, de acordo com a figura 3(b) as cargas experimentam severos afundamentos de tensão, entretanto as tensões recuperam-se rapidamente e retornam a valores aceitáveis após o sistema entrar em regime permanente.



(a) Tensão e frequência no GD.



(b) Tensões nas barras de carga.

Figura 3. Comportamento da tensão e frequência após ilhamento, considerando a alteração do modo de controle do GD ($P_G = 27$ MW; $P_C = 24$ MW).

3.3 Análise de sensibilidade

Os resultados apresentados na seção anterior mostraram que a mudança do modo de controle do GD de PQ para fV após o ilhamento é um meio eficaz de operação do ilhamento. Entretanto, o comportamento transitório da tensão e frequência pode mudar significativamente se as condições de operação são modificadas. Para investigar tal problema, consideram-se três casos adicionais como segue:

- Caso 1: $P_G = 18$ MW e 0 Mvar; $P_C = 24$ MW; Alteração do modo de controle do GD 150 ms após ilhamento;
- Caso 2: $P_G = 27$ MW e 0 Mvar; $P_C = 20$ MW; alteração do modo de controle do GD 150 ms após ilhamento;
- Caso 3: $P_G = 27$ MW e 0 Mvar; $P_C = 10$ MW; alteração do modo de controle do GD 150 ms após ilhamento.

No caso 1 há déficit de geração, nos casos 2 e 3 há excesso de geração. Três características serão comparadas: (i) a magnitude dos afundamentos de tensão será medida na barra de carga 1 durante a transição do modo de controle do GD (V_{AT} , em pu); (ii) a tensão na barra de carga na barra 1 será medida após o ilhamento e na condição de regime permanente (V_{RP} , em pu); (iii) o tempo de restrição (t_{REST} , em segundos). Foi escolhida a barra de carga 1 por esta ter apresentado os menores níveis de tensão após ilhamento. A Tabela 1 apresenta os resultados destas simulações.

Tabela 1. Resultados da análise de sensibilidade considerando controle PQ antes do ilhamento.

Caso	V_{AT} (pu)	V_{RP} (pu)	t_{REST} (s)
Base	0,710	0,951	0,222
1	0,728	0,951	0,245
2	0,750	0,960	0,169
3	GD desconectado		

Da Tabela 1 observa-se que a redução da potência ativa do GD para 18 MW (caso 1) não alterou significativamente os índices V_{AT} , V_{RP} e t_{REST} em comparação ao caso base, apesar de terem melhorado. Por outro lado, pode-se observar que a redução do carregamento do sistema (casos 2 e 3) causou impactos significativos. O caso 2, quando comparado ao caso base, apresentou aumento para os índices V_{AT} e V_{RP} , enquanto t_{REST} diminuiu consideravelmente. Isto quer dizer que a mudança do modo de controle do GD deve ser feita rapidamente após a detecção do ilhamento. Nesta situação, a sobrefrequência foi responsável pelo decréscimo de t_{REST} , já que há excesso de potência ativa quando comparado ao caso base. Finalmente no caso 3, devido ao excesso de potência ativa, a sobrefrequência foi tão severa que o GD foi desconectado pela proteção de frequência após o ilhamento. Nesta última situação, mesmo que t_{REST} seja nulo (mudança instantânea dos modos de controle), ainda assim o GD seria desconectado. Para ilustrar este comportamento, a Figura 4 apresenta a tensão e frequência para o caso 3 e t_{REST} igual a 150 ms.

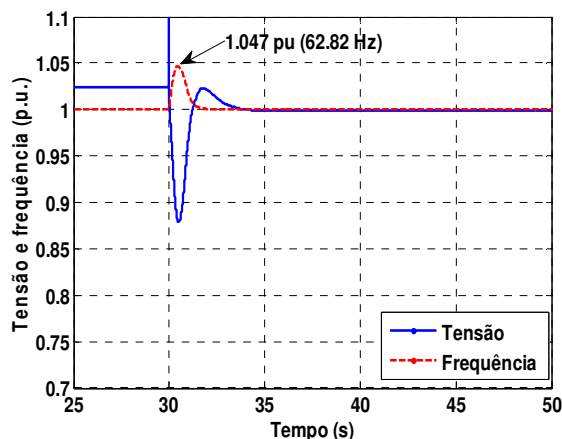


Figura 4. Comportamento da tensão e frequência do GD após ilhamento, considerando a alteração do modo de controle GD em $t = 30,15$ segundos (Caso 3: $P_G = 27$ MW; $P_C = 10$ MW).

