

Análise Experimental das Impedâncias Características dos Filtros Eletromagnéticos de Seqüência Zero

L. C. O. de Oliveira, L. L. Ravagnani, R. N. de Oliveira, J. C. de Oliveira e F. N. Belchior

Resumo – Este artigo apresenta novas contribuições no campo da análise e desenvolvimento de dispositivos mitigadores de distorções harmônicas. Dentre as soluções classicamente conhecidas como filtros passivos, destacam-se os chamados filtros eletromagnéticos, os quais tem merecido especial atenção devido ao baixo custo de implantação e robustez. Neste contexto, apresentam-se os resultados relacionados com estudos experimentais, envolvendo o comportamento das impedâncias seqüenciais de filtros eletromagnéticos de seqüência zero. Os ensaios foram realizados em um protótipo de baixa potência, 1kVA / 220V e a análise crítica dos resultados obtidos fornece importantes subsídios para o dimensionamento e projeto destes equipamentos.

Palavras-Chaves - filtros passivos, filtros eletromagnéticos harmônicas, supressores de harmônicas.

I. INTRODUÇÃO

OS equipamentos eletromagnéticos têm se apresentado ao longo do tempo como uma alternativa muito promissora em esquemas de filtragem de harmônicos, tanto para uso individual ou como dispositivo auxiliar em sistemas híbridos [1]-[4]. Estes dispositivos baseiam-se exclusivamente no uso de arranjos eletromagnéticos e dispensam o emprego de capacitores ou outros recursos classicamente empregados nos chamados filtros sintonizados. Este fato constitui a razão fundamental que os torna economicamente atrativos e, via de regra, proporcionam uma solução mais robusta para os esquemas de filtragem harmônica [5].

Desta forma, destacam-se as duas principais vertentes na concepção destes dispositivos. A primeira e mais difundida refere-se aos equipamentos cujo princípio operacional está ligado a uma forma específica de conexão de seis bobinas, que promovem a minimização da impedância característica de seqüência zero [5]. Como se sabe, os harmônicos “triplens” possuem uma forte concentração em seqüência zero [4] e,

desta forma, o equipamento citado apresenta uma interessante funcionalidade como filtro.

Outra vertente, ainda embrionária, está relacionada com a utilização de dispositivos eletromagnéticos como compensadores de harmônicos. Esta funcionalidade pode ser obtida tomando-se por base o controle do nível de saturação magnética no sentido de modular amplitudes e respectivos ângulos de fase de determinadas componentes harmônicas, notadamente a 5ª e 7ª [5], [6]. Assim, quando opera em paralelo com outras fontes geradoras de correntes, harmônicos compostos podem ser substancialmente reduzidos.

Sob o ponto de vista do dimensionamento destes dispositivos, é imprescindível que sejam investigadas, de forma mais detalhada, suas principais características operacionais, visando estabelecer procedimentos de projeto que venham a maximizar a funcionalidade desejada.

Este trabalho está particularmente direcionado para análise do filtro eletromagnético de seqüência zero. Objetivando, portanto, uma melhor interpretação dos fenômenos eletromagnéticos envolvidos e do comportamento das impedâncias seqüenciais, apresenta-se importantes contribuições nos campos teórico e experimental.

II. CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

O arranjo eletromagnético utilizado na concepção dos filtros eletromagnéticos de seqüência zero é ilustrado na Fig. 1(a). É constituído, fundamentalmente, por duas bobinas idênticas, denominadas principal e auxiliar, dispostas sobre uma mesma coluna do núcleo magnético. A associação série é composta pela bobina principal, conectada diretamente a uma das fases do sistema alimentador, e em contra-fase a uma bobina auxiliar de outro ramo magnético do núcleo. A interligação trifásica do conjunto de bobinas é efetuada no sentido de compor um sistema trifásico em estrela aterrada [6].

Normalmente, por razões econômicas, é comum a utilização de núcleos magnéticos trifásicos [7]. Este procedimento implica em acoplamentos mútuos entre todas as bobinas que compõem o arranjo magnético, refletindo diretamente em uma maior complexidade do modelo matemático. Neste trabalho, o modelo teórico proposto não tem objetivos quantitativos e será utilizado apenas para identificar os principais aspectos que regem a funcionalidade

Agradecimento à CAPES pela bolsa de doutoramento no programa de Pós-Graduação da FEIS-UNESP.

L. C. O. Oliveira é docente na Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, SP (e-mail: origa@dee.feis.unesp.br).

L. L. Ravagnani, R. N. de Oliveira são discentes da FEIS – UNESP.

J. C. Oliveira é docente da Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica (e-mail: jcoliveira@ufu.br).

F. N. Belchior é docente da Universidade Federal de Itajubá, Grupo de Estudos em Qualidade da Energia Elétrica (e-mail: fnbelchior@unifei.edu.br).

do dispositivo eletromagnético como filtro de componentes de seqüência zero. Algumas simplificações serão adotadas com o objetivo qualitativo de estabelecer alguns procedimentos construtivos que maximizem a funcionalidade desejada [8].

Algumas simplificações estão diretamente associadas à similaridade construtiva dos enrolamentos, simetrias do núcleo e linearidade do meio magnético. Entretanto, é oportuno destacar que, mesmo se admitindo condições construtivas idealizadas, a geometria planar do núcleo de três colunas ainda implica em um desequilíbrio intrínseco para algumas indutâncias mútuas [8]. Neste sentido, qualquer simplificação adicional introduz aproximações do modelo matemático, mas ainda atende os propósitos deste trabalho.

Considerando-se, portanto, as indutâncias próprias idênticas, de valor L , as indutâncias mútuas entre bobinas de uma mesma coluna idênticas, L_m , e as indutâncias mútuas entre bobinas de colunas distintas idênticas, M , as equações teóricas que regem o funcionamento deste dispositivo podem ser obtidas a partir do diagrama elétrico equivalente ilustrado na Fig. 1 (b).

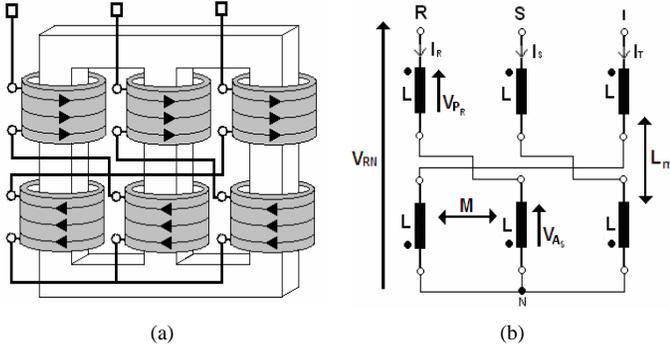


Fig. 1. Arranjo eletromagnético.

Nestas condições, as tensões fase-neutro compostas para as diferentes fases são idênticas. Particularmente, no domínio da frequência, a tensão entre a fase R e o neutro, para a h -ésima ordem harmônica é genericamente dada por (1).

$$\dot{V}_{RN_h} = \dot{V}_{P_{Rh}} + \dot{V}_{A_{Sh}} \quad (1)$$

Para as correntes de alimentação contendo apenas componentes de seqüência positiva de ordem harmônica h , tem-se (2).

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{R_h} \\ \dot{I}_{S_h} \\ \dot{I}_{T_h} \end{bmatrix} = \dot{I}_h \begin{bmatrix} 1 \\ \alpha^2 \\ \alpha \end{bmatrix} \quad (2)$$

Sendo: $\alpha = 1 \angle 120^\circ$.

Combinando-se (1) e (2), obtêm-se as tensões de seqüências positiva, em função das indutâncias próprias e mútuas do dispositivo eletromagnético. Resultados similares são obtidos para as componentes de seqüência negativa, uma vez que se trata de um equipamento estático, (3).

$$V_h^{1,2} = j\omega h \cdot [2L + L_m - 3M] \cdot I_h^{1,2} \quad (3)$$

Admitindo-se agora correntes de alimentação contendo apenas componentes de seqüência zero de ordem harmônica h , tem-se:

$$\begin{bmatrix} \dot{I}_{R_h} \\ \dot{I}_{S_h} \\ \dot{I}_{T_h} \end{bmatrix} = \dot{I}_h \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Combinando-se (1) e (4), obtêm-se as tensões de seqüências zero, em função das indutâncias próprias e mútuas do dispositivo eletromagnético (5).

$$V_h^0 = 2j\omega h \cdot [L - L_m] \cdot I_h^0 \quad (5)$$

Considerando-se os fatores de acoplamento entre bobinas dados por (6) e (7), e combinando-se com (3) e (5), obtêm-se (8) e (9).

$$L_m = k_i \cdot L \quad (6)$$

$$M = k_e \cdot L \quad (7)$$

$$V_h^{1,2} = j\omega h \cdot [2 + k_i - 3k_e] \cdot I_h^{1,2} \quad (8)$$

$$V_h^0 = 2j\omega h \cdot [1 - k_i] \cdot I_h^0 \quad (9)$$

Estas expressões, ainda que tenham sido obtidas a partir das condições simplificadoras citadas anteriormente, ilustram claramente os princípios operacionais do dispositivo como filtro de seqüência zero. Particularmente, por (9), é possível concluir que, independente da ordem harmônica das correntes, a indutância equivalente para a seqüência zero pode resultar nula, quando o fator de acoplamento magnético k_i entre as bobinas de uma mesma coluna magnética for unitário.

III. DETALHES CONSTRUTIVOS

Visando estabelecer diretrizes para o projeto destes dispositivos, é imperativo que seja investigada, sob um ponto de vista mais realista, a dependência da indutância de seqüência zero com alguns fatores construtivos.

Baseado no modelo teórico simplificado apresentado no item anterior verifica-se que a indutância equivalente de seqüência zero tende a um valor mínimo na medida em que as bobinas principal e auxiliar sejam similares, sob o ponto de vista das suas indutâncias próprias e que o acoplamento magnético entre as mesmas se aproxime do ideal.

No que se refere a similaridade das indutâncias próprias é importante que o dispositivo opere na região linear do meio magnético, no sentido de minimizar os efeitos diferenciados da saturação magnética em função da disposição física das bobinas no núcleo magnético planar. Do ponto de vista do dimensionamento e projeto é, portanto, recomendável a fixação de uma densidade de fluxo máxima abaixo do nível de saturação do material ferromagnético a ser utilizado.

As premissas estabelecidas para o dimensionamento do protótipo são:

- potência nominal: 1 [kVA];

- tensão nominal: 220 [V], 60 [Hz];
- densidade de fluxo máxima: 11000 [G];
- núcleo magnético: chapas de aço-silício;
- arranjo magnético: três colunas (*core type*);
- enrolamentos: duas bobinas por coluna magnética.

O procedimento para projeto das bobinas e da secção transversal do núcleo segue o roteiro estabelecido em [7]. É importante destacar que, para garantir o limite máximo adotado da densidade de fluxo, deve-se considerar a tensão equivalente composta pelas bobinas principal e auxiliar de cada coluna do circuito magnético, [8], as quais são alimentadas por diferentes fases, Fig. 1. Nestas condições, foram obtidas as seguintes especificações básicas:

- bobinas: 237 espiras / fio 20 [AWG];
- seção transversal do núcleo: 18 [cm²];
- lâminas de aço-silício padrão E, I: 6HS-400 TFE.

Sob o ponto de vista construtivo, a otimização da funcionalidade do dispositivo eletromagnético como filtro para correntes de seqüência zero depende, principalmente, da maximização do acoplamento magnético entre as bobinas principal e auxiliar de um mesmo braço magnético. Visando obter o melhor acoplamento possível na montagem das bobinas, além da adoção de enrolamentos concêntricos, utilizou-se ainda uma técnica construtiva especial onde cada espira é composta pelos condutores de cada um dos enrolamentos justapostos, como sugere a Fig. 2.

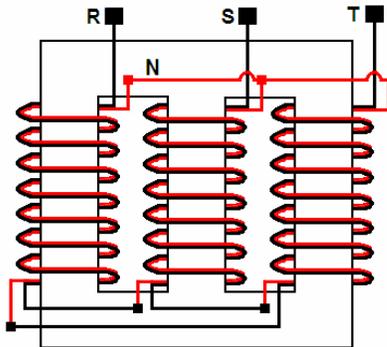


Fig. 2. Detalhes da montagem dos enrolamentos.

Por outro lado, no que se refere às indutâncias equivalentes de seqüências positiva e negativa, é desejável que as mesmas sejam maximizadas para que a interferência do filtro no sistema seja mínima. Por se tratar de um componente intrinsecamente indutivo, o fator preponderante neste aspecto refere-se à manutenção do fator de potência do sistema próximo ao seu valor original após a instalação do filtro. Afortunadamente, como visto em (3), as impedâncias equivalentes do filtro para seqüências positiva e negativa normalmente apresentam altos valores e ainda crescem com o aumento da freqüência.

IV. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Com o objetivo de investigar o comportamento das impedâncias seqüenciais do filtro eletromagnético, bem como

o nível de acoplamento obtido, implementou-se o arranjo experimental ilustrado na Fig. 3. Utilizou-se uma fonte de alimentação trifásica programável em conjunto com um gerador de harmônicos, a partir dos quais foi possível definir as amplitudes, ângulos de fase e freqüência para cada uma das tensões fase-neutro, de forma independente. Um sistema de aquisição de dados foi utilizado para captar as formas de onda das tensões e correntes de alimentação, o qual foi previamente calibrado tomando-se como referência os sinais captados em um equipamento padrão. Foi também utilizada na montagem, uma resistência auxiliar para controlar o nível de corrente, uma vez que todas as tensões de excitação foram fixadas na amplitude nominal de projeto do dispositivo eletromagnético. As especificações básicas dos principais equipamentos são:

- fonte: *California Instruments*- 6000L/6 [kVA];
- gerador de harmônicos: *California Instruments* 3HGA;
- aquisição de dados: *DaqBook100*, 12 [bits], 100 [kHz];
- processamento de sinais : *DasyLab* 4;
- calibração : Osciloscópio *Tektronix* TDS340/100 [Mhz].

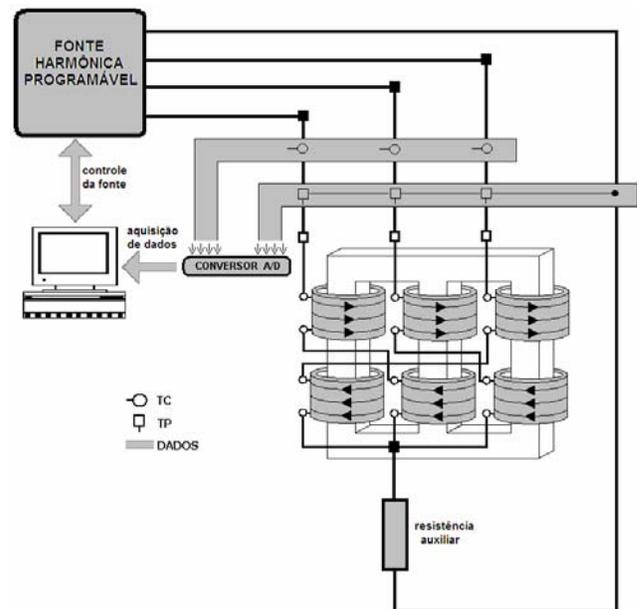


Fig. 3. Arranjo experimental.

A Fig. 4 (a) ilustra a foto da fonte de alimentação e do gerador de harmônicos. Na Fig. 4 (b) tem-se a foto do experimento montado, onde se pode identificar o filtro projetado, o resistor auxiliar, os transdutores de corrente e os terminais da fonte de alimentação.

O experimento foi realizado aplicando-se inicialmente sobre o dispositivo eletromagnético uma tensão controlada de seqüência zero para diferentes freqüências harmônicas. Para cada ordem harmônica investigada, foi realizada uma série de dez medições consecutivas nas três fases e em seguida as médias entre as medidas e entre as fases foram calculadas. Os resultados obtidos estão ilustrados na Fig. 5 e mostram o comportamento da impedância de seqüência zero em função das ordens harmônicas investigadas.

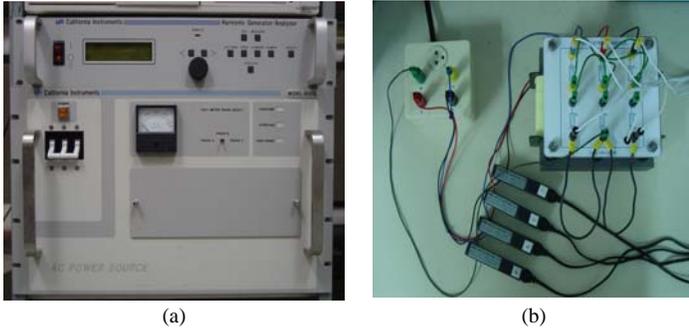


Fig. 4. Fotos do arranjo experimental.

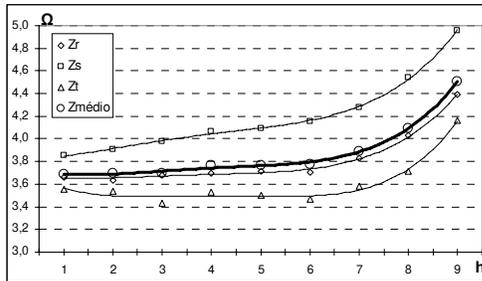


Fig. 5. Variação da impedância de seqüência zero.

Observa-se pela curva de tendência uma característica crescente com o aumento da frequência. Um aspecto importante observado no experimento é a defasagem desprezível entre tensões e respectivas correntes. Este fato permite concluir que o valor da impedância corresponde praticamente à parcela resistiva das bobinas na associação série de cada fase. Baseado em (5), este fato confirma o bom acoplamento entre as bobinas principal e auxiliar de uma mesma coluna magnética. Por outro lado, é também razoável admitir que, nestas condições, a variação da impedância com a frequência se deve principalmente aos efeitos pelicular e de proximidade sobre o valor das resistências dos enrolamentos.

Em seguida, foi realizado um novo experimento, aplicando-se agora sobre o filtro eletromagnético, tensões controladas de seqüência positiva ou negativa para diferentes frequências harmônicas. Como previsto teoricamente, conforme (3), as impedâncias de seqüência positiva e negativa apresentam valores substancialmente maiores que as impedâncias de seqüência zero, salientando-se ainda que, neste caso, a variação com a frequência incorpora também os efeitos indutivos, como pode ser visto na Fig. 6.

Finalmente, a partir dos dados obtidos nas medições efetuadas, foi possível estabelecer-se uma comparação entre o comportamento da impedância de seqüência positiva e a de seqüência zero, conforme ilustra a Fig. 7. Pode-se constatar que a 60 [Hz] as impedâncias de seqüência positiva e zero se relacionam na razão de 1000. Observa-se também que esta relação aumenta com frequência, chegando a 2300 vezes para a 10ª ordem harmônica. Esta característica garante a eficácia do filtro de seqüência zero projetado, na medida em que atende simultaneamente os principais requisitos pré-estabelecidos, quais sejam, de apresentar uma baixa impedância para as correntes de seqüência zero e mínima interferência sobre o comportamento do sistema sob condições equilibradas na frequência fundamental.

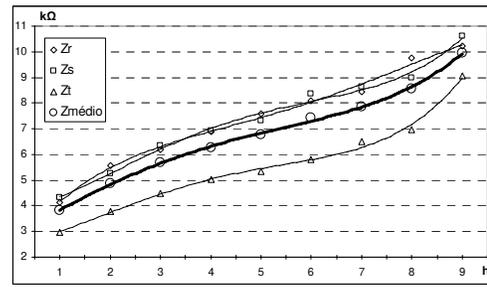


Fig. 6. Variação das impedâncias de seqüência positiva/negativa.

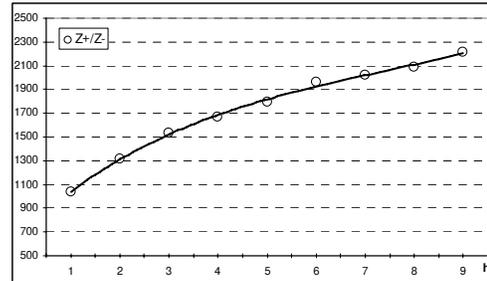


Fig. 7. Variação da relação das impedâncias de seqüências.

V. DESEMPENHO OPERACIONAL COMO FILTRO

A atuação do dispositivo como filtro de harmônicos é investigado neste item. Para isto, alimenta-se uma carga não-linear constituída por três retificadores monofásicos de onda completa tipo ponte, com filtro capacitivo. Este tipo de carga foi escolhido por representar a maioria das fontes de alimentação das principais cargas residenciais e comerciais e por apresentar um conteúdo característico com altas amplitudes de harmônicos “triplens”. O arranjo experimental utilizado é ilustrado na Fig. 8.

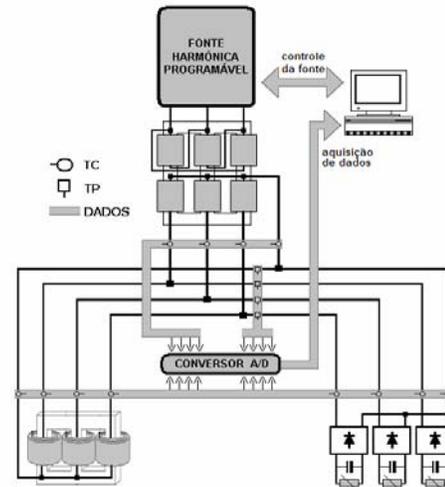


Fig. 8. Arranjo experimental.

Neste ensaio, a fonte de alimentação programável descrita anteriormente foi novamente utilizada, agora no sentido de garantir a integridade do experimento quanto à influência da distorção harmônica do sistema de alimentação da concessionária. O sistema de tensão trifásico definido pela fonte de alimentação é praticamente ideal, com distorções abaixo de 0,1% e desequilíbrios inferiores a 0,05%. Desta forma, é possível admitir a carga não-linear como sendo

praticamente a única fonte geradora de harmônicos do sistema.

Como se sabe [5], o processo de filtragem está baseado em um divisor de corrente, como ilustrado na Fig. 8. Portanto, a eficácia do sistema de filtragem está diretamente associada à relação das impedâncias do sistema de suprimento e do filtro. Objetivando, pois, uma melhor visualização da atuação do dispositivo de filtragem, um transformador de potência nominal de 3 [kVA] foi utilizado para adequar o nível de curto circuito do barramento da fonte de alimentação a valores compatíveis com a demanda da carga utilizada.

A Fig. 9 ilustra as correntes trifásicas na carga, bem como os respectivos espectros harmônicos. Verifica-se que mesmo com a utilização da fonte de alimentação programável, persistem pequenos desequilíbrios entre os harmônicos gerados em cada uma das fases, o que induz ao aparecimento de resíduos destes em componentes seqüenciais não previstos pela teoria clássica [2]. Estes podem ser atribuídos a assimetrias entre as impedâncias do filtro, da carga e do transformador, as quais não apenas afetam a distribuição seqüencial dos harmônicos característicos, mas também promovem o aparecimento de outras ordens harmônicas adicionais. Outro aspecto relevante neste contexto está relacionado com a deterioração da qualidade da tensão de alimentação. Uma vez constatada a origem dos mesmos é possível ainda encaminhar as análises do comportamento dos harmônicos no contexto seqüencial, sem prejuízos das conclusões, sobretudo sob o ponto de vista qualitativo.

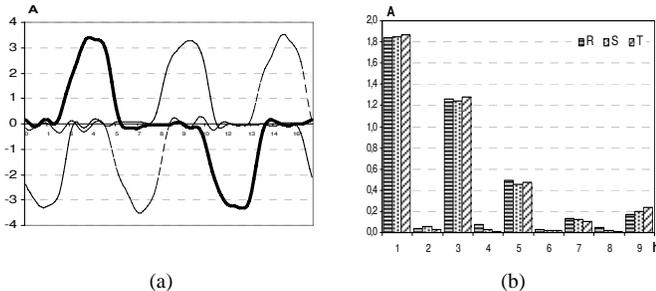


Fig. 9. Forma de onda e espectro harmônico da corrente na carga.

Objetivando uma análise sob o ponto de vista das componentes seqüenciais, optou-se pela representação de apenas uma das fases seguida do espectro harmônico das componentes seqüências. A Fig. 10 (a) ilustra as formas de onda da tensão e da corrente na fase R da carga e a Fig. 10 (b) o espectro harmônico das correntes. Observa-se que, para as condições operacionais impostas, os valores RMS e DHT obtidos foram 1,6 [A] e 75,2%, respectivamente.

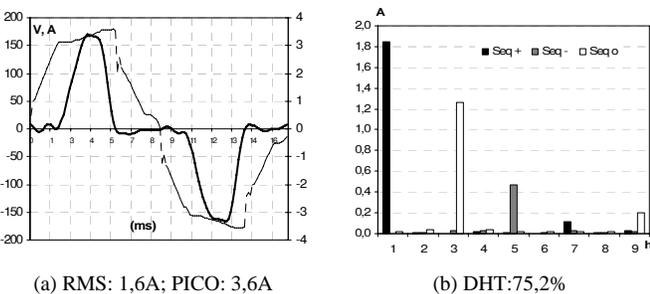


Fig. 10. Formas de onda e espectro harmônico na carga.

Como complementação, apresenta-se também, Fig. 11, a tensão resultante no barramento de alimentação sob a ação do filtro.

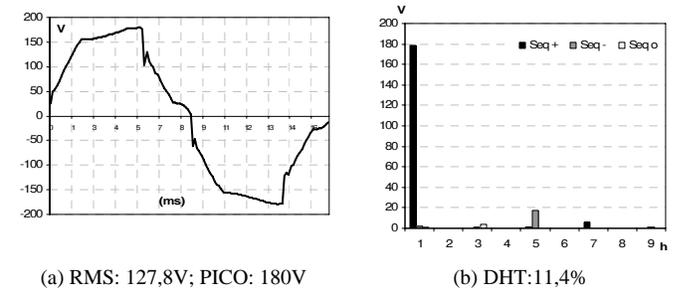


Fig. 11. Forma de onda e espectro harmônico da tensão de alimentação.

A corrente absorvida pelo filtro eletromagnético é ilustrada na Fig. 12. Os valores RMS e de pico são 0,8[A] e 1,4[A], respectivamente.

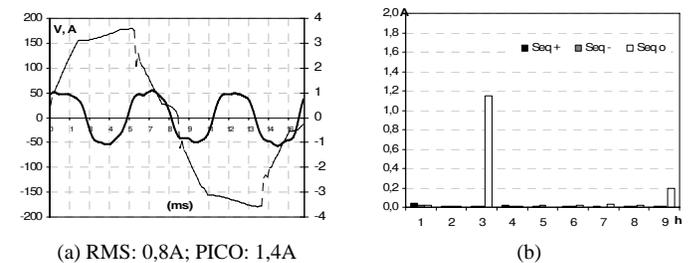


Fig. 12. Formas de onda e espectro harmônico no filtro.

Como esperado, a corrente pelo filtro é praticamente constituída pela terceira harmônica, a qual, nas condições de simetria preconizadas, possui apenas componentes de seqüência zero.

Sob a ação do filtro eletromagnético, a distorção harmônica total da corrente no barramento do transformador fica substancialmente reduzida, Fig. 13, ou seja, de 75,2% para 29,5%. Como pode ser observado, tal fato se deve exclusivamente à acentuada atenuação das componentes harmônicas “triplens”, notadamente a terceira e a nona, que sofreram reduções de 81% e 100%, respectivamente. Naturalmente, a distorção harmônica remanescente se deve às demais componentes que possuem seqüências de fase positiva ou negativa.

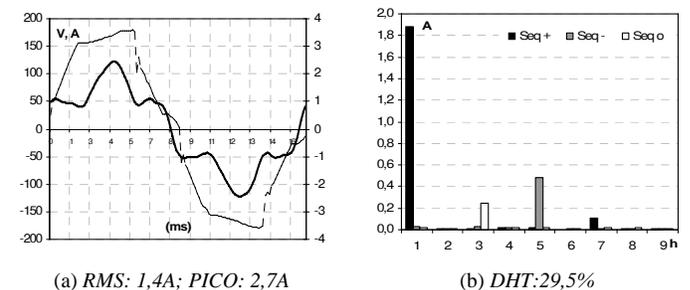


Fig. 13. Forma de onda e espectro harmônico da corrente de alimentação.

O desempenho do dispositivo eletromagnético como filtro de seqüência zero pode ser considerado satisfatório uma vez que, cerca de 90% da corrente de terceira harmônica foi desviada pelo filtro. Por outro lado, no que se refere às componentes de seqüências positiva e negativa, verifica-se uma interferência desprezível do filtro. Este fato permite

concluir que, apesar de ser um dispositivo com característica indutiva, o mesmo praticamente não altera as amplitudes destas correntes e tampouco o fator de potência global visto pela fonte.

VI. CONCLUSÕES

Os equipamentos eletromagnéticos têm sido uma alternativa muito promissora em esquemas de filtragem de correntes harmônicas e sua forma de uso mais comum está ligada a minimização da impedância característica de seqüência zero.

Visando estabelecer procedimentos e orientação de projeto, foram investigadas suas principais características operacionais, no sentido de maximizar a funcionalidade desejada. Neste contexto, foi construído um protótipo de baixa potência a partir do qual foi investigado o comportamento das suas impedâncias seqüenciais equivalentes.

Constatou-se uma tendência crescente da impedância de seqüência zero com o aumento da freqüência. Neste caso, destaca-se que a otimização do acoplamento magnético entre bobinas de uma mesma coluna, obtida através do processo construtivo recomendado, propiciou uma característica praticamente resistiva para esta impedância. A variação da mesma com a freqüência se deve, portanto, aos efeitos pelicular e de proximidade sobre o valor das resistências dos enrolamentos.

Como previsto teoricamente, as impedâncias de seqüência positiva e negativa apresentaram valores substancialmente maiores que as impedâncias de seqüência zero. