

Sistema de geração distribuída baseado em sistemas fotovoltaico integrado a um condicionador de qualidade de energia monofásico

Distributed generation system based on photovoltaic systems integrated with a single-phase power quality conditioner

RESUMO

Juliana Cunha Neves
juliana_cunhaneves@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Sérgio Augusto Oliveira da Silva
augus@utfrpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Rafaela Dizaró Silveira
rafaeladsilveira@hotmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um sistema de geração distribuída baseado em um sistema fotovoltaico (PV) integrado a um condicionador unificado de qualidade de energia (UPQC) monofásico, usando um algoritmo de geração da referência de corrente de compensação baseado no sistema de eixos de referência síncrona (SRF), o que resulta na atuação tanto na mitigação das correntes harmônicas da carga e compensação da potência reativa, quanto na compensação de distúrbios de tensão da rede elétrica. O UPQC é composto por dois conversores de potência PWM, os quais são controlados para operar como filtros ativos série e paralelo de potência. Na estratégia dual de compensação aplicada, o conversor paralelo opera como fonte de tensão senoidal, enquanto que o conversor série opera como uma fonte de corrente senoidal. Simulações computacionais são realizadas a fim de validar o desempenho do sistema.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas fotovoltaicos. Condicionamento ativo de potência. Qualidade de Energia. Algoritmo SRF. Supressão de harmônico.

ABSTRACT

This paper presents the development of a distributed generation system based on photovoltaic system (PV) integrated to a single-phase unified power quality conditioner (UPQC), using an algorithm based on synchronous reference frame (SRF) for generation of the compensation current reference, which results in both mitigation of load harmonic currents and reactive power compensation, as well as grid voltage disturbance compensation. The UPQC consists of two PWM power converters, which are controlled to operate as series and parallel active power filters. In the applied dual compensation strategy, the parallel converter operates as a sinusoidal voltage source, while the serial converter operates as a sinusoidal current source. Computational simulations are performed in order to validate system performance.

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.



KEYWORDS: Photovoltaic systems. Active power conditioning. Power Quality. SRF-based algorithm. Harmonic suppression.

INTRODUÇÃO

O resultado do rápido crescimento populacional e a busca por qualidade de vida, tem resultado no aumento da demanda energética em contrapartida com a disponibilidade de energia gerada a partir de fontes de energia tradicionais. Nesse sentido, é importante que estudos e discussões sejam realizados na busca por alternativas viáveis para a geração de energia elétrica. Sob essa visão, atualmente a energia solar fotovoltaica tem grande destaque em relação as fontes de energia renováveis, por ser considerada uma fonte de energia renovável, e em operação o impacto ambiental é quase inexistente (REN21, 2018)

Apesar das diversas vantagens, o dispositivo que realiza a conversão da energia solar para energia elétrica, denominado módulo fotovoltaico (Fotovoltaic - FV), depende de variáveis climáticas que variam constantemente durante o dia, como a irradiação solar e a temperatura, o que pode resultar em baixa eficiência energética (BRITO et al., 2012).

Os sistemas PV podem operar injetando energia ativa a rede elétrica e visando um melhor aproveitamento da estrutura, tais sistemas podem atuar de forma simultânea na melhoria da Qualidade de Energia Elétrica (QEE) por meio da função de Filtro Ativo de Potência Paralelo (FAPP). Isto é, injetar na rede elétrica a energia ativa gerada pelo arranjo PV e atuar como condicionador ativo de potência, ou seja, suprimindo os harmônicos de corrente de cargas não-lineares presentes no Sistema Elétricos de Potência (SEP), e ainda compensar a potência reativa da carga (SILVA, 2001).

O FAPP atua apenas na compensação das correntes harmônicas e reativos que circulam pelo Ponto de Acoplamento Comum (PAC). No entanto, outros problemas podem degradar a QEE, como os possíveis distúrbios de tensão da rede elétrica, esses por sua vez podem afetar equipamentos presentes no SEP. Uma possível solução para estes problemas, é a implementação de Filtros Ativos de Potência Série (FAPS), os quais atuam na mitigação de harmônicos de tensão e na solução de alguns fenômenos de qualidade de energia como desequilíbrios e afundamentos de tensão (AREDES; WATANABE, 1995).