Na Figura 4, observa-se que, embora a tensão não viole os ajustes da proteção, a frequência viola os limites da sobrefrequência (61,5 Hz).

A partir da análise realizada nesta seção, duas importantes conclusões foram obtidas a respeito do ilhamento intencional: (i) a redução da potência ativa (P_G) do GD pode aumentar os índices relacionados à qualidade de energia da rede (V_{AT} e V_{RP}) e também melhorar o desempenho dinâmico da ilha (desde que t_{REST} aumente); (ii) a redução do carregamento no sistema pode melhorar os índices de qualidade de energia de forma significativa, entretanto diminui t_{REST} . Tais resultados dependem dos ajustes do sistema de proteção. Tentando melhorar o desempenho da ilha com referência à qualidade de energia e minimizar os transitórios de frequência e de tensão durante a mudança do modo de controle do GD, foram investigadas algumas possíveis soluções, conforme descrito na próxima seção.

4 Possíveis soluções aplicadas ao ilhamento intencional

As potenciais soluções investigadas neste trabalho são: (i) GD atuando com controle de potência ativa e de tensão (controle PV) antes do ilhamento, e (ii) GD atuando com controle PV antes do ilhamento, equipado com o sistema de excitação IEEE ST1A (Calsan & Almeida, 2011), substituindo o sistema de excitação IEEE DC1.

4.1 Controle PV e excitatriz IEEE DC1

Para investigar a potencialidade desta solução, as mesmas situações descritas na seção 3.3 são analisadas, entretanto, o GD controla sua tensão terminal em 1 pu. Assim, as condições são descritas a seguir.

- Caso 1A: $P_G = 18$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 24$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE DC1.
- Caso 2A: $P_G = 27$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 20$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE DC1.
- Caso 3A: $P_G = 27$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 10$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE DC1.

Os resultados estão resumidos na Tabela 2, onde se observa que o desempenho global melhorou significativamente quando comparada com a Tabela 1. As magnitudes dos afundamentos de tensão diminuíram em relação aos resultados da Tabela 1, pois para o modo de controle PV, o GD passou a injetar potência reativa no sistema antes da ocorrência do ilhamento. Esta estratégia permite que a transição seja mais sua-

ve quando comparado aos casos anteriores. A Figura 5 compara o comportamento entre tensão e frequência do GD dos casos 2 e 2A. O aumento do t_{REST} é outro dado importante que melhorou com esta estratégia, exceto o caso 3A, em que o GD foi desconectado pela proteção de sobrefrequência. Para esta condição de operação, outro tipo de solução dever ser investigado, entretanto este assunto está fora do escopo deste artigo.

Tabela 2. Resultados da análise de sensibilidade considerando o controle PV antes do ilhamento.

Caso	V_{AT} (pu)	V_{RP} (pu)	t_{REST} (s)
Base com controle PV	0,840	0,951	> 2
1A	0,852	0,951	> 2
2A	0,852	0,960	0,250
3A	GD desconectado		

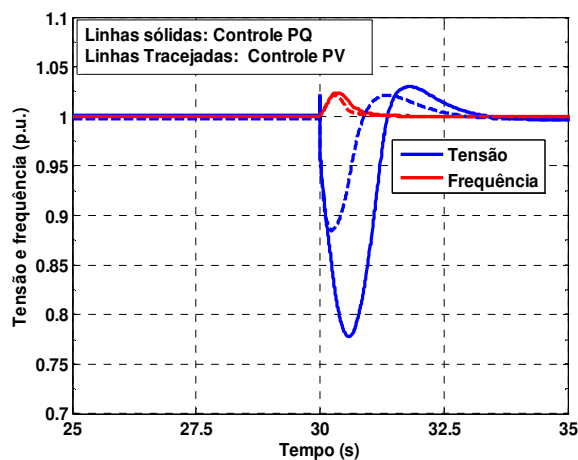


Figura 5. Comparação entre tensão e frequência do GD para os casos 2 e 2A.

