

# PROJETO E IMPLEMENTAÇÃO DE FILTROS DE INTERFERÊNCIA ELETROMAGNÉTICA

**Everton Cocco Cancian**

Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Maria  
everton.cocco@gmail.com

**Fernando Beltrame**

Doutorando do curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Maria  
engbeltrame@gmail.com

**José Renes Pinheiro**

Professor do curso de Engenharia Elétrica – Universidade Federal de Santa Maria  
jrenes@gepoc.ufsm.br

**Resumo.** Este trabalho tem por objetivo apresentar uma metodologia de projeto de filtros de interferência eletromagnética conduzida. Realiza-se o projeto de um filtro topologia  $\pi$  balanceado, para uma fonte chaveada com elevada geração de ruído eletromagnético, tendo em vista a adequação desta às normas internacionais de regulamentação. Analisa-se inicialmente o nível de ruído gerado pelo equipamento, sem a utilização de nenhuma técnica de atenuação de interferência eletromagnética. A partir disto, utilizando uma metodologia específica de projeto, é desenvolvido o filtro. Resultados experimentais são apresentados de forma a validar o projeto realizado.

**Palavras-chave:** Filtro  $\pi$ . Fontes Chaveadas. Interferência Eletromagnética.

## 1. INTRODUÇÃO

A interferência eletromagnética (*Electromagnetic Interference* – EMI) se caracteriza por ser uma degradação no desempenho de um equipamento, devido a uma perturbação eletromagnética – campo ou onda – que é capaz de se propagar tanto no vácuo quanto por meios físicos. Pode ainda ser responsável por diversos problemas em equipamentos eletrônicos, dentre os quais podemos citar falhas entre dispositivos de comunicação, degradação de componentes eletrônicos, falhas de circuitos de controle, etc. (BELTRAME, 2009; REDL, 2001).

A preocupação com a EMI tornou-se mais evidente após a popularização de conversores comutados. Devido à presença de dispositivos semicondutores que trocam de estado muito rápido, isto é, produzem altas variações de tensão em determinados nós ( $dv/dt$ ), e altas variações de corrente em certos laços ( $di/dt$ ), consideráveis níveis de ruído eletromagnético são gerados (WANG, 2005). Com o objetivo de suprimir este ruído interferente, normas regulamentadoras que estabelecem limites para esta geração foram criadas.

Em aplicações de eletrônica de potência, onde os circuitos comutáveis são comuns, a norma internacional CISPR-22 é a mais aplicável, estabelecendo limitações tanto para o ruído de modo conduzido (150 kHz – 30 MHz), como também para o ruído de forma irradiada (30 MHz – 1 GHz). Logo, a Fig. 1 representa esta norma, referente aos limites impostos para as emissões conduzidas para aparelhos de classes A e B, destinados a uso em ambientes industriais e domésticos, respectivamente.

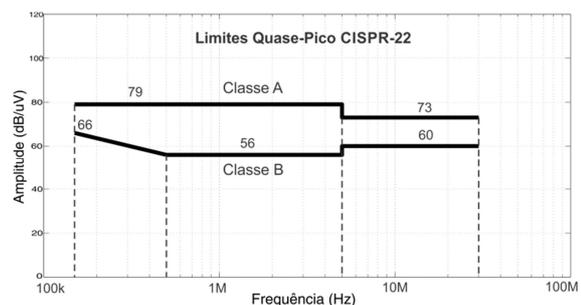


Figura 1 – Limites da norma CISPR-22.

A EMI conduzida, da qual trata este trabalho, constitui-se de dois ruídos, que diferem do modo como se propagam pelo circuito, sendo um o ruído de modo diferencial (*Differential Mode* – DM) e outro o ruído de modo comum (*Common Mode* – CM) (WANG, 2005). A corrente do ruído DM, Fig. 2, circula sobreposta à própria corrente de alimentação do equipamento nos terminais de entrada, com a única diferença de ter frequências superiores múltiplas da frequência de chaveamento utilizada pelo equipamento. A corrente de modo comum, por sua vez, utiliza o condutor de aterramento como meio de propagação, Fig. 3, e utiliza como principal caminho os elementos parasitas que existem ao longo de todo o circuito (WANG, 2005).

