

Controle Inercial de Unidades Eólicas para a Regulação de Frequência em Microrredes

RESUMO

Sílvia Regina Kroetz
silviakroetz@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, UTFPR, Pato Branco,
Paraná, Brasil

Ricardo Vasques de Oliveira
vasques@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, UTFPR, Pato Branco,
Paraná, Brasil

OBJETIVO: As microrredes ilhadas ou isoladas geograficamente, com elevada inserção de geração eólica e solar, geralmente apresentam baixo momento de inércia equivalente associado aos geradores síncronos distribuídos. Devido a essa baixa inércia equivalente, as variações típicas de carga na microrrede geralmente resultam em grandes variações de frequência. Nesse caso, o grande desafio operacional é manter a frequência da microrrede dentro de limites permitidos, evitando assim a atuação do sistema de proteção e o consequente desligamento da microrrede. Nesse contexto, o presente trabalho avalia a contribuição de um controlador inercial adicionado a uma unidade eólica de geração para auxiliar o controle tradicional de frequência em uma microrrede ilhada com baixa inércia equivalente. Diferentes tipos de controladores são considerados na estratégia de controle avaliada. Os resultados obtidos mostraram que a geração eólica foi capaz de contribuir de forma efetiva e relevante para o controle de frequência da microrrede autônoma considerada no estudo realizado. O controlador derivativo se mostrou mais adequado para sistemas com baixa inércia, pois esse tipo de controle baseia-se na taxa de variação da frequência, que geralmente é elevada em sistemas de baixa inércia.

PALAVRAS-CHAVE: Controle Inercial. Microrredes. Geração Eólica. Controle de Frequência.

INTRODUÇÃO

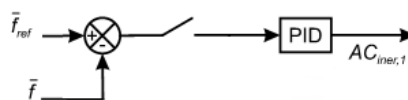
A difusão da geração distribuída e a crescente expansão do uso de energias renováveis, como a energia eólica, têm contribuído para a disseminação de microrredes. A operação de microrredes ilhadas ou isoladas impõe uma série de desafios relacionados ao controle e operação das unidades de geração. O controle de frequência é um dos maiores problemas da operação ilhada de microrredes. A típica baixa inércia das pequenas unidades de geração implica em elevada taxa de variação de frequência (ROCOF, do Inglês, *Rate of Change of Frequency*) e elevados desvios de frequência, nos casos de variações típicas e atípicas de carga (OLIVARES, 2014; MARGARIS et. al, 2012). Contudo, novas estratégias de controle têm sido propostas para permitir que a geração eólica forneça resposta inercial durante as variações de frequência do sistema, contribuindo assim para melhorar o controle de frequência do sistema. A contribuição de unidades eólicas na regulação de frequência é realizada pela implementação de malhas de controle suplementares, que têm papel de identificar excursões de frequência e interferir na potência fornecida ao sistema.

Nesse contexto, o presente trabalho aborda o controle inercial de unidades eólicas para a regulação de frequência em microrredes com baixa inércia. O estudo proposto avalia a resposta inercial de unidades eólicas por meio da aplicação de uma malha de controle suplementar. O controle suplementar utilizado possibilita que a geração eólica contribua com o controle tradicional de frequência realizado pela geração síncrona convencional. Diferentes tipos de controladores são considerados na estratégia de controle avaliada. Os resultados obtidos mostraram que a geração eólica foi capaz de contribuir de forma efetiva e relevante para o controle de frequência da microrrede autônoma considerada no estudo realizado.

ESTRATÉGIA OPERACIONAL E DE CONTROLE

O controle inercial proposto neste trabalho para auxiliar a regulação de frequência da microrrede consiste em utilizar a energia cinética proveniente da desaceleração da turbina para reduzir a magnitude dos desvios de frequência do sistema. O diagrama de blocos do controlador é apresentado na figura 1. O controlador adotado é adicionado à malha de controle de velocidade da turbina eólica. O erro de frequência da microrrede é utilizado como entrada para o controlador proporcional-integral-derivativo (PID). A ação de controle do controlador PID é subtraída da velocidade de referência da turbina eólica.

Figura 1 - Controlador suplementar de frequência adicionado na unidade eólica



Fonte: Autoria própria (2017).

O objetivo do controlador é extrair energia cinética armazenada no rotor da unidade eólica e fornecê-la ao sistema, por meio da desaceleração da turbina eólica, para contribuir com a regulação de frequência na ocorrência de degraus de carga. O sinal de controle $AC_{iner,1}$ é o sinal de saída do controlador

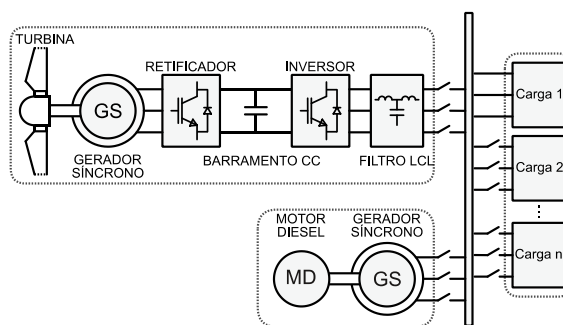
suplementar adicionado na unidade eólica de geração para a regulação de frequência baseada no controle inercial.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A verificação da eficácia e desempenho da malha de controle proposta foi realizada por meio de simulações computacionais no domínio do tempo envolvendo o modelo não linear da microrrede adotada. O software Matlab® foi utilizado para realizar as simulações, onde o algoritmo de resolução de equações diferenciais ODE23s é a base para a execução das simulações, escritas na interface de programação do software.

A microrrede utilizada nos testes é composta por uma unidade eólica com potência nominal de 1,5 MVA, um gerador diesel de 500 kVA e cargas elétricas. A topologia da microrrede eólica-diesel ilhada adotada no estudo proposto é apresentada na figura 3. A microrrede é representada por um modelo não linear em espaço de estados de ordem 38.

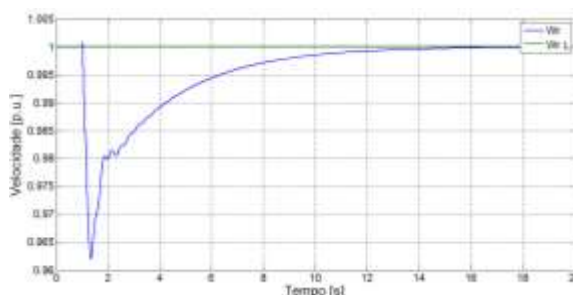
Figura 2 - Diagrama esquemático da microrrede adotada



Fonte: Autoria própria (2017).

Na sequência são apresentados os resultados correspondentes à frequência da microrrede considerando uma variação de carga. Afim de analisar as variações de frequência da microrrede insere-se no sistema uma carga de 100 kW no instante de tempo $t = 1$ s. A figura 3 apresenta a resposta no domínio do tempo da frequência da microrrede para o cenário em que não considera-se a atuação do controlador suplementar de frequência. Na figura 3 percebe-se que a frequência do sistema teve um afundamento de aproximadamente 0,04 p.u., atingindo o valor mínimo de 0,962 p.u.. Nesse caso, o controle de frequência do sistema foi realizado apenas pelo gerador síncrono do sistema.

Figura 3 - Frequência da microrrede sem o controle inercial proposto

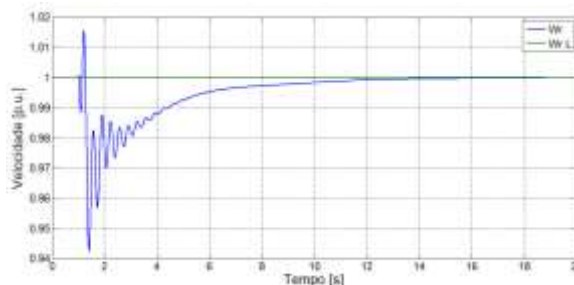


Fonte: Autoria própria (2017).

Na sequência, considerou-se a inclusão do controlador suplementar de frequência na unidade eólica da microrrede, de forma a avaliar a contribuição da unidade eólica para a regulação de frequência da microrrede. Os controladores utilizados são do tipo P, I e D.

Na figura 4, apresenta-se a frequência da microrrede considerando a atuação do controlador suplementar de frequência do tipo proporcional. Na figura 4 percebe-se que a frequência do sistema atingiu um valor mínimo igual a 0,94 p.u., ou seja, a utilização do controlador suplementar de frequência do tipo proporcional degradou a resposta do sistema. O controlador proporcional degradou a resposta do sistema devido à baixa inércia do sistema e ao atraso de tempo na atuação dos conversores da unidade eólica. A baixa inércia resultou em uma rápida resposta da variação da frequência, o que impactou na atuação do controlador proporcional. Outros tipos de controladores são avaliados na sequência, com o objetivo de verificar o desempenho da malha de controle suplementar de frequência.

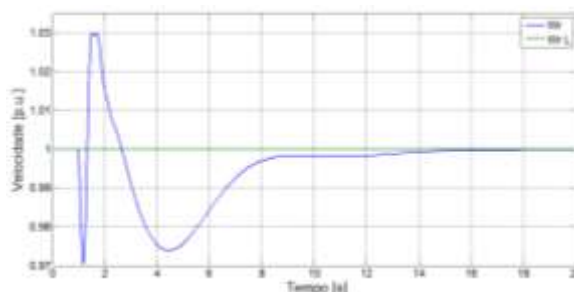
Figura 4 - Frequência da microrrede com controlador suplementar do tipo proporcional



Fonte: Autoria própria (2017).

Na figura 5, apresenta-se a frequência da microrrede considerando a atuação do controlador suplementar de frequência do tipo integral. O controlador suplementar do tipo integral contribuiu para reduzir o afundamento de frequência do sistema. Nesse caso, a mínima frequência do sistema é igual a 0,97 p.u.

Figura 5 - Frequência da microrrede com controlador suplementar do tipo integral

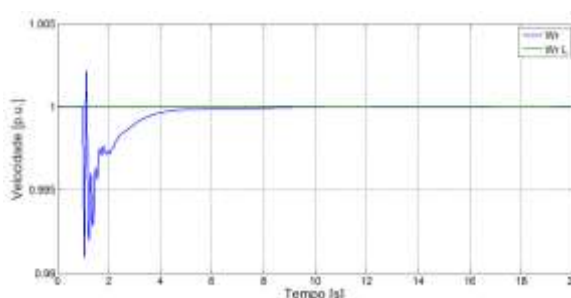


Fonte: Autoria própria (2017).

Na figura 6, apresenta-se a frequência da microrrede considerando a atuação do controlador suplementar de frequência do tipo derivativo. O controlador suplementar do tipo derivativo contribuiu de forma significativa para a redução do afundamento de frequência, reduzindo a frequência mínima de 0,962 p.u. para 0,99 p.u.. O controlador derivativo apresentou um ótimo desempenho pelo

fato de sua ação de controle depender da taxa de variação da frequência (ROCOF). Devido à baixa inércia do sistema, o ROCOF é geralmente elevado, o que contribui para que o controle do tipo derivativo tenha uma ação de controle mais eficaz, quando comparado com os outros tipos de controladores.

Figura 6 - Frequência da microrrede com controlador suplementar do tipo derivativo



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados mostraram que a geração eólica é capaz de contribuir de forma significativa com a regulação de frequência em sistemas de potência de baixa inércia, como é o caso das microrredes. A malha de controle suplementar de frequência adicionada na unidade eólica contribui de forma significativa para reduzir o afundamento de frequência causado por variações típicas de carga. O controlador do tipo proporcional não apresentou um bom desempenho devido à rápida resposta da frequência da microrrede, associada ao atraso de tempo inerente à resposta da unidade eólica. O controlador derivativo se mostrou mais adequado para sistemas com baixa inércia, pois esse tipo de controle baseia-se na taxa de variação da frequência, que geralmente é elevada em sistemas de baixa inércia.

Inertial Control of Wind Generation Units for Frequency Regulation in Microgrids

ABSTRACT

OBJECTIVE: The islanded microgrids, with high insertion of wind and solar generation, generally present low inertia moment associated with the distributed synchronous generators. Due to this low equivalent inertia, typical load variations in the microgrid generally result in large frequency variations. In this case, the great operational challenge is to keep the frequency of the microgrid within acceptable limits, thus avoiding the action of the protection system and the consequent shutdown of the microgrid. In this context, the present work evaluates the contribution of an inertial controller added to a wind generation unit to assist the traditional frequency control in islanded microgrids with low equivalent inertia. Different types of controllers are considered in the evaluated control strategy. The results showed that the wind generation was able to contribute in an effective and relevant way to the frequency control of the autonomous microgrid considered in the study. The derivative controller proved to be more suitable for systems with low inertia, since this type of control is based on the rate of change of frequency, which is generally high in low inertia systems.

KEYWORDS: Inertial Control. Microgrids. Wind Energy Generation. Frequency Control.

REFERÊNCIAS

OLIVARES, D. et al. Trends in microgrid control. **IEEE Transactions on Smart Grid**, v. 5, n. 4, p. 1905-1919, jul. 2014. ISSN 1949-3053. Disponível em: <
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6818494&isnumber=6839066>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

MARGARIS, I.; PAPATHANASSIOU, S.; HATZIARGYRIOU, N.; HANSEN, A.; SORENSEN, P. Frequency control in autonomous power systems with high wind power penetration. **IEEE Transactions on Sustainable Energy**, v. 3, n. 2, p. 189-199, abr. 2012. ISSN 1949-3029. Disponível em: <
<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6170988&isnumber=6170975>>. Acesso em: 19 ago. 2017.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

KROETZ, S. R.; OLIVEIRA, R. V. D. Controle Inercial de Unidades Eólicas para a Regulação de Frequência em Microrredes. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Sílvia Regina Kroetz

Via do conhecimento, km 1, Pato Branco, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

