

PROJETO DE UM FILTRO SHUNT EM UM SISTEMA TRIFÁSICO

OLIVEIRA, C. M.¹, CAMARGO, V. A. D.², PARIZZI, J. B.³

¹ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil –
carolinaoliveira.aluno@unipampa.edu.br

² Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil –
victorcamargo.aluno@unipampa.edu.br

³ Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA) – Bagé – RS – Brasil –
jocemarparizzi@unipampa.edu.br

RESUMO

Através deste trabalho busca-se ressaltar a importância e a complexidade da manutenção da qualidade da energia elétrica, com enfoque no fenômeno das distorções harmônicas. Apesar de apresentarem desvantagens, os filtros passivos foram frequentemente utilizados para a resolução desse tipo de fenômeno, contudo, com o advento dos estudos na área de eletrônica de potência, os filtros ativos são desenvolvidos como um solucionador mais eficiente para a compensação desse tipo de distorção. Propõe-se a implementação de um filtro ativo paralelo (FAP), também chamado de filtro shunt, capaz de filtrar harmônicas geradas por um retificador trifásico, utilizando um controle Proporcional Integral. Para tanto, utilizou-se simulações e transformadas de Clarke e Park. Alcançou-se resultados que atestam a eficácia do filtro, cumprindo o papel da correção das distorções harmônicas. Destacando a importância dos filtros ativos e passivos na manutenção da qualidade da energia elétrica. Ressalta-se ainda a necessidade de estudos e divulgação para ampla adoção, especialmente em locais com alta demanda e qualidade precária de energia.

Palavras-chave: Filtro ativo, Distorções harmônicas, Qualidade de Energia.

1 INTRODUÇÃO

A qualidade da energia entregue ao consumidor do sistema elétrico de potência é uma questão delicada, esta é dever da distribuidora manter um padrão pré estabelecido pelas regras da Prodist (Regras e Procedimentos de Distribuição). Com o uso elevado de equipamentos de potência - cargas não lineares - são inseridas distorções harmônicas que se propagam pela rede elétrica, alterando as formas de onda de tensão e corrente, introduzindo uma redução de fator de potência, entre diversos outros.

Filtros passivos têm sido tradicionalmente usados para absorver os harmônicos gerados por cargas não-lineares e para correção do fator de potência. No entanto, é de conhecimento estabelecido que a compensação dos filtros

passivos influencia a impedância equivalente do sistema de potência, pode gerar ressonância paralela ou série com a rede elétrica, além de ser uma solução que apresenta desvantagens do ponto de vista de peso e volume. Outra solução empregada é a utilização de filtros ativos de potência, ou mesmo filtros híbridos, que empregam tanto o filtro passivo quanto o ativo, e desta forma, utiliza-se as características positivas destas duas categorias de filtros. Dentre os filtros ativos de potência observa-se nos artigos da literatura técnica que existem diversas possibilidades de configurações para compensação de harmônicos de corrente na carga, distorções na tensão da fonte e correção do fator de potência. Por exemplo, o filtro ativo série compensa distorções na tensão da fonte de energia primária, o filtro paralelo (ou filtro shunt) compensa energia reativa e harmônicos de corrente na carga, e com o filtro universal pode-se corrigir tanto energia reativa e harmônicos de corrente na carga quanto distorções na tensão da fonte. O filtro paralelo pode ainda compensar harmônicos na fonte de tensão quando esta fonte possui impedância interna (MACIEL, 2019).

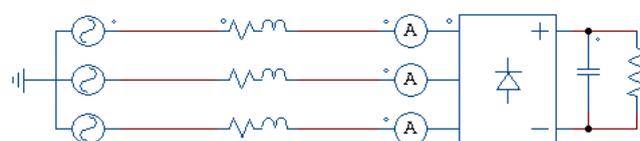
Para a correção destas distorções é possível aplicar-se filtros ativos de potência, tanto do tipo paralelo e em série. O filtro ativo atua nas correntes harmônicas, compensando as mesmas e evitando que a distorção alcance a carga.

Atualmente, os SAPFs (da sigla em inglês, Shunt Active Power Filters) são considerados os equipamentos mais disseminados, no âmbito da filtragem ativa. Atuam, basicamente, via injeção de correntes ditas de compensação, com a mesma magnitude e em fase oposta à corrente a ser compensada (TRONCHA, 2018).

2 METODOLOGIA (MATERIAL E MÉTODOS)

Neste estudo, foi elaborado um filtro ativo paralelo (Shunt) destinado a filtrar harmônicos gerados por uma carga não linear, especificamente um retificador trifásico com um filtro capacitivo. Inicialmente, foi elaborado um circuito básico que consistia em uma fonte trifásica senoidal conectada a uma carga não linear, conforme visualizado na Figura 1.