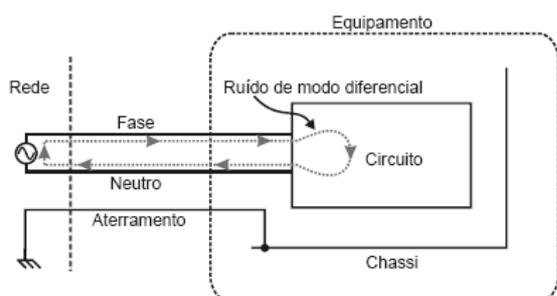


Figura 2 – Caminho de propagação do ruído de modo diferencial.

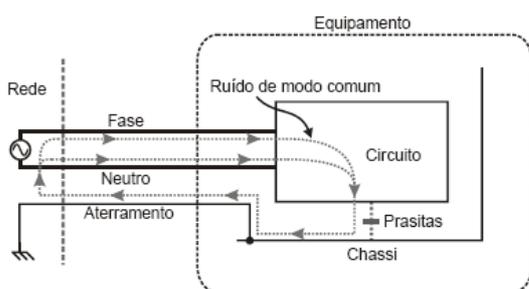


Figura 3 – Caminho de propagação do ruído de modo comum.

Sendo assim, para que os equipamentos respeitem os limites de emissão estabelecidos pelas normas, são necessárias aplicações de técnicas para supressão deste ruído. Dentre as técnicas comumente utilizadas, a mais eficiente é o uso de filtros.

As topologias de filtros variam conforme a necessidade de atenuação, mas

basicamente todos podem ser projetados a partir de um circuito equivalente para o ruído de modo diferencial, e outro para o modo comum. Para o correto projeto destes filtros equivalentes, é fundamental que se tenha de forma separada os espectros harmônicos de cada um dos ruídos (DM e CM). Logo, este trabalho irá apresentar uma metodologia para projeto de filtros de EMI, na qual são utilizados separadores de ruído (em inglês chamados *power combiners*) para obtenção dos ruídos de modo diferencial e comum. Resultados experimentais do filtro projetado são apresentados, para uma fonte chaveada operando em 250 W.

## 2. DESCRIÇÃO DO FILTRO

A topologia de filtro mais utilizada para redução de EMI conduzida é a  $\pi$  balanceado, conforme ilustrado na Fig. 4. Esta é uma topologia que apresenta elevada eficiência, pois age simultaneamente tanto nos ruídos DM como CM, além de ser relativamente compacto, pois utiliza apenas um único núcleo magnético ao qual estão presentes dois indutores acoplados.

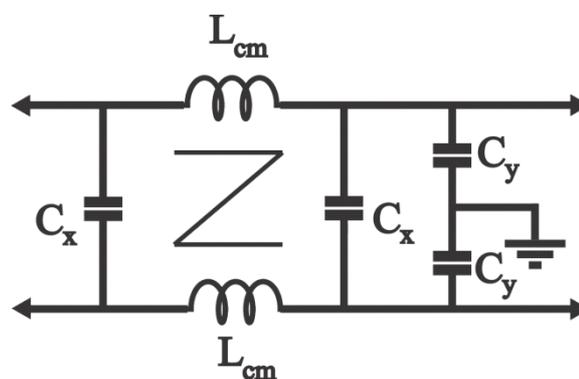


Figura 4 – Filtro topologia  $\pi$  balanceado.

A partir deste filtro, derivam-se os seus circuitos equivalentes conforme cada tipo de ruído conduzido. Por definição, cada componente passivo proporciona uma atenuação de  $20 \text{ dB/dec}$  a partir de sua frequência de corte, ou seja, uma atenuação de 10 vezes no ruído para cada múltiplo de 10 da frequência (FU-YUAN, 1996).

