



METODOLOGIA DE APOIO PARA ENSINO DE FILTROS PASSIVOS EM ENGENHARIA

Áureo de Souza Carneiro Freitas – aureo.carneiro@gmail.com

Carlos Henrique Silva Vasconcelos - vasconcelos@leopoldina.cefetmg.br

Olga Moraes Toledo – olgatoledo@leopoldina.cefetmg.br

Centro Federal de Educação Tecnológico de Minas Gerais, Engenharia de Controle e Automação
Rua José Peres, 558
36700-000 – Leopoldina – Minas Gerais

Resumo: Atualmente a qualidade de energia elétrica é uma característica cada vez mais relevante em sistemas elétricos de potência sendo objeto de investigações para a mitigação de problemas decorrentes. Uma das soluções utilizadas este tipo de problema são os filtros passivos. Dentro do curso de Engenharia de Controle e Automação os filtros passivos representam uma abordagem multidisciplinar de áreas como eletrônica, eletrônica de potência, instrumentação e controle. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um software para apoio ao ensino de filtros passivos a ser utilizados para correção das distorções harmônicas, conforme as normas vigentes, ocasionadas pela inserção de cargas não lineares na rede de energia, que afetam a Qualidade de Energia. O software proposto realiza o cálculo dos parâmetros de filtros passivos na topologia escolhida, tendo como entrada os dados de distorção harmônica da carga analisada. A parametrização é feita tendo por base a adequação à equipamentos disponíveis no mercado. A validação do algoritmo foi feita por simulação e o nível de THD do caso analisado foi diminuído em torno de 60%.

Palavras-chave: Qualidade de energia, Distorções harmônicas, Filtros passivos.

1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento de cargas não lineares no Brasil e no mundo trouxe consigo problemas associados à qualidade de energia. Isso ocorre pelo fato dessas cargas não lineares inserirem perturbações harmônicas no sistema, modificando sua característica (MALEKIAN *et al.*, 2015). Dentre estes problemas pode-se citar flutuação na rede, correntes parasitas, queda de tensão, sobretensão entre neutro e terra, perturbação nas redes de comunicação, problemas de funcionamento e desempenho de equipamentos eletrônicos, entre outros. Atualmente a qualidade de energia elétrica é uma característica cada vez mais relevante em sistemas elétricos de potência sendo objeto de investigações para a mitigação de problemas decorrentes (JAIN & SINGH, 2011).



Para a solução desse problema uma medida barata e fácil de ser tomada é a aplicação de filtros passivos de potência (KHARLOV *et al.*, 2016), onde estes irão atuar corrigindo as distorções harmônicas para um nível aceitável de perturbação no sistema de acordo com as normas IEC 61000, guia IEEE Std 519, Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e Operador Nacional do Sistema (ONS) (ANEEL 2010). Filtros passivos são compostos por elementos eletrônicos como resistores, capacitores e indutores e possuem diversas topologias para inserção e sintonia de especificações ideais para um melhor desempenho (SCHWANZ *et al.*, 2016). Para que esta solução seja passível de ser construída e não apenas simulada, em especial durante o curso de Engenharia de Controle e Automação, a especificação completa do filtro passivo a ser utilizada em determinada aplicação deve ser adequada aos produtos disponíveis no mercado.

O trabalho consta em desenvolver um software onde este possui um algoritmo de sintonia de valores para os dispositivos, para topologias específicas de aplicação de filtros passivos. Este software foi desenvolvido para ser utilizado nas disciplinas de Eletrônica, Eletrônica de Potência, Instrumentação e Controle dentre outras, para facilitar o ensino de sintonia de filtros passivos, visando a validação por meio de aula prática e simulações.

2 METODOLOGIA

O presente trabalho foi dividido em três etapas, a primeira a confecção do algoritmo para a aquisição e tratamento de dados, a segunda parte a determinação das topologias trabalhadas no sistema e por fim, a validação da metodologia proposta por meio de simulação.

2.1 Algoritmo de aquisição e tratamento de dados:

O software foi desenvolvido na IDE NetBeans, que é uma plataforma grátis de programação na linguagem Java, onde o usuário entra com os dados adquiridos por osciloscópio, ou qualquer método de obtenção do espectro harmônico, em formato txt. O software irá ler os dados da 3ª, 5ª e 7ª harmônica, pois são as mais energéticas e prejudiciais ao sistema (MOEED & SALAM, 2014).