A restrição referente à operação do GD sob o modo de controle PV é o fator de potência medido no ponto de acoplamento comum (PCC), o que pode criar penalidade ao proprietário do GD e aumento nas perdas do sistema, se for muito baixo. Para os casos analisados neste trabalho, o fator de potência no PCC estava próximo à unidade, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3. Fator de potência do GD (antes do ilhamento).

Caso	Fator de potência do GD
Base com controle PV	0,99
1A	0,99
2A	0,99

4.2 Controle PV e excitatriz IEEE ST1A

Com o propósito de melhorar o desempenho transitório da alteração dos modos de controle do GD, a excitatriz IEEE DC1 foi substituída pelo sistema IEEE ST1A, o qual tem uma resposta rápida em comparação ao modelo anterior (Calsan & Almeida, 2011). Os mesmos cenários de operação foram repetidos:

- Caso 1B: $P_G = 18$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 24$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE ST1A.

- Caso 2B: $P_G = 27$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 20$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE ST1A.
- Caso 3B: $P_G = 27$ MW e tensão terminal igual a 1 pu; $P_C = 10$ MW; Alteração do modo de controle do GD = 150 ms após ilhamento; Excitatriz do tipo IEEE ST1A.

Os resultados são apresentados na Tabela 4, onde se observa que V_{AT} aumentou quando comparados aos resultados da Tabela 2, indicando diminuição das magnitudes dos afundamentos de tensão. O índice t_{REST} melhorou consideravelmente para o caso 2B, em comparação ao caso de 2A (Tabela 2). Entretanto, esta estratégia não foi capaz de formar uma ilha sustentada para o caso 3B, devido às mesmas razões explicadas anteriormente. A Figura 6 compara o comportamento entre tensão e frequência do GD dos casos 2A e 2B.

Tabela 4. Resultados da análise de sensibilidade considerando o controle PV antes do ilhamento e excitatriz IEEE ST1A.

Caso	V_{AT} (pu)	V_{RP} (pu)	t_{REST} (s)
Base com controle PV e excitatriz IEEE ST1A	0,891	0,956	> 2
1B	0,896	0,956	> 2
2B	0,903	0,964	> 2
3B	GD desconectado		

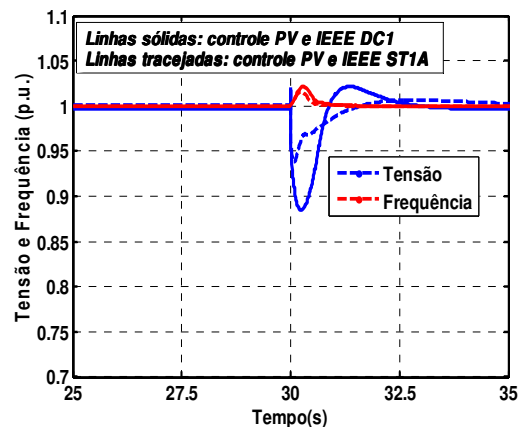


Figura 6. Comparação entre tensão e frequência do GD para os casos 2A e 2B.

5 Conclusão

Neste artigo, foram analisados os requisitos importantes para garantir uma operação ilhada de sucesso de um GD síncrono. O sucesso do ilhamento implica que o GD não seja desligado pelo sistema de proteção durante a transição do modo conectado a rede para o modo ilhado. Além disso, busca-se também que as cargas sejam atendidas dentro dos índices aceitáveis de qualidade de energia elétrica. O primeiro e mais importante requisito é a alteração dos modos de controle do GD de PQ para fV, o mais rápido possível.

Nos casos estudados neste trabalho, observou-se que as cargas podem experimentar afundamentos de ten-

são graves durante a alteração do modo de controle do GD de PQ para fV. A magnitude do afundamento de tensão depende da potência ativa injetada pelo GD no sistema, do carregamento do sistema e, sobretudo do tempo de alteração do controle do GD. Observou-se que o afundamento de tensão diminui sua magnitude conforme diminui-se o carregamento no sistema, entretanto, o tempo de alteração dos modos de controle pode reduzir consideravelmente. Para minimizar a severidade destes afundamentos de tensão, é proposto que o GD opere no modo de controle PV ao modo de controle PQ. Os resultados ratificaram as contribuições desta estratégia à melhoria da qualidade de energia durante a formação estável da ilha. Para excessos significativos de potência gerada do GD, a proteção de frequência desconectará o gerador, mesmo para valores bem pequenos de t_{REST} . Operar o GD sob o modo de controle PV mostrou-se uma solução potencial que garante a formação de ilha estável, com níveis aceitáveis de qualidade de energia, considerando ambos os modelos do sistema de excitação. Esta estratégia resultará em bons resultados se o GD estiver equipado com sistemas de excitação estática.