Figura 1: Circuito sem o filtro ativo paralelo.

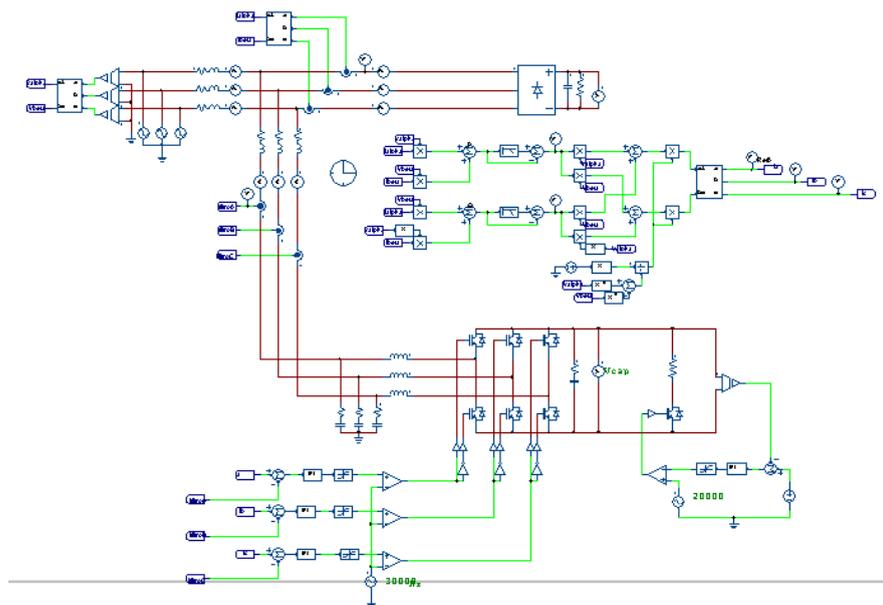


Fonte: Autores (2023).

Durante a simulação, observou-se a influência da carga não linear na forma de onda da corrente da fonte, introduzindo harmônicos na linha e distorcendo a forma de onda para longe do padrão senoidal.

Para corrigir essa distorção, implementou-se um Filtro Ativo Paralelo (FAP) conectado em paralelo com a carga e a linha. O controle do FAP foi realizado por meio de um controlador PI (Proporcional-Integral). Nesse contexto, foram efetuadas transformações por meio da técnica de transformada de Clarke e Park. As medições de tensão e corrente em cada fase, obtidas por sensores, foram convertidas em Valpha, Vbeta, Ialfa e Ibeta. Essa transformação foi realizada através do bloco "abc-to-alpha/beta transformation" no software PSIM. Posteriormente, as funções específicas do filtro foram transformadas de volta para as coordenadas de fase A, B e C.

Figura 2. Circuito com o filtro ativo paralelo.



Fonte: Autores (2023).

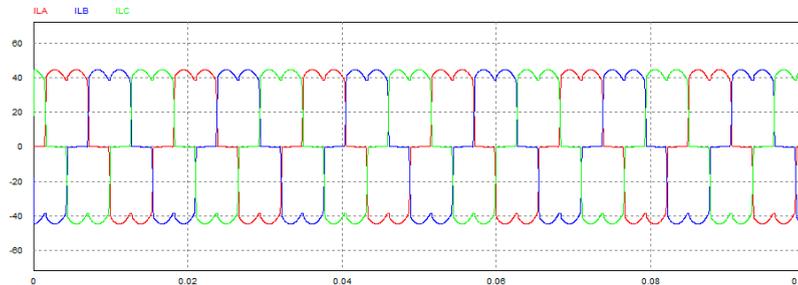
O circuito final, incorporando as tentativas de controle do FAP, é apresentado na Figura 2. Este esquema representa a configuração adotada para corrigir a forma de onda da corrente, utilizando um FAP controlado por um regulador PI.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O primeiro resultado gráfico obtido refere-se ao circuito representado na Figura 2, onde a corrente na linha é apresentada sem a presença do filtro, oferecendo uma clara visualização dos harmônicos presentes. A representação

gráfica dessa análise é mostrada na Figura 3, destacando a forma de onda da corrente na linha com a presença de harmônicos.

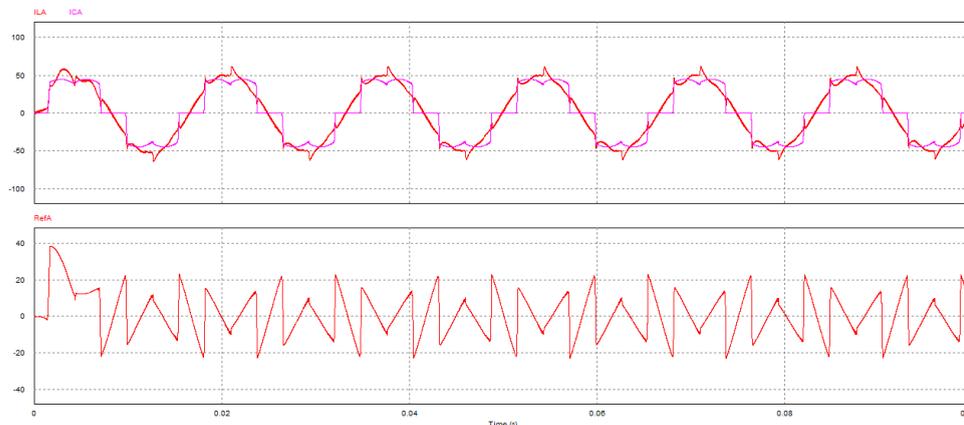
Figura 3. Resultado gráfico da forma de onda da corrente na linha com harmônicos.



Fonte: Autores (2023).

Após a introdução do filtro, conforme ilustrado na Figura 2, ajustes nos parâmetros de controle do sistema foram realizados para permitir a correção da corrente na linha. A Figura 4 exhibe o resultado gráfico da corrente na carga, corrente na linha após a correção e a corrente no filtro da linha A. O filtro ativo paralelo desempenhou um papel crucial na correção dos harmônicos presentes na corrente da linha.

Figura 4. Resultado gráfico da corrente na carga e corrente na linha, já corrigida, e corrente no filtro da linha A, respectivamente.

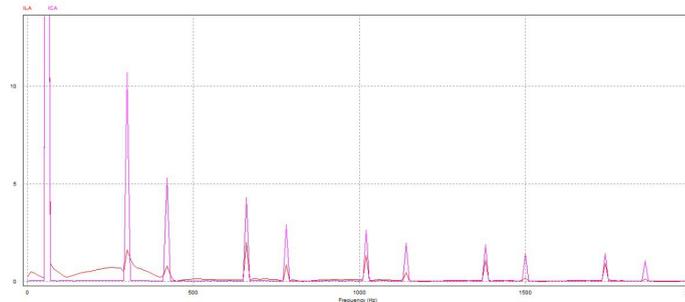


Fonte: Autores (2023).

Embora ainda tenha a presença de pequenas distorções na linha, o filtro ativo atuou corretamente, de modo que a forma de onda resultante se aproximou significativamente de uma senoide. Essas distorções residuais são minimizadas, indicando a eficácia do filtro em neutralizar as componentes harmônicas indesejadas. O controlador PI do filtro ajustou adequadamente a injeção de corrente de compensação, contribuindo para uma forma de onda corrigida que atende aos

padrões estabelecidos pelas normas do sistema elétrico de potência e melhorando substancialmente a qualidade da energia entregue ao consumidor.

Figura 5. Gráfico da transformada de Fourier das formas de onda da corrente na carga e corrente na linha



Fonte: Autores (2023).

A análise da Transformada de Fourier, realizada por meio de gráficos espectrais, foi fundamental para avaliar o desempenho do filtro ativo paralelo na correção das harmônicas. Ao examinar as representações espectrais das correntes da linha e da carga, observou-se uma redução nas amplitudes das harmônicas, indicando uma eficaz atenuação dessas distorções.

4 CONCLUSÃO

Com o advento da tecnologia fica notório o crescimento exponencial de cargas não lineares, abrindo espaço para a ocorrência de harmônicas. A implementação do filtro ativo paralelo revelou-se eficaz na redução das distorções harmônicas geradas por cargas não lineares, melhorando substancialmente a qualidade da energia elétrica fornecida aos consumidores. A atuação eficiente do filtro, orientada pelo controlador PI, compensou eficientemente os harmônicos, resultando em uma forma de onda mais próxima a uma senóide, embora pequenas distorções residuais tenham sido observadas. Este estudo destaca a relevância prática dos filtros ativos na correção de distorções elétricas, contribuindo para soluções mais eficientes e sustentáveis em sistemas elétricos, especialmente diante do cenário de crescente demanda e diversificação das fontes de geração.

REFERÊNCIAS

- TRONCHA, G. S. et al. FILTROS ATIVOS SHUNT: ESTADO DA ARTE, DESAFIOS E TENDÊNCIAS. Disponível em: <https://www.peteletricaufu.com.br/static/ceel/artigos/artigo_287.pdf>. Acesso em: 30 nov. 2023.
- MACIEL, Álvaro de Medeiros et al. Operação em paralelo de filtros ativos de potência shunt. 2009.