



Estudo Comparativo de Desempenho de Sistemas Fotovoltaicos Trifásicos com Condicionamento Ativo de Potência Usando Unidades Inversoras Full-Bridge

RESUMO

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

Sérgio Augusto Oliveira da Silva
augus@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal
do Paraná, UTFPR, Cornélio
Proença, Paraná, Brasil

OBJETIVO: Este trabalho tem como objetivo, estudar e analisar duas topologias de sistemas fotovoltaicos, com simples e duplo estágio de conversão de energia, aplicados à sistemas elétricos trifásicos a quatro-fios. Simultaneamente, os sistemas atuam como filtro ativo de potência paralelo (FAPP) ou seja, realizam o condicionamento ativo de potência de modo a solucionar os problemas relacionados aos harmônicos de corrente.

MÉTODOS: Os sistemas em estudo, envolvem a topologia inversora Three-Full-Bridge (3FB). Ambas topologias empregam a estratégia de controle independente por fase, de forma que os sistemas possam ser tratados como três sistemas monofásicos. Para garantir que os sistemas fotovoltaicos operem em sua máxima potência, é empregado o algoritmo de MPPT P&O, enquanto que as correntes de referência são obtidas através do algoritmo baseado no sistema de eixos de referência síncrona. **RESULTADOS:** Os desempenhos das topologias são avaliados através de simulações computacionais. Além disso, uma análise comparativa entre as topologias é apresentada considerando os aspectos de desempenho e rendimento. **CONCLUSÕES:** Por meio deste estudo, foi possível determinar qual das duas topologias é mais indicada em termos de desempenho e rendimento, e neste caso, a topologia PV-FAPP-1E se destaca.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas Fotovoltaicos. Condicionamento Ativo de Potência. Three-Full-Bridge.

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, uma tendência mundial se desencadeou em busca por fontes de energia alternativas e renováveis. Nesse contexto, a energia solar fotovoltaica tem ganhado destaque por ser considerada uma energia limpa, com baixa degradação ecológica e tecnicamente viável (BARRRETO, 2014).

A produção direta de energia elétrica através da energia proveniente do sol é realizada a partir de painéis fotovoltaicos (*Photovoltaic* – PV), que junto com equipamentos eletrônicos constituem os sistemas fotovoltaicos. Quando conectados à rede elétrica, estes sistemas podem complementar o sistema elétrico de distribuição ao qual estão conectados (GEHRING; LOPES; DALMOLIN, 2015).

A energia elétrica dos painéis fotovoltaicos é gerada em corrente contínua (CC) e, neste caso, é necessário converter essa energia em corrente alternada (CA) para ser injetada na rede elétrica. A conversão de energia pode ser realizada de duas maneiras: conversão de duplo estágio, onde o primeiro estágio, CC-CC, é usado para elevação da tensão dos painéis fotovoltaicos, enquanto que o segundo estágio, CC-CA, é usado para conectar o sistema à rede elétrica; ou conversão de simples estágio, em que a energia é injetada diretamente na rede elétrica através de uma única conversão, CC-CA (SILVA et al., 2015). Geralmente, a conversão por simples estágio é mais eficiente por utilizar menos equipamentos eletrônicos.

Para que a conexão dos sistemas PV não prejudique o desempenho do sistema elétrico, eles devem atender requisitos de segurança e de qualidade de energia. No entanto, cuidados adicionais são necessários quando há conexão de cargas não-lineares ao sistema elétrico pois, tais tipos de cargas, drenam da rede elétrica correntes com componentes harmônicas, as quais podem afetar a qualidade de energia elétrica (AKAGI, 1996). Nestes casos, os sistemas PV podem ser projetados para operar como filtro ativo de potência paralelo (FAPP)(SILVA, 2001). Ou seja, a energia ativa proveniente do sistema PV é injetada na rede elétrica e as correntes harmônicas e/ou componentes reativas são compensadas.

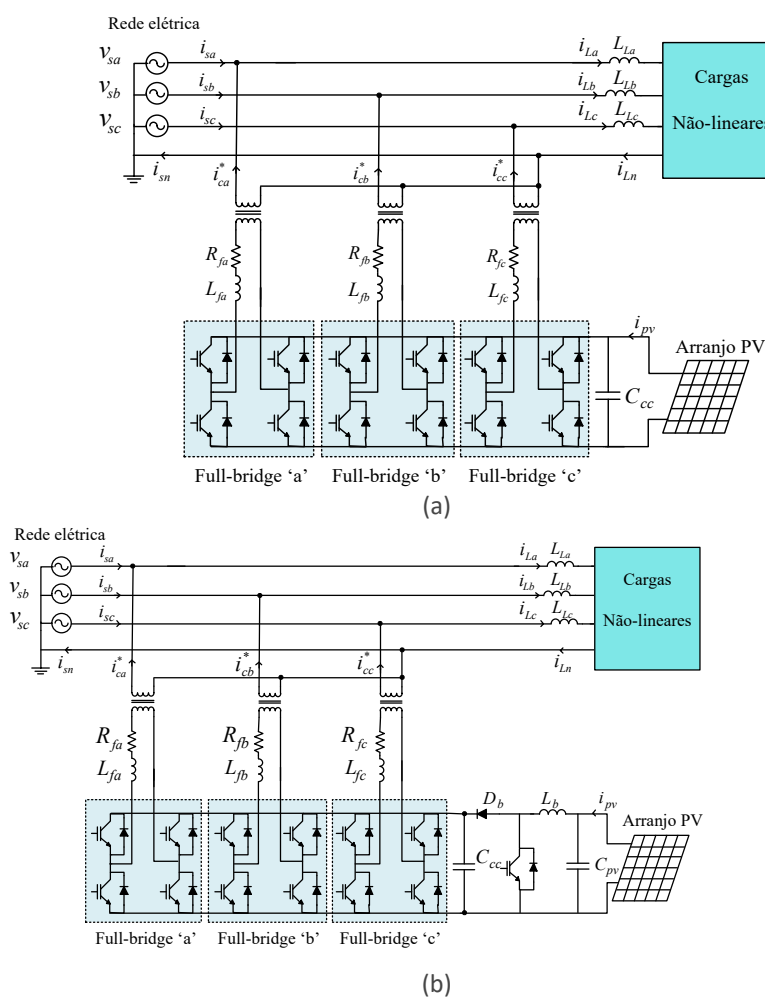
MÉTODOS

As topologias estudadas neste trabalho, estão apresentadas na Figura 1. A Figura 1. (a) mostra a topologia PV-FAPP-1E, a qual é implementada utilizando três inversores monofásicos FB, um capacitor no barramento de tensão CC, três indutores de filtragem e três transformadores monofásicos para acoplamento. O sistema de geração de energia fotovoltaica, é representado por um único arranjo PV, o qual é conectado ao barramento CC, envolvendo assim, apenas um estágio de conversão de energia. Já a Figura 1. (b) apresenta a topologia PV-FAPP-2E. Esta estrutura possui configuração similar à anterior porém, o estágio de conversão CC-CC é incluído no sistema. Neste caso, um conversor elevador de tensão *boost* compreende o primeiro estágio da conversão de energia do sistema, enquanto que os inversores têm apenas a função de controlar a corrente a ser injetada na rede elétrica bem como controlar a tensão do barramento CC.

Em ambas estruturas, as três fases do sistema são admitidas independentes e, dessa forma, os algoritmos para obtenção das referências de controle das

correntes de compensação, os quais são baseados no sistema de eixos de referência síncrona (SRF - *Synchronous Reference Frame*) e as malhas de controle das correntes são implementadas individualmente para cada inversor. Já a máxima potência dos arranjos fotovoltaicos é extraída, através do algoritmo de MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) P&O (*Perturbe and Observe*) (BRITO et al., 2012).

Figura 1 – Topologias em estudo: (a) PV-FAPP-3FB-1E; (b) PV-FAPP-3FB-2E.



Fonte: Autoria própria (2017).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

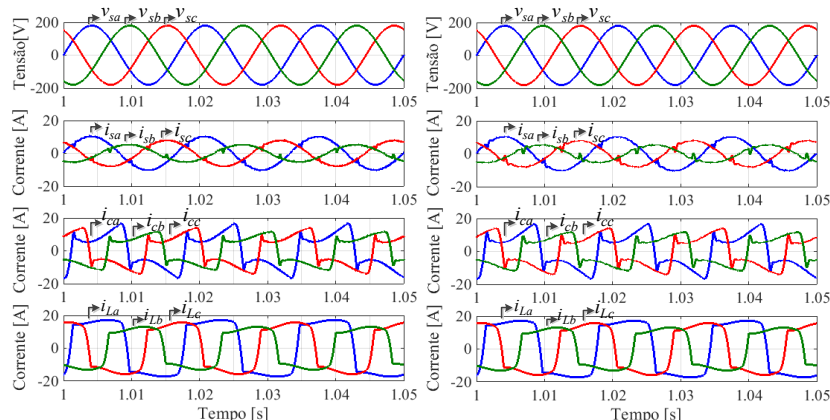
As topologias foram implementadas via simulações computacionais utilizando a ferramenta MATLAB/Simulink®. Em ambas, considerou-se um sistema trifásico a quatro-fios alimentando três cargas não-lineares monofásicas desbalanceadas. A potência fornecida pelo arranjo PV é igual a 2451,6 Wp.

As Figuras 2. (a) e (b) apresentam as tensões da rede elétrica (v_{sa} , v_{sb} , v_{sc}), as correntes compensadas (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}), as correntes de compensação (i_{ca} , i_{cb} , i_{cc}), e as correntes de carga (i_{La} , i_{Lb} , i_{Lc}), para as topologias PV-FAPP-1E e PV-FAPP-2E respectivamente. Observa-se que as correntes da rede elétrica (i_{sa} , i_{sb} , i_{sc}) estão em fase com suas respectivas tensões, e são aproximadamente senoidais. Logo, além da injeção da energia ativa à rede elétrica, os sistemas

realizaram a supressão de harmônicos de corrente e compensação da potência reativa das cargas.

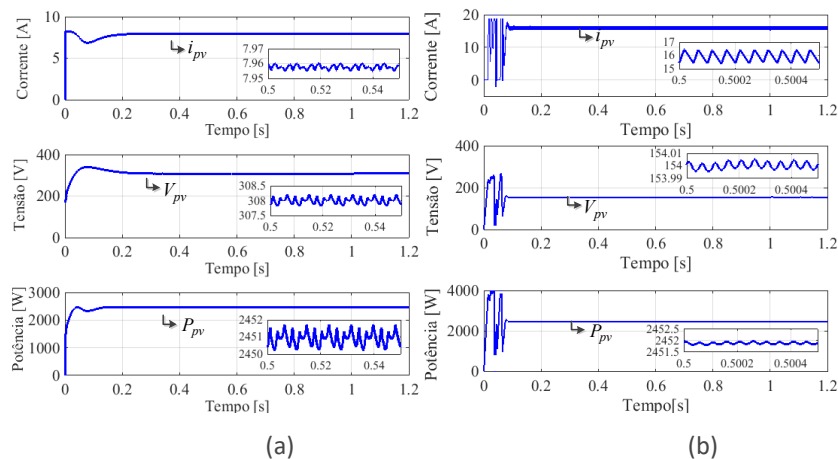
Já as Figuras 3. (a) e (b) mostram as correntes, tensões e potências de saída dos arranjos PV, para as topologias PV-FAPP-1E e PV-FAPP-2E, nessa ordem. A Tabela 1 apresenta uma análise das estruturas em relação às taxas de distorção harmônica das correntes da rede elétrica e, ao rendimento da estrutura, o qual é calculado através da relação entre as potências de entrada e de saída dos sistemas.

Figura 2 – Resultados de simulação: (a) Topologia PV-FAPP-1E; (b) Topologia PV-FAPP-2E;



Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 3 – Parâmetros de saída do arranjo PV: (a) PV-FAPP-1E; (b) PV-FAPP-2E;



Fonte: Autoria própria (2017).

Tabela 1 – Análise comparativa entre as Topologias em estudo.

Topologia	Distorção Harmônica Total [%]			Rendimento η [%]
	DHT i_{sa}	DHT i_{sb}	DHT i_{sc}	
PV-FAPP-1E	6,44	7,86	11,57	95,29
PV-FAPP-2E	7,55	11,16	15,56	91,59

Fonte: Autoria própria (2017).

CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo e uma análise comparativa entre duas topologias de sistemas fotovoltaicos de simples e duplo estágio de conversão de energia aplicados em sistemas elétricos trifásicos a quatro-fios. Foi comprovado que além de injetarem energia ativa na rede elétrica, as estruturas também podem operar como filtro ativo de potência melhorando a qualidade de energia do sistema elétrico. Através dos resultados obtidos, observou-se que a topologia PV-FAPP-1E, a qual possui um único estágio, apresenta maior rendimento do sistema.

Comparative Study of Performance of Three-Phase Photovoltaic Systems with Active Power Line Conditioning Using Full-Bridge Inverter Units

ABSTRACT

OBJECTIVE: This work aims to study and analyze two topologies of grid-connected photovoltaic systems, with single and double stage of energy conversion, applied to three-phase four-wire electrical systems. Simultaneously, the systems operate as an active power filter (APF), performing the active power conditioning in order to solve the problems related to harmonics currents. **METHODS:** The systems involve the Three-Full-Bridge inverter topology (3FB). Both topologies employ the independent control strategy meaning that the systems can be treated as three single-phase systems. To ensure that photovoltaic systems operate at their maximum power point, the MPPT P&O algorithm is employed, while the reference currents are obtained through the algorithm based on the synchronous reference frame. **RESULTS:** The performances of the topologies are evaluated through computational simulations. In addition, a comparative analysis between the topologies is presented considering the aspects of performance and yield. **CONCLUSIONS:** Thus, through this analysis, it is possible to determine which of the four topologies is most indicated in terms of performance and yield.

KEYWORDS: Photovoltaic Systems. Active Power Line Conditioning. Three-Full-Bridge.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

AKAGI, Hirofumi. New trends in active filters for power conditioning. **IEEE transactions on industry applications**, v. 32, n. 6, p. 1312-1322, 1996.

BARRETO, Rodrigo Lopes. **Contribuições ao método de rastreamento de máxima potência para sistemas fotovoltaicos**. 2014. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

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, 2012.

SILVA, Sérgio A. Oliveira et al. Single-phase grid-connected photovoltaic system with active power line conditioning. **Power Electronics Journal**, v. 20, n. 1, p. 8-18, 2015.

SILVA, Sérgio A. O. da, **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.

Recebido: 31 ago. 2017.

Aprovado: 02 out. 2017.

Como citar:

SILVEIRA, R. D.; SILVA, S. A. O. Estudo Comparativo de Sistemas Fotovoltaicos com Condicionamento Ativo de Potência envolvendo a Topologia Inversora Three-Full-Bridge. 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:

Rafaela Dizaró Silveira

Rua XV de Fevereiro, 782, Centro, Cornélio Procopio, Paraná, Brasil.

Direito autoral:

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