Finalmente, deve-se salientar que, para alcançar uma ilha sustentada no caso de grau elevado de desbalanço de potência, outras soluções possíveis precisam ser investigadas. Por exemplo, nos casos 3A e 3Ba desconexão do GD pode ser evitada empregando o modo de operação “*Load Following*” (Dalke et al., 2011). Além disso, em condições de grandes déficits de geração, o ilhamento pode resultar em uma ilha estável se esquemas de corte de carga forem empregados. Mesmo estando fora do escopo deste trabalho, ambas estratégias estão sendo investigadas, sendo que os resultados serão divulgados em trabalhos futuros.

Agradecimentos

Os autores agradecem pelo suporte financeiro disponibilizado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

Referências Bibliográficas

- Calsan, M., Almeida, M. C. (2011). Dynamic performance analysis of synchronous generators excitation systems in distributed generation power plants. Anais do IYCE – Proceedings of the 2011 3rd international youth conference energetics, Leiria – Portugal, 2011.
- Chowdhury, S. P., Chowdhury, S., Chui, F. T. e Crossley, P. A. (2008) Islanding protection of distribution systems with distributed generators – A comprehensive survey report. Anais do 2008 IEEE/PES General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, Pittsburgh – PA – USA, pp. 1-8.
- Dalke, G.; Baum, A.; Bailey, B.; Daley, J.M.; Duncan, B.; Fischer, J.; Hesla, E.; Hoerauf, R.; Hornbarger, B.; Lee, W.; Love, D.J.; McCullough, D.; Mozina, C.; Nichols, N.; Padden, L.; Patel, S.; Pierce, A.; Pillai, P.; Poletto, G.; Rifaat, R.; Sanders, M.K.; Shelton, J.M.; Stringer, T.N.; Weber, J.; Wu, A.; Young, R.; Powell, L. (2011). Risks from utility supply disruption. Industry applications magazine, IEEE, vol. 17, no. 1, pp. 47-56.
- Freitas, W.; Vieira, J.C.M.; Morelato, A.; da Silva, L.C.P.; da Costa, V.F.; Lemos, F.A.B.. Comparative Analysis Between Synchronous and Induction Machines for Distributed Generation Applications (2006). IEEE Transactions on Power Systems, v.ol 21, n.1, pp. 301-311.
- Hegazy, Y. G. e Chikhani, A. Y. (2003) Intentional islanding of distributed generation for reliability enhancement. Anais do CIGRE/IEEE PES International symposium on quality and security of electric power delivery systems, Montreal – Quebec – Canada, pp. 208-213.
- Hydro-Québec. (2013). SimPowerSystems User’s Guide, 2012. Disponível em: <http://www.mathworks.com>. Acesso em: 17 de Sept. 2013.
- IEEE (2003). 1547.2003: IEEE standard for interconnecting distributed resources with electric power systems. New York – NY.
- IEEE (2011). 1547.4.2011: IEEE Guide for design, operation, and integration of distributed resource island system with electric power systems. New York – NY.
- Jenkins, N., Allan, R., Crossley, P., Kirschen, D., e Strbac, G. Embedded Generation. The Institute of Electrical Engineers, London – UK.
- Kundur, P. (1994). Power systems stability and control. McGraw-Hill Inc, New York - NY.
- Mohamad, H., Mokhlis, H., Bakar, A. H. A., e Ping, H. W. (2011) A review on islanding operation and control for distribution network connected with small hydro power plant. Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, pp. 3952-3962, 2011.
- Trindade, F. C. L., Meira, P. C. M., Vieira, J. C. M. e Freitas, W. (2010). Control systems analysis of industrial plants with synchronous generators during islanded operation. Anais do Proceedings of the 2010 IEEE PES General Meeting, Minneapolis – MN-USA, 2010.
- Xu, W., Mauch, K. e Martel, S. (2004). An assesment of distributed generation islanding detection methods and issues for Canada. CANMET Energy Technology Centre Verrenes, National Resources Canada. Tech. Rep.