Um sistema composto por um FAPP e um FAPS é chamado de Condicionador Unificado de Energia (UPQC – *Unified Power Quality Conditioner*). O UPQC une as funções do FAPP e FAPS, ou seja, atua na mitigação de harmônicos de corrente e tensão e compensa desequilíbrios e distúrbios de tensão (MODESTO et al., 2016).

Dessa maneira, este trabalho propõe uma análise na topologia de sistemas PV de único estágio que integram a UPQC monofásica operando com estratégia dual, bem como a análise dinâmica do sistema em relação a compensação harmônica.

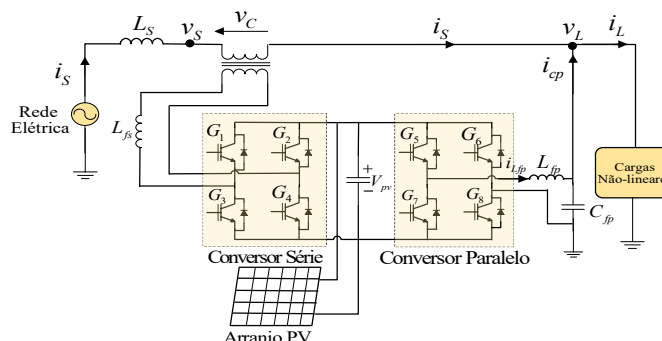
TOPOLOGIA PV-UPQC

CONFIGURAÇÃO DA TOPOLOGIA

A estrutura apresentada na Figura 1 consiste em um sistema PV monofásico de único estágio conectado na UPQC no modo dual. Como pode ser visto, são

empregados conversores do tipo *full-bridge* conectados um capacitor no barramento de tensão CC comum.

Figura 1 – Diagrama em blocos do sistema PV-UPQC.

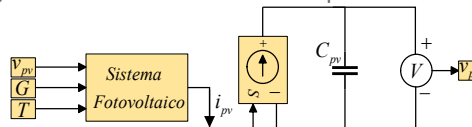


Fonte: Autoria Própria (2019).

MODELO PV

Neste trabalho é adotado o equacionamento por meio de um circuito equivalente apresentado por (CASARO; MARTINS, 2008) que descreve o funcionamento da célula fotovoltaica conforme a Figura 2.

Figura 2 – Diagrama em blocos do modelo equivalente do sistema PV.



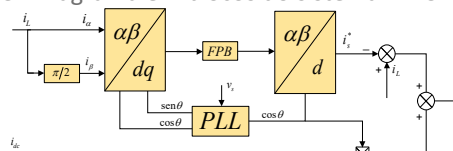
Fonte: Autoria Própria (2019).

Onde, v_{pv} e i_{pv} representam a tensão e a corrente do sistema fotovoltaico. As variáveis G e T indicam as condições climáticas, sendo a temperatura em Kelvin e a irradiação solar em W/m^2 , respectivamente.

GERAÇÃO DAS REFERÊNCIAS DE CORRENTE

Neste trabalho é adotado o algoritmo baseado no sistema de eixos de referência síncrona (SRF - *Synchronous Reference Frame*) para realizar o cálculo das parcelas a serem compensadas pelo FAPS, apresentado na Figura 3. Neste, já está sendo considerado a parcela i_{dc} é gerada pelo controle do barramento CC.

Figura 3 - Diagrama em blocos do sistema PV-UPQC.

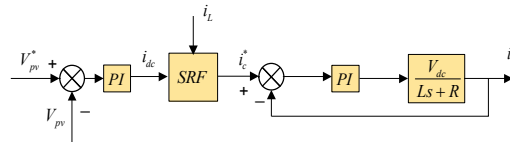


Fonte: Autoria Própria (2019).

O θ é fornecido pelo sistema de sincronismo PLL. O sistema PLL empregado neste trabalho é o AF-SRF-PLL apresentado em (SILVA; BACON, 2015).

Já a Figura 4 mostra como o diagrama em blocos do controle do barramento CC. Esta também mostra a representação física do conversor de série usando um controlador PI, que é responsável pelo controle da corrente no indutor em série filtro.

Figura 4 - Diagrama em blocos do conversor série e controle do barramento CC.

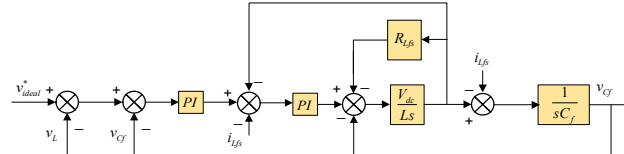


Fonte: Autoria Própria (2019).

GERAÇÃO DAS REFERÊNCIAS DE TENSÃO

A Figura 5 mostra o diagrama de blocos do conversor paralelo usando controlador proporcional integrativo (PI) (loop interno), que é responsável pelo controle corrente e um controlador proporcional integrativo (PI) (loop externo), responsável por controlar a tensão no capacitor do filtro paralelo.

Figura 5 - Diagrama em blocos do conversor paralelo.



Fonte: Autoria Própria (2019).

RESULTADOS

O sistema PV foi implementado via simulações computacionais no Software Matlab/Simulink. Os parâmetros de simulação estão dispostos na Tabela 1. Foram considerados 8 módulos fotovoltaicos da Sunmodule SW245 e implementado utilizando a MATLAB *function*. O algoritmo utilizado para o rastreamento da máxima potência do sistema é o Perturba e Observa – P&O com um passo de incremento igual a 1V.

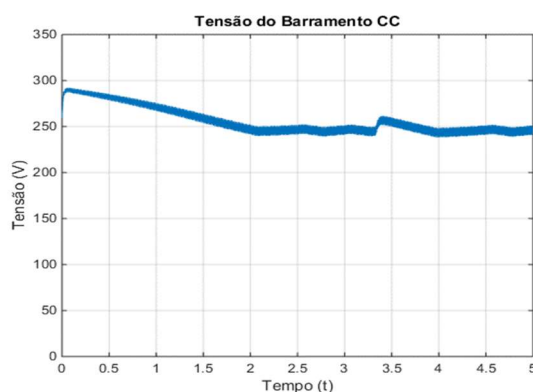
Tabela 1 – Dados

Parâmetros	Valores
Tensão eficaz na rede elétrica	$V_s=127\text{ V}$
Frequência nominal da rede elétrica	$f_s=60\text{ Hz}$
Indutância de acoplamento	$L_f=2,4\text{ mH}$
Indutância de dispersão do transformador	$L_t=115\mu\text{H}$
Resistência de dispersão do transformador	$R_t=0,08\Omega$
Capacitância do barramento CC	$C_{cc}=2115\mu\text{F}$
Frequência de chaveamento dos conversores	$f_{sw}=20\text{ kHz}$
Indutância do filtro série	$L_{fs}=1,5\text{ mH}$
Resistência do filtro série	$R_{fs}=0,21\Omega$
Indutância do filtro paralelo	$L_{fp}=1,73\text{ mH}$

Parâmetros	Valores
Resistência do filtro paralelo	$R_{fp} = 0,21\Omega$
Capacitância do filtro paralelo	$C_{fp} = 60\mu F$
Resistência da Carga	$R_{carga} = 25\Omega$
Indutância da Carga	$L_{carga} = 200mH$
Máxima Potência	$P_{m\acute{a}x} = 245W$
Tensão Máxima	$V_{mpp} = 30.8V$
Corrente Máxima	$I_{mpp} = 7,96A$
Corrente de curto circuito	$I_{sc} = 8,25A$
Tensão de circuito aberto	$V_{oc} = 37.7V$

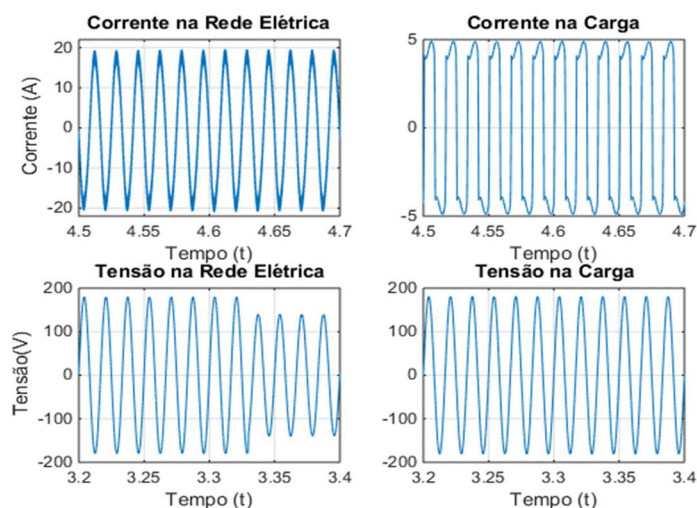
A Figura 6 apresenta a tensão no barramento CC, a qual é controlada em um valor de 246,4 V. Já a Figura 7 mostra a corrente na rede elétrica (TDH%=2,97) a corrente da carga (TDH%=37,23) e a compensação do afundamento de tensão na rede elétrica no tempo 3,33, percebe-se que a tensão na carga permanece inalterada.

Figura 6 – Tensão no barramento CC.



Fonte: Autoria Própria via Simulink (2019).

Figura 7 – Corrente e tensão na carga e na rede elétrica.



Fonte: Autoria Própria via Simulink (2019).

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou o estudo e o funcionamento de uma topologia de geração distribuída monofásica, integrando um sistema fotovoltaico e um condicionador unificado de qualidade de energia, originando o sistema PV-UPQC. Foram apresentadas estratégias para a obtenção da corrente e tensão de referência considerando o sistema operando no modo de compensação dual. Por meio das simulações computacionais realizadas pelo software Matlab/Simulink foi possível obter, com satisfatório desempenho estático e dinâmico, um sistema capaz de mitigar harmônicos de corrente, compensar potência reativa da carga bem como afundamentos/elevações de tensão da rede elétrica, simultaneamente à injeção de energia ativa produzida pelo arranjo fotovoltaico.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CNPq no desenvolvimento deste trabalho, através da concessão de bolsa de pesquisa.

REFERÊNCIAS

AREDES, M.; WATANABE, E. H. New control algorithms for series and shunt three-phase four-wire active power filters. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 10, n. 3, 1649-1656. ISSN 0885-8977.

BRITO, M. A. G. et al. Contribuição ao estudo dos principais algoritmos de extração da máxima potência dos painéis fotovoltaicos. **Eletrônica de Potência**, v. 17, n. 3, p. 592-600, jun. 2012.

CASARO, M., M.; MARTINS, D. C. Modelo de arranjo fotovoltaico destinado a análises em eletrônica de potência via simulação. **Revista Eletrônica de Potência**, v. 13, n. 3, p. 141-146, 2008.

MODESTO et al. A Versatile Unified Power Quality Conditioner Applied to Three-Phase Four-Wire Distribution Systems Using a Dual Control Strategy. **IEEE Transactions on Power Electronics**, v. 31, n. 8, p. 5503-5514, 2016

SILVA, S. A. O. **Sistema de energia ininterrupta line interactive trifásicos com compensação ativa de potência série e paralela. 2001. Tese** (Doutorado). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

SILVA, S. A. O.; BACON, V. D. An adaptive phase-locked loop structure for three-phase utility grid-connected systems. 2015 **IEEE 13th Brazilian Power Electronics Conference and 1st Southern Power Electronics Conference (COBEP/SPEC)**, Fortaleza, 2015.

REN21 - **Renewables 2018 Global Status Report**. Renewable Energy Policy Network for 21 . Centry. 2018.