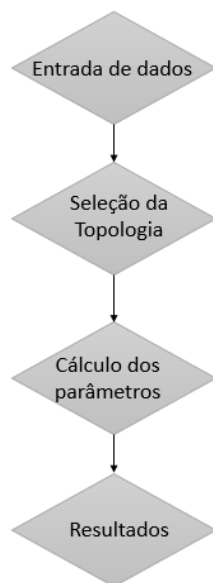
Em seguida o usuário irá escolher qual topologia desejada para as sintonias como filtro passa-baixa, filtro passa-alta, filtro passa-faixa e filtro rejeita-faixa com fator de qualidade desejado. Assim através das equações citadas no item 2.2, o usuário irá receber um relatório com os parâmetros de capacitor, resistor e indutor, caso contenha na topologia, em valores disponíveis no mercado para facilitar o acesso aos equipamentos. Vale notar que indutores podem ser confeccionados manualmente para qualquer valor requerido.

O software será disponibilizado gratuitamente para ensino acadêmico.

O fluxograma do software, Figura 1, apresenta a sequência em que serão trabalhadas as informações.



Figura 1 – Fluxograma do software.



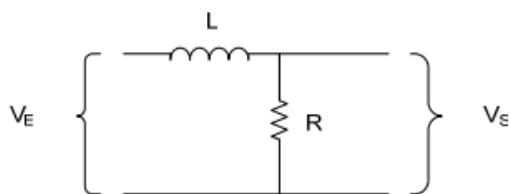
2.2 Filtros e Topologias utilizadas

Para a sintonia dos filtros foram utilizadas as seguintes fórmulas, das quais o software utiliza para realizar os cálculos, de acordo com os seguintes modelos (CHANG *et al.* 2006).

Filtro Passa-Baixa:

Filtro PB RL, representado na Figura 2:

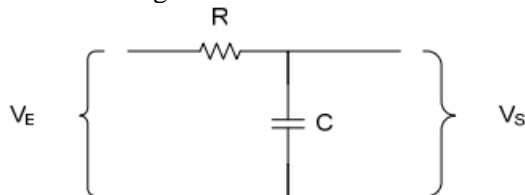
Figura 2 – Filtro PB RL.



$$f_c = \frac{R}{(2 * \pi * L)} \quad (1)$$

Filtro PB RC, representado na Figura 3:

Figura 3 – Filtro PB RC.

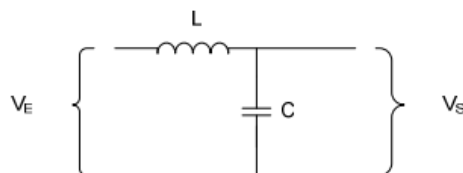




$$f_c = \frac{1}{(2 * \pi * R * C)} \quad (2)$$

Filtro PB LC, representado na Figura 4:

Figura 4 – Filtro PB LC.



$$f_c = \frac{R}{(2 * \pi * \sqrt{LC})} \quad (3)$$

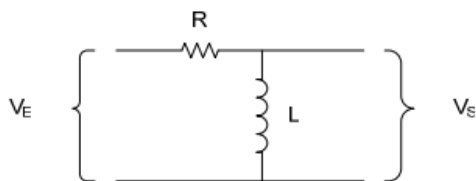
$$L = \frac{Rc}{(2 * \pi * f_c)} \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{(2 * \pi * f_c * Rc)} \quad (5)$$

Filtro Passa-Alta

Filtro PA RL, representado na Figura 5:

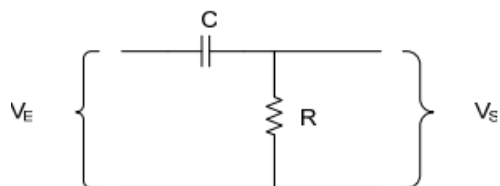
Figura 5 – Filtro PA RL.



$$f_c = \frac{R}{(2 * \pi * L)} \quad (6)$$

Filtro PA RC, representado na Figura 6:

Figura 6 – Filtro PA RC.

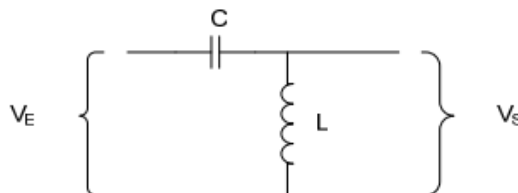




$$f_c = \frac{1}{(2 * \pi * R * C)} \quad (7)$$

Filtro PA LC, representado na Figura 7:

Figura 7 – Filtro PA LC.



$$f_c = \frac{R}{(2 * \pi * \sqrt{LC})} \quad (8)$$

$$L = \frac{Rc}{(2 * \pi * fc)} \quad (9)$$

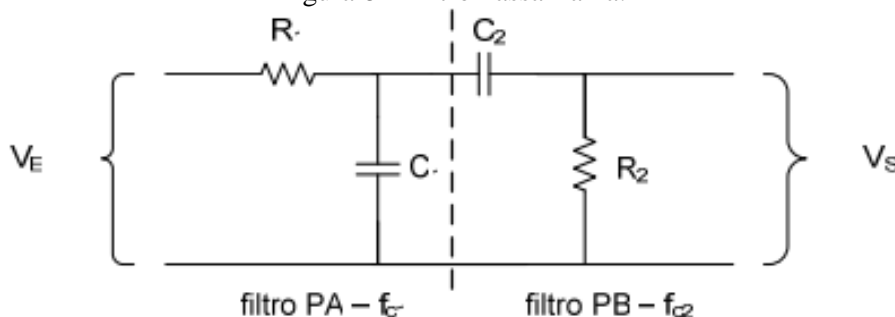
$$C = \frac{1}{(2 * \pi * fc * Rc)} \quad (10)$$

Existe ainda a topologia universal que é a implementação de um circuito RLC em série e sua equação é conforme a Equação (9) e Equação (10).

Filtro Passa-Faixa

Nesses circuitos é possível combinar um filtro passa-alta com sua saída ligada a um filtro passa-baixa, conforme mostrado na Figura 8. Observa-se que a frequência de corte do filtro PA deve ser menor que a do filtro PB, caso contrário a tensão será filtrada da entrada para a saída.

Figura 8 – Filtro Passa-Faixa.

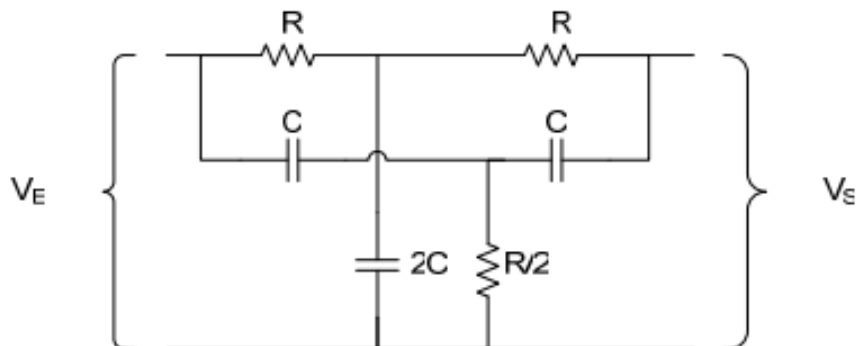


Filtro Rejeita-Faixa

A Figura 9 demonstra o circuito do Filtro Rejeita-Faixa utilizado para sintonia:



Figura 9 – Filtro Rejeita-Faixa.



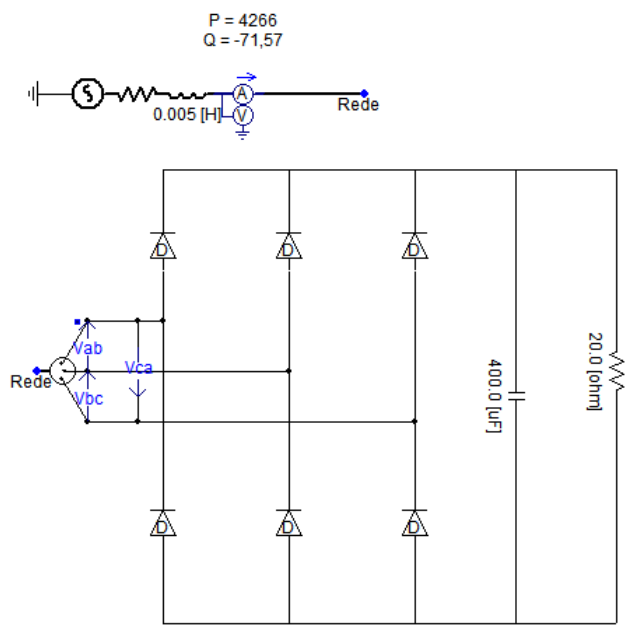
$$f_0 = \frac{1}{(2 * \pi * R * C)} \quad (11)$$

2.3 Validação

Para a validação da metodologia proposta, foi feito o estudo e a simulação de uma carga específica via software PSCAD para uma topologia específica, calculando os novos valores de THD com o sistema especificado inserido na rede.

A carga escolhida para a mitigação foi um retificador trifásico de onda completa operando um resistor de 20Ω e um capacitor de $400\mu\text{F}$ para suavizar a tensão e corrente retificada conforme mostrado na Figura 10.

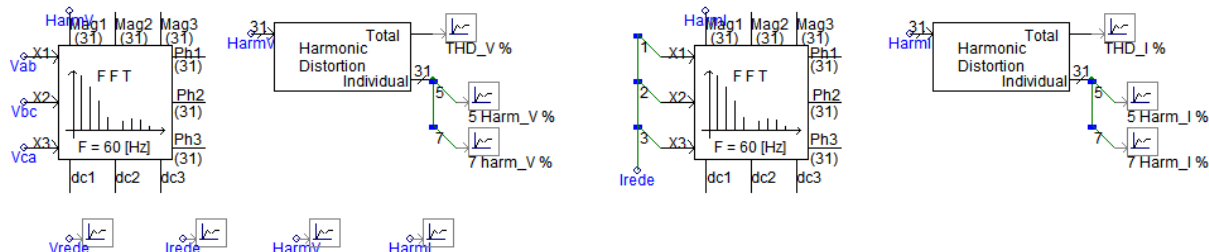
Figura 10 – Retificador trifásico de onda completa.





Para a obtenção dos harmônicos de tensão e corrente do sistema foi utilizado o circuito apresentado na Figura 11.

Figura 11 – Circuito para obtenção harmônica.



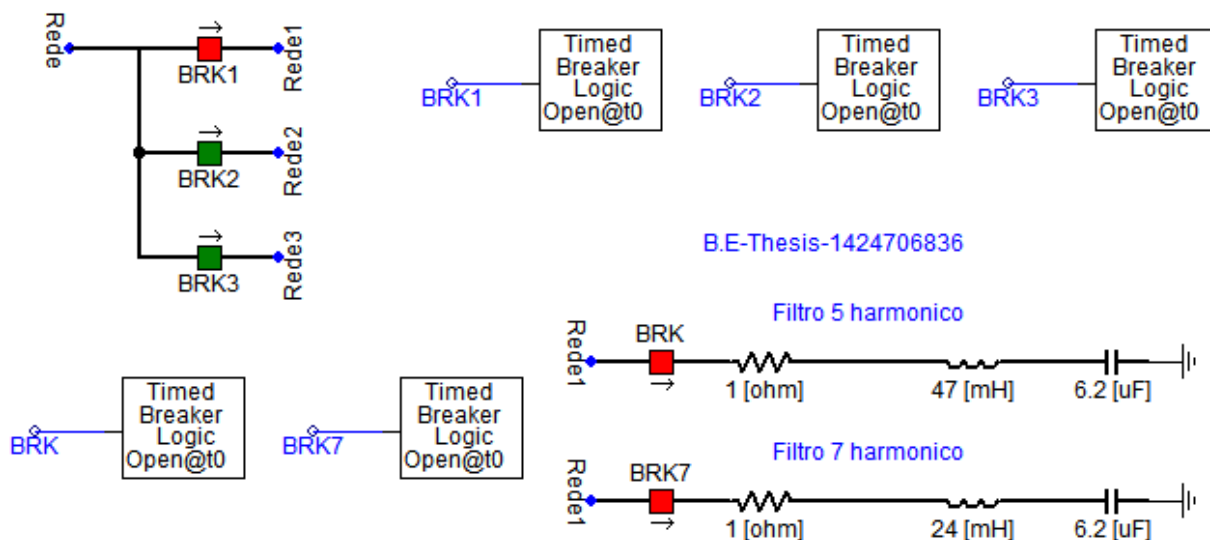
3. RESULTADOS

A carga escolhida para a simulação da metodologia, especificamente, não possui 3ª harmônica, assim a sequência para a correção foram filtros para quinta e sétima harmônica. Por fim foi montado os filtros para a correção, a topologia escolhida foi a universal e as equações utilizadas foram as Equações (9) e (10).

Para a simulação foi mostrado a carga de zero a um segundo sem filtro, de um a dois segundos foi acionado o filtro para correção da quinta harmônica e por fim de dois a quatro segundos foi acionado o filtro de sétima harmônica conforme na Figura 12.

Vale notar que os valores simulados para os componentes do filtro foram valores comerciais de resistores, capacitores e indutores. Uma observação é que os indutores podem ser confeccionados facilmente para o valor desejado.

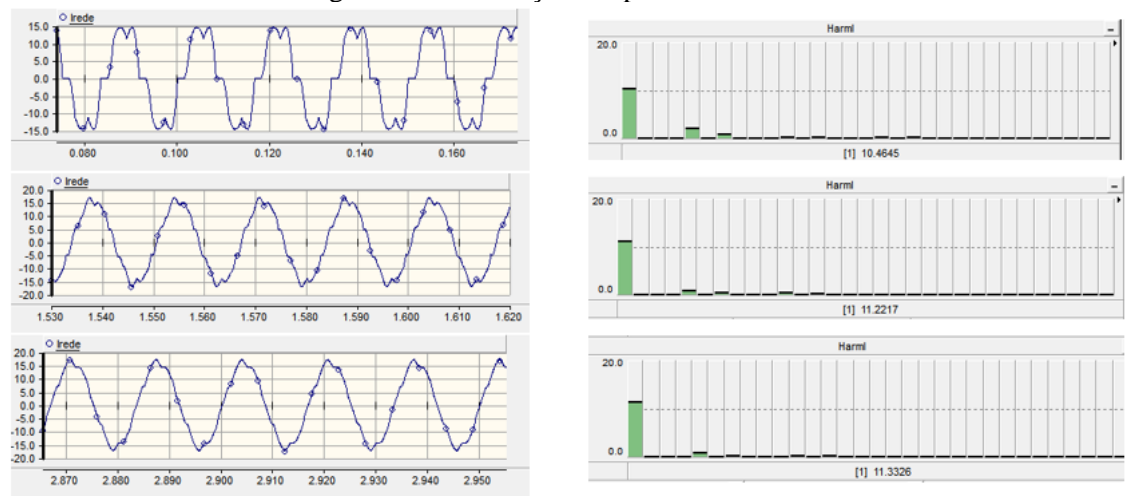
Figura 12 – Circuito de filtros.



Para a simulação foi utilizado os valores comerciais, e obteve-se os seguinte resultados, para as harmônicas de corrente, mostrado na Figura 13.

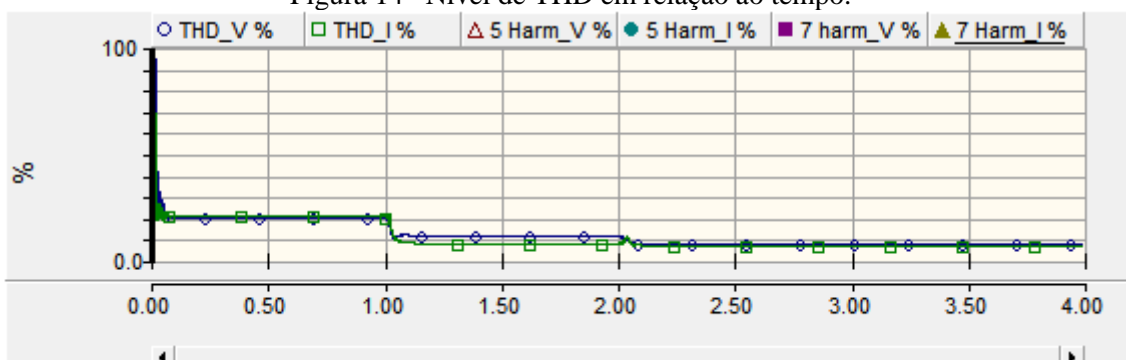


Figura 13 – Simulação e espectro harmônico.



Como mostrado na Figura 13, podemos observar a redução aceitável para o nível de THD e as harmônicas de efeito na carga: quinta e sétima, assim o filtro conseguiu adequar o circuito para uma penetração harmônica aceitável pelas normas.

Figura 14– Nível de THD em relação ao tempo.



É possível notar que os dados foram satisfatórios e houve uma drástica redução de aproximadamente 60% da penetração harmônica no sistema, validando o algoritmo do software conforme mostrado na Figura 14.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia proposta apresenta-se como um suporte eficaz ao ensino em função da possibilidade de construção dos protótipos com equipamentos disponíveis comercialmente, validado através da simulação.

O software atende os objetivos propostos, no caso analisado a metodologia mostrou-se eficiente, corrigindo a taxa de distorção harmônica de tensão e corrente em torno de 60% para níveis aceitáveis de acordo com as normas vigentes.

Como sugestão para trabalhos futuros estão a implementação e sintonia de novas topologias de filtros e a emissão de um relatório pro usuário sobre a correção harmônica no sistema estudado.



Agradecimentos

Os autores deste projeto, agradecem ao CEFET-MG Unidade Leopoldina pelo suporte

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL. PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional 2010.

CHANG, J. M.; CHANG, W. N.; CHIANG S. J. Multilevel single-phase rectifier-inverter with cascaded connection of two three-arm converters. IEEE Proceedings: Electric Power Applications, v. 153, n. 5, p, 719-725, set. 2006.

INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. **IEEE Std 519:** Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems, 1992.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 61000-3-4:** Limitation of emission of harmonic currents in low-voltage power supply systems for equipment with rated current greater than 16A. – First edition, 1998.

JAIN SK; SINGH SN. Harmonics estimation in emerging power system: key issues and challenges. Electr Power Syst Res, 2011.

KHARLOV NN; BOROVNIKOV VS; USHAKOV VY; TARASOV EV; BULYGA LL. Calculation of steady non-sinusoidal modes and electric power losses in complex electrical networks. In: Proceedings of the 2016 IEEE International Power Electron. Motion Control Conference, IEEE, p. 336–41, 2016.

MALEKIAN K; GURLEK A; SCHUFFT W. Analysis and modeling of time-varying harmonics in frequency domain. In: Proceedings of the 9th International Conference Compat. Power Electron., Costa Da Caparica: IEEE, p. 43–48, 2015.

MOEED A; SALAM Z. A review of soft computing methods for harmonics elimination PWM for inverters in renewable energy conversion systems. Renew Sustain Energy Rev 2014.

SCHWANZ D; BOLLEN M; LARSSON A. A review of solutions for harmonic mitigation. 2016 In: Proceedings of the 17th International Conference Harmon. Qual. Power, IEEE, p. 30–5, 2016.

METHODOLOGY FOR TEACHING PASSIVE FILTERS IN ENGINEERING

Abstract: *Currently the quality of electric power is an increasingly relevant feature in power systems being investigated to mitigate problems arising. One of the solutions used this type of problem are the passive filters. Within the Control and Automation Engineering course passive filters represent a multidisciplinary approach in areas such as electronics, power*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





electronics, instrumentation and control. This work presents the development of a software to support the teaching of passive filters to be used to correct harmonic distortions, according to current norms, caused by the insertion of nonlinear loads in the energy network, which affect the Energy Quality. The proposed software performs the calculation of the passive filter parameters in the chosen topology, taking as input the harmonic distortion data of the analyzed load. The parameterization is done based on the suitability to the equipment available in the market. The validation of the algorithm was done by simulation and the THD level of the analyzed case was reduced by around 60%

Key-words: *Power quality, Harmonic distortions, Passive filters.*