

Gerenciamento de Potência de um Inversor Conectado à Rede com Armazenamento de Energia

Power Management of a Power Storage Grid Attached Inverter

RESUMO

Valquíria Giongo Ferrari
valquiriaqferrari@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Rafael Cardoso
rcardoso@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Com o intuito de diversificar a matriz energética e distribuir a geração próxima das cargas, há incentivos fiscais na geração local de energia através de fontes renováveis. Dentre as fontes de energia utilizadas, a mais empregada é solar fotovoltaica baseada na conversão de radiação solar. A geração de energia através dos raios solares varia ao longo do dia, além de ser dependente das condições climáticas. A fim de aumentar a confiabilidade de sistemas fotovoltaicos pode-se empregar um banco de baterias, o qual armazena a energia gerada que não está sendo consumida para uso posterior. Os sistemas formados por geração fotovoltaica com armazenamento em baterias, normalmente, são constituídos por banco de baterias, conversor bidirecional, barramento CC e um inversor. O banco de baterias é o responsável pela armazenagem de energia. O conversor bidirecional realiza a carga e descarga das baterias. O barramento CC faz a conexão entre os módulos fotovoltaicos e o conversor bidirecional. Já o inversor converte a energia gerada, de corrente contínua para corrente alternada para adequar-se à rede elétrica. Para um melhor aproveitamento, o inversor realiza o gerenciamento de potência, de modo a controlar a quantidade de potência ativa e reativa a ser injetada na rede de acordo com a necessidade do cliente. O objetivo desse trabalho é realizar o gerenciamento de potência em um inversor conectado à rede de distribuição. Para isso, desenvolveram-se as malhas de controle de corrente e de potência necessárias para a operação deste inversor.

PALAVRAS-CHAVE: Geração distribuída. Inversor. Armazenamento de energia.

Recebido: 19 ago. 2019.

Aprovado: 01 out. 2019.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

In order to diversify the energy matrix and distribute the next generation of cargo, there are tax incentives for local energy generation through renewable sources. Among the energy sources used, the most used is the solar photovoltaic used in the conversion of solar damage. Power generation through the sun's rays varies throughout the day and is dependent on weather conditions. One purpose of enhancing photovoltaic systems may be to use a battery bank or qualify the generated energy that is not being consumed for later use. Systems formed by photovoltaic generation with storage in batteries usually consist of battery bank, bidirectional converter, dc bus and an inverter. The battery bank is responsible for energy storage. The bidirectional converter performs a charge and discharge of batteries. The dc bus connects the pv modules to the bidirectional converter. The inverter converts a generated energy from direct current to alternating current to suit the power grid. For optimum utilization, inverter or power management, you can control the amount of active power and reactivate a resource injected into the grid according to

customer needs. The objective of this work is to perform power management in an inverter connected to the distribution network. For this, develop as having current and power control for operation of this inverter.

KEYWORDS: Distributed Generation. Inverter. Energy Storage.

INTRODUÇÃO

No Brasil, grande parte da energia gerada se dá através das grandes centrais hidrelétricas de modo centralizado, as quais constantemente encontram-se instaladas distantes das unidades consumidoras. Para diversificar a matriz energética e distribuir a geração próxima das cargas, há incentivos fiscais para a geração local de energia, através de fontes renováveis (TRIGOSO, 2010).

Com a resolução Normativa 482 da ANEEL de 2012, definiu-se que os consumidores podem gerar sua própria energia a partir de fontes renováveis e injetar o excedente na rede. Essa resolução disseminou ainda mais a produção de energia provinda do sol e do vento. Segundo a Aneel, em 2018, o número de conexões da geração distribuída chegou a 20 mil instalações e a fonte solar fotovoltaica baseada na conversão de radiação solar em energia elétrica limpa e sustentável é a mais empregada neste segmento (ANEEL, 2012), (ANEEL, 2018).

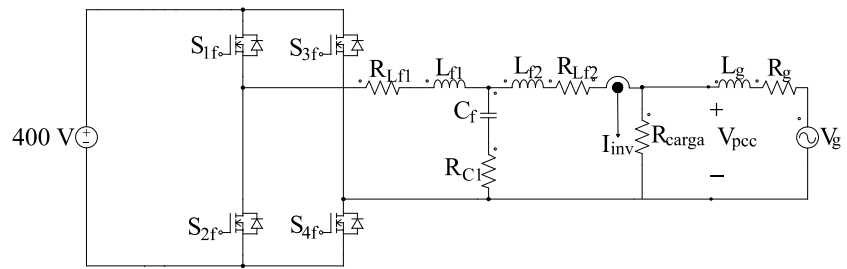
A geração de energia através de um sistema fotovoltaico varia ao longo do dia em função da incidência da radiação solar e de condições climáticas de modo a não apresentar uma geração constante de energia. A fim de aumentar a confiabilidade do sistema fotovoltaico pode-se empregar um conjunto de baterias o qual armazena a energia gerada que não está sendo consumida para uso posterior (MIRANDA, 2011).

Os sistemas formados por geração fotovoltaica em conjunto com o armazenamento de energia, normalmente, são constituídos por um banco de baterias, um conversor bidirecional, barramento CC e um inversor. O banco de baterias é o responsável pela armazenagem de energia. O conversor bidirecional realiza a carga e descarga das baterias. O barramento CC faz a conexão entre os módulos fotovoltaicos e o conversor bidirecional. Já o inversor converte a energia gerada em corrente contínua para corrente alternada para adequar-se à rede elétrica.

Para um melhor aproveitamento destes sistemas, o inversor realiza o gerenciamento de potência, de modo a controlar a quantidade de potência ativa e reativa a ser injetada na rede de acordo com a necessidade do cliente.

O objetivo desse trabalho é realizar o gerenciamento de potência em um inversor conectado à rede de distribuição. Para isso, desenvolveu-se um inversor monofásico com filtro LCL conectado à rede elétrica, juntamente com as malhas de controle necessárias para a operação deste inversor. Para maiores detalhes acerca do projeto do inversor monofásico consultar (FERRARI, BERNARDI, 2018). A Figura 1 ilustra a topologia do inversor monofásico empregado.

Figura 1. Inversor monofásico com filtro LCL conectado a rede elétrica.



Fonte: Autoria própria.

CONTROLE DE CORRENTE

Com os parâmetros do inversor definidos desenvolve-se o sistema de controle de corrente do inversor, com a finalidade do controlador seguir uma onda de referência senoidal com frequência ω_0 . Neste trabalho, emprega-se o controlador ressonante (SCHILDT, 2014).

No controlador ressonante, para garantir o seguimento da referência é adicionado na malha de controle uma função de transferência com ganho infinito, em malha-aberta, na frequência de interesse, sendo esta a frequência da rede de 60 Hz. Desse modo $\omega_0 = 377 \text{ rad/s}$ [15].

A função de transferência do controlador é dada pela Eq. (3). Nota-se nesta estrutura, a existência de polos complexos e conjugados sobre o eixo imaginário na frequência ω_0 (SCHILDT, 2014).

$$C_{res}(s) = k_p + \frac{2 \cdot k_r \cdot s}{s^2 + \omega_0^2} \quad (1)$$

Inicialmente, define-se o ganho proporcional k_p , de modo que o sistema apresente boa resposta dinâmica. Para determinar o ganho k_r , cinco simulações foram realizadas e, optou-se por aquele que garantiu o menor erro de amplitude e fase em relação ao sinal de referência. Assim tem-se $k_p = 25$ e $k_r = 7000$. A Eq. 2 ilustra o controlador com os ganhos já substituídos. Em malha fechada os polos do sistema compensado são: $-5.422,28$ e $-309,88 \pm j249,67$.

$$C_{res}(s) = 25 + \frac{14000 \cdot s}{s^2 + 142122} \quad (2)$$

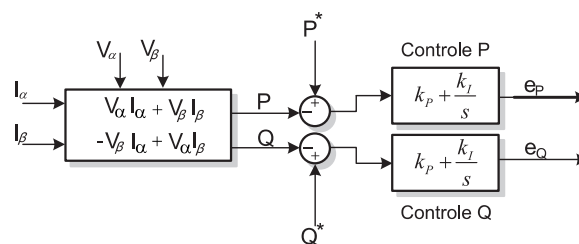
GERENCIAMENTO DE POTÊNCIA

Com o sistema de controle de corrente do inversor operando de maneira correta, desenvolveu-se o controle de potência ativa e reativa a ser injetado na rede pelo inversor. Para o controle de potência são utilizadas as tensões medidas no ponto de conexão com a rede nos eixos alfa (V_α) e beta (V_β) fornecidas pelo algoritmo responsável pela sincronização do inversor com a rede elétrica. O

algoritmo de sincronização empregado foi o MSOGI-PLL proposto por (TEODORESCU, 2011).

Ao considerar o gerenciamento de potência em malha fechada, é necessário o uso de controladores para que a potência de saída do inversor siga a potência de referência. Neste trabalho, utiliza-se controladores PI para o controle das potências ativa e reativa. A estrutura básica para o controle de potência do sistema em malha fechada é apresentada na Figura 2. Nota-se que através das correntes de saída do inversor e da tensão no ponto de conexão com a rede representada nos eixos α e β , obtém-se o cálculo das potências ativa e reativa na saída do inversor.

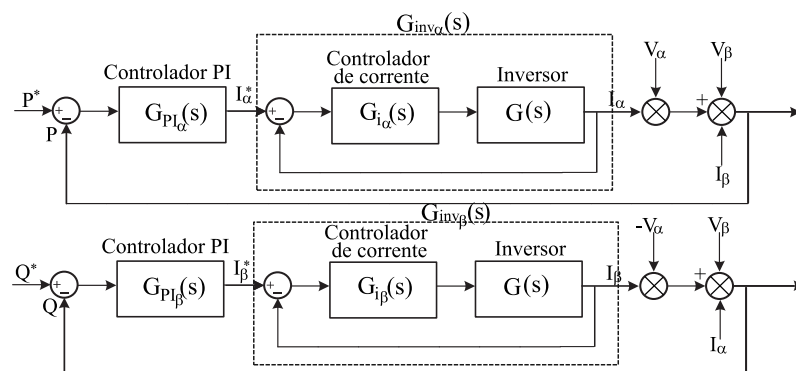
Figura 2. Diagrama de blocos do gerenciamento de potência em malha fechada.



Fonte: (TEODORESCU, 2011) adaptado.

A Figura 3 ilustra o diagrama de blocos do sistema em malha fechada, onde $G_{i\alpha}(s)$ e $G_{i\beta}(s)$ são as funções de transferência do controlador de corrente aplicado ao inversor. Para o projeto do controlador PI é preciso uma função de transferência que represente a dinâmica das malhas de controle aplicadas no inversor. A fim de facilitar, os cálculos que envolvem tensões e correntes nos eixos alfa e beta foram representados por um loop de atraso, sendo que este tem comportamento um sistema de primeira ordem. Esta consideração é realizada devido ao fato da dinâmica destas operações serem mais rápidas quando comparadas a dinâmica do controle de potência.

Figura 3. Diagrama de blocos completo considerado para o desenvolvimento do contr do gerenciador de potência em malha fechada.



Fonte: Autoria própria

Os ganhos do controlador PI foram escolhidos de modo que o sistema apresentasse boa resposta dinâmica e permanecesse estável. Assim, $k_{p\alpha} = 0$ e $k_{i\alpha} = 150,8$, $k_{p\beta} = 0$ e $k_{i\beta} = 132$ nos eixos α e β respectivamente.

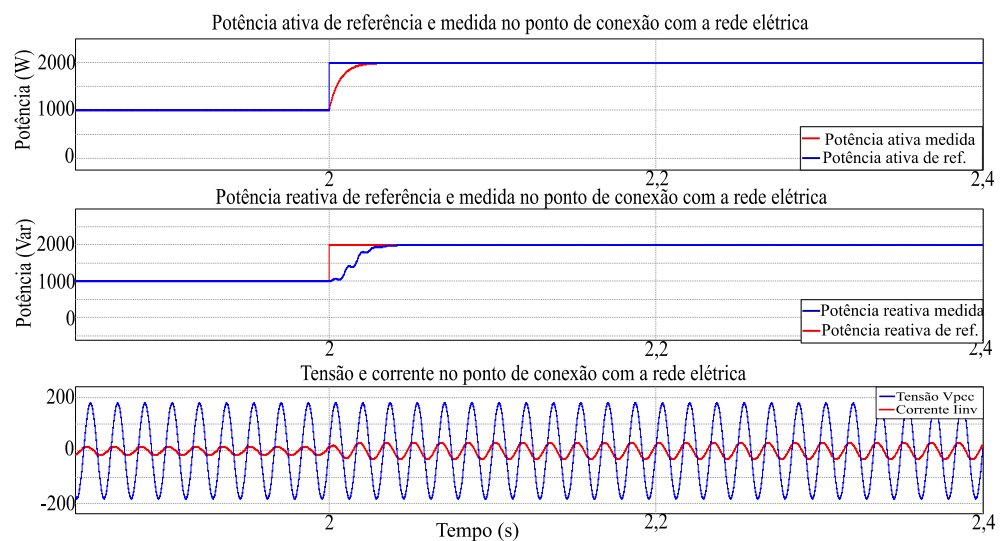
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para verificar o funcionamento do gerenciamento de potência em malha fechada para o inversor monofásico com filtro LCL conectado à rede elétrica, simulações computacionais foram realizadas com o auxílio do software PSIM.

Considera-se um cenário no qual é injetado potência ativa e reativa pelo inversor na rede elétrica, cujos resultados são apresentados na Figura 4 com o sistema operando em malha fechada. Inicialmente define-se uma potência ativa de referência de 1.000 W e uma potência reativa de referência de 1.000 Var . Em 2 segundos é dado um degrau de 1.000 nas duas grandezas de potência, totalizando uma potência ativa de 2.000 W e potência reativa de 2.000 Var . Nota-se que as potências ativa e reativa medidas seguem os valores de referências definidos para o controlador. Ao examinar a tensão e corrente no ponto de conexão com a rede, verifica-se a corrente em atraso em relação a tensão: isso ocorre devido a existência de reativo e, além disso, conforme aumenta a potência injetada, aumenta a corrente na saída do inversor.

Em regime permanente com $P = 2.000\text{ W}$ e $Q = 2.000\text{ Var}$ em malha fechada obtém-se: corrente de pico na saída do inversor $I_p = 45,73\text{ A}$ e tensão de pico no ponto de conexão com a rede $V_{pcc} = 179,79\text{ V}$.

Figura 4. Malha fechada: Potência ativa de referência e medida no ponto de conexão com a rede elétrica, potência reativa de referência e medida no ponto de conexão com a rede elétrica, tensão e corrente no ponto de conexão com a rede elétrica.



Fonte: Autoria própria.

CONCLUSÕES

Através de simulações feitas no software Psim analisou-se o gerenciamento de potência realizado por um inversor monofásico com filtro LCL conectado à rede de distribuição. Além disso, validou-se o uso de controladores proporcional integral (PI) e do controlador ressonante empregados no sistema.

Ao utilizar um controlador ressonante para o controle de corrente do inversor, além de garantir erro nulo para referências senoidais, evitou-se o uso de

transformações de coordenadas adicionais (dq). Para o controle de potência ativa e reativa utilizou-se o controlador proporcional integral, devido à natureza da referência ser constante.

Com a análise dos resultados obtidos, verificou-se o seguimento das referências de potências ativa e reativa, de modo a ilustrar o funcionamento adequado os controladores PI.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se anexar o conversor bidirecional com banco de baterias, além de um projeto de controle de tensão para o barramento CC.

REFERÊNCIAS

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Geração Distribuída ultrapassa 20 mil conexões. 2018. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao/-/asset_publisher/XGPXSqdMFHrE/content/geracao-distribuida-ultrapassa-20-mil-conexoes/656877>.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa Nº 482, de 17 de abril de 2012. Disponível em:
<<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>.

FERRARI, G. V; BERNARDI S. D. Sistema de Conversão de Energia com Armazenamento para a Geração Distribuída. 122f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2018.

MIRANDA, Antonio Manual Vasconcelos. Tecnologias de Armazenamento de Energia – Identificação do Potencial e Aplicações. 125f. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Engenharia de Porto, 2011.

SCHILD, Alessandro. Síntese de Controladores Ressonantes baseado em dados aplicados a Fontes Intermitentes de Energia. 80f. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

TEODORESCU, Remus; LISERRE, Marco; RODRIGUEZ, Pedro. Grid converters for photovoltaic and Wind power systems. John Wiley, 2011.

TRIGOSO, Federico Morante; QUAGLIA, Renato Brito; MORAES, Albemerc Moura; OLIVEIRA, Sérgio Henrique Ferreira. Panorama da Geração Distribuída no Brasil Baseada no uso da Tecnologia Solar Fotovoltaica. Revista Brasileira de Energia Solar Volume 1 Número 2, 2010. 127-128 p.