

ANÁLISE E IMPLEMENTAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS: EMPREGO DOS MÉTODOS DE CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA APLICADOS NA ATENUAÇÃO DE CORRENTES HARMÔNICAS PRESENTES NA REDE ELÉTRICA

Luccas Tadeu Farnezes Soares¹ (IC), Arthur Costa de Souza¹ (PQ)

¹Universidade Federal de Itajubá – Campus Itabira - UNIFEI.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Modelagem computacional. Filtro ativo. Qualidade da energia elétrica.

Introdução

Os sistemas elétricos de distribuição de energia possuem alta dinâmica no que diz respeito à variações de algumas de suas grandezas elétricas, provocada pela grande variedade de cargas e fontes que podem interagir entre si ocasionando desta forma diversos impactos ao próprio sistema como circulação de correntes harmônicas. Os harmônicos em sistemas de energia podem ser definidos como fenômenos associados a deformações nos sinais de tensão ou corrente em relação ao sinal de frequência fundamental (ANEEL, 2021). Tais distorções muitas vezes estão associadas com a utilização de dispositivos baseados em eletrônica de potência (BOLLEN, 2000). A circulação dessas componentes pode acarretar inúmeros problemas, dentre eles pode-se citar (DUGAN et al, 2002): efeito de ressonância em filtros passivos (sintonizados e amortecidos) ou em capacitores para correção de fator de potência, interferência no funcionamento de máquinas elétricas provocando perdas adicionais e influência nos dispositivos de proteção tornando-os imprecisos. Logo, considerando a grande influência deste fenômeno e as severas consequências que ele pode acarretar à rede elétrica, torna-se necessário meios para atenuar ou mitigar este problema.

Nesse sentido, tendo em vista o crescimento da instalação de sistemas fotovoltaicos em todo mundo e os problemas citados anteriormente, este trabalho propõe o estudo e análise do comportamento de unidades geradoras fotovoltaicas com o emprego de conversores multifuncionais conectados à rede elétrica. Os conversores fotovoltaicos comuns limitam-se em sua grande maioria à injeção de potência ativa na rede elétrica, entretanto obedecendo sua capacidade de potência, um sistema multifuncional pode ser empregado (BRANDÃO, et al, 2013). Logo, o objetivo principal deste trabalho é apresentar algumas conclusões relacionadas a esta tecnologia e ao seu uso em redes de distribuição urbanas para compensação de correntes

harmônicas, demonstrando as consequências de sua utilização.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo principal implementar via ferramentas computacionais um conversor fotovoltaico com funcionalidade de atenuação de correntes harmônicas, através da inserção de correntes harmônicas em contra fase na rede, em outras palavras, refere-se à implementação de funcionalidades de um filtro ativo no controle do conversor. Além disso, como objetivo secundário busca-se desenvolver metodologias de geração e controle das referências de correntes harmônicas, além das demais funcionalidade que um inversor fotovoltaico deve possuir.

Tendo em vista a necessidade de alternativas para geração de eletricidade e a busca por uma eficiência melhor na utilização dos sistemas elétricos. A utilização da geração fotovoltaica torna-se uma possibilidade promissora para a questão energética mundial e substituição das antigas metodologias de geração. Nesse sentido, com o intuito de aumentar a eficiência dos sistemas elétricos, ou seja, diminuir perdas e possíveis perturbações, a compensação de correntes harmônicas por conversores fotovoltaicos pode ser utilizada. Dessa forma, pode-se ter uma utilização otimizada dessas instalações de geração de eletricidade.

Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho foi pautada na análise da funcionalidade discutida anteriormente para inversores fotovoltaicos através de simulações computacionais no *software Simulink*, as quais buscaram verificar a influência desse tipo de operação do conversor na rede em situações críticas de alta distorção harmônica de corrente no ponto de acoplamento comum. Além disso, foram realizadas comparações da rede operando sem e com geração distribuída (GD) e, por fim, com uma GD contendo a função de compensação harmônica de forma a identificar

as consequências da utilização desses sistemas nas redes elétricas.

A implementação da simulação foi realizada em três etapas, sendo elas: modelagem do arranjo fotovoltaico, modelagem do conversor c.c/c.c Boost e modelagem do conversor completo. A seguir, na Figura 1 é possível visualizar o inversor completo implementado no *Simulink*.

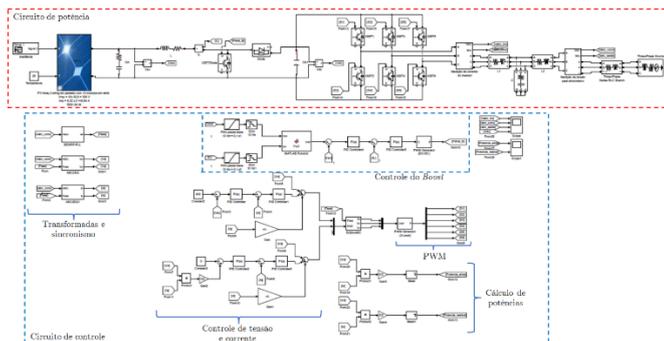


Figura 1 – Esquemático completo da simulação do inversor

Resultados e discussão

A seguir são apresentados os resultados obtidos nas simulações. Nas Figuras 2 e 3 é possível visualizar a FFT (*Fast Fourier Transformer*) para a corrente e tensão, respectivamente da fase A no PAC (ponto de acoplamento comum). Observando-se a Figura 2 é possível notar uma drástica redução das componentes harmônicas quando a GD executa a função ancilar de compensação harmônica em comparação com a rede sem GD. Todas as ordens harmônicas selecionadas para compensação foram atenuadas em mais de 70% da amplitude, evidenciando assim, a funcionalidade do sistema proposto. Conseqüentemente, com a redução do conteúdo harmônico de corrente, na Figura 3 também foram observadas quedas consideráveis nas componentes harmônicas de tensão. Sendo que os melhores resultados obtidos foram em situações em que a GD operava com baixa irradiância, entretanto, com a GD operando em outras situações também foram obtidos resultados satisfatórios.

Além disso, é possível visualizar que para ordens elevadas, mais especificamente, 29ª e 31ª houve aumentos relativamente consideráveis em relação à rede sem GD tanto para corrente quanto para tensão, porém, de maneira geral estes níveis ainda são baixos comparados à fundamental. Estes aumentos se devem, muito provavelmente à margem de fase adotada no controle para compensação harmônica, já que estas frequências estavam próximas das frequências de 23ª e 25ª as quais foram compensadas.

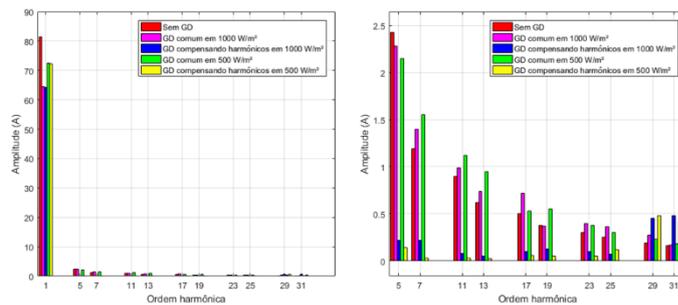


Figura 2 – FFT da corrente na fase A do PAC

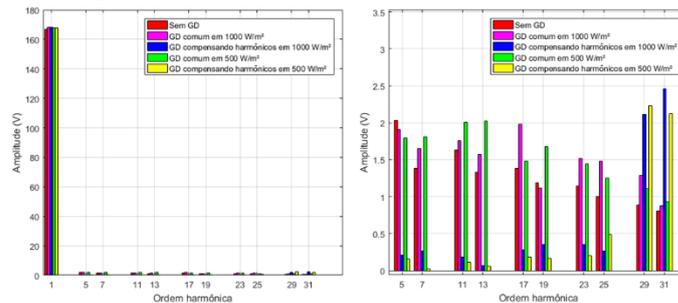


Figura 3 – FFT da tensão na fase A do PAC

Por fim, na Tabela 1, é apresentada a THD (*Total Harmonic Distortion*) para as tensões e correntes analisadas. É possível notar que a execução de função ancilar por parte do inversor causa a redução deste indicador, comprovando assim os resultados apresentados anteriormente.

Tabela 1 – THD da tensão e corrente na fase A do PAC

Situação	THD corrente (%)	THD tensão (%)
Sem GD	3,72	2,66
GD comum em 1000 W/m ²	4,86	3,03
GD compensando em 1000 W/m ²	1,36	2,35
GD comum em 500 W/m ²	4,40	3,12
GD compensando em 500 W/m ²	1,12	2,23

Conclusões

Os resultados obtidos demonstram que a inserção de uma GD com função de compensação harmônica contribui para a diminuição da circulação dessas componentes no PAC, dessa forma seu emprego é uma possibilidade interessante e promissora ao sistema elétrico. Entretanto, deve ser implementado no conversor controles mais robustos para compensação harmônica de forma a diminuir ou extinguir a amplificação de ordens indesejadas.

Agradecimento

Agradeço ao professor Arthur Costa pela orientação e oportunidade de desenvolver o trabalho, à UNIFEI e à FAPEMIG pelo apoio financeiro.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL. **Módulo 8 – Qualidade do Fornecimento de Energia Elétrica**: Anexo VIII da resolução normativa nº 956, de 7 de dezembro 2021 Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. ANEEL, 2021. Disponível em: https://www2.aneel.gov.br/cedoc/aren2021956_2_7.pdf. Acesso em: 07 mar. 2022.

BOLLEN, Math H. J.; **Understanding power quality problems**. 1. ed. IEEE, 2000.

BRANDAO, Danilo Iglesias; MARAFAO, Fernando Pinhabel; GONÇALVES, Flávio Alessandro Serrão; VILLALVA, Marcelo Gradella; GAZOLI, Jonas. **Estratégia de controle multifuncional para sistemas fotovoltaicos de geração de energia elétrica**. Revista Eletrônica de Potência, Campo Grande, v. 18, n. 4, p. 1206-1214, nov. 2013. Disponível em: <https://sobraep.org.br/artigo/estrategia-de-controle-multifuncional-para-sistemas-fotovoltaicos-de-geracao-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 16 mar. 2022.

DUGAN, Roger C; SANTOSO, Surya; McGRANAGHAN, Mark F.; BEATY H. Wayne. **Electrical Power Systems Quality**. 2. ed. McGraw - Hill, 2002.