## 2.1 Filtro Equivalente Modo Diferencial

A Fig. 5 representa os componentes que agem sobre o ruído DM, que são os capacitores  $C_x$  e a indutância de dispersão ( $L_{dm}$ ) resultante dos indutores acoplados de modo comum ( $L_{cm}$ ). A fonte de ruído é representada por uma fonte de corrente visto que é desta maneira que o mesmo se propaga.

Analisando o circuito é possível notar que como o filtro é de terceira ordem, a atenuação resultante é de  $60 \text{ dB/dec}$ . O resistor LISN (*Line Impedance Stabilization Network*) ilustrado nas figuras 5 e 6 representa a impedância padrão de  $50 \Omega$ , conforme a norma CISPR-16, sobre a qual o equipamento analisador mede a queda de tensão causada pelo ruído.

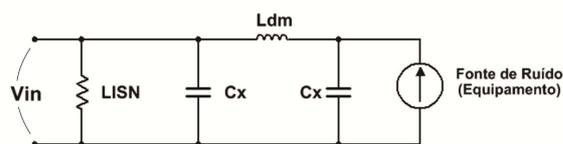


Figura 5 – Filtro equivalente modo diferencial.

## 2.2 Filtro Equivalente Modo Comum

Para o ruído de modo comum, o circuito equivalente derivado do filtro  $\pi$  é o representado na Fig. 6. Como este ruído propaga-se para o equipamento por ambos os condutores de alimentação simultaneamente, os elementos passivos que o atuam são os indutores  $L_{cm}$  e os capacitores  $C_y$ . Assim, sendo este filtro de segunda ordem, proporciona uma atenuação de  $40 \text{ dB/dec}$ .

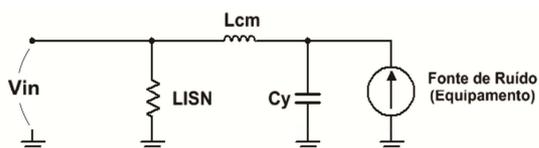


Figura 6 – Filtro equivalente modo comum.

## 3. METODOLOGIA DE PROJETO

A primeira etapa para projetar-se um filtro de EMI é medir a interferência eletromagnética gerada pelo equipamento,

sem a aplicação de nenhuma técnica de supressão de ruído eletromagnético. Assim, obtêm-se os espectros harmônicos dos ruídos de modo comum e diferencial, com a utilização de separadores de ruído.

A etapa seguinte é detectar o harmônico crítico dos espectros. Esse harmônico é o primeiro abrangido pela faixa de frequência dos limites da norma ( $150 \text{ kHz} - 30 \text{ MHz}$ ), e sendo assim, sua amplitude é a de pior caso. A partir do pico do harmônico crítico, traça-se uma reta em direção à origem, com inclinação determinada pela ordem do filtro. Também é feita outra reta, sendo esta a prolongação da norma a partir da frequência do harmônico crítico, paralelamente ao eixo cartesiano X. Assim, uma vez que se tenham estas duas retas traçadas no espectro harmônico, a frequência de corte do filtro será exatamente a intersecção entre elas, como mostra a Fig. 7 (WANG, 2005).

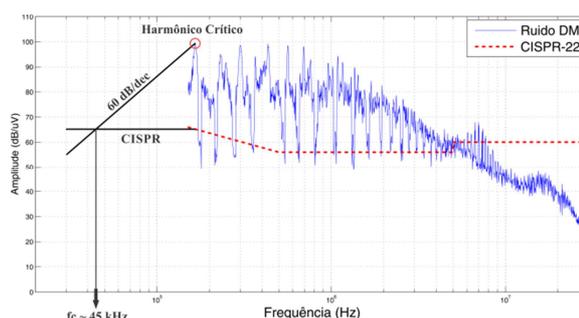


Figura 7 – Determinação frequência de corte filtro DM.

Em termos matemáticos, o valor exato da frequência de corte pode ser calculado a partir da Eq. (1).

$$f_c = X_2 \cdot 10^{\left(\frac{Y_1 - Y_2}{a}\right)} \quad (1)$$

Onde:

$f_c$  - Frequência de corte (Hz);

$a$  - Atenuação do filtro ( $\text{dB/dec}$ );

$Y_2$  - Amplitude harmônico crítico ( $\text{dB}/\mu\text{V}$ );

$Y_1$  - Norma ( $\text{dB}/\mu\text{V}$ );

$X_2$  - Frequência harmônico crítico (Hz).

Após o cálculo das frequências de corte dos filtros DM e CM, é possível então determinar o valor dos componentes passivos, a partir das Eq. (2) e (3).

$$L_{cm} = \left( \frac{1}{2\pi \cdot fc_{cm}} \right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot C_y} \quad (2)$$

$$C_x = \left( \frac{1}{2\pi \cdot fc_{dm}} \right)^2 \cdot \frac{1}{L_{dm}} \quad (3)$$

Onde:

$L_{cm}$  - Indutância modo comum (H);

$fc_{cm}$  - Frequência de corte modo comum (Hz);

$C_y$  - Capacitor modo comum (F);

$L_{dm}$  - Indutância modo diferencial (H);

$fc_{dm}$  - Frequência de corte modo diferencial (Hz);

$C_x$  - Capacitor modo diferencial (F).

Inicialmente é estipulado um valor para os capacitores  $C_y$ , da ordem de alguns nF. Com isso, é possível determinar a indutância  $L_{cm}$ . Logo que estejam confeccionados os indutores acoplados de modo comum, mede-se sua dispersão magnética ( $L_{dm}$ ). Por fim, é possível então determinar o valor dos capacitores de modo diferencial.

A Fig. 8 apresenta o resultado experimental obtido do filtro  $\pi$  projetado, sendo o equipamento utilizado para os ensaios uma fonte chaveada operando em 250 W.

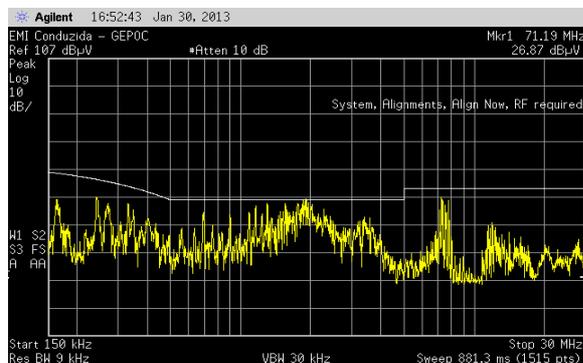


Figura 8 – Resultado experimental filtro projetado.

## 4. CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma metodologia para projeto de filtros de interferência eletromagnética conduzida. A partir dos resultados experimentais obtidos, verifica-se a eficácia da topologia de filtro apresentada, uma vez que alia baixo custo, reduzido volume e elevada eficiência, proporcionando total conformidade da fonte chaveada com a norma regulamentadora internacional CISPR-22.

## 5. REFERÊNCIAS

BELTRAME, F. **Análise comparativa de conversores monofásicos aplicados à correção de fator de potência.** Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Elétrica) – Departamento de Processamento de Energia Elétrica, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, 2009.

REDL, R. Electromagnetic Environmental Impact of Power Electronics Equipment, IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 89, pp. 926-938, 2001.

WANG, S. **Characterization and Cancellation of High-Frequency Parasitics for EMI Filters and Noise Separators in Power Electronics Applications.** Dissertation Doctor of Philosophy, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg - EUA, May 2005.

GUO, T.; CHEN, D. Y.; LEE, F. C. Separation of Common-Mode and Differential-Mode Conducted EMI Noise, IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 11, No. 3, May 1996.

FU-YUAN, S.; CHEN, D. Y.; YAN-PEI, W.; YIE-TONE, C. A procedure for Designing EMI Filters for AC Line Applications. IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 11, 1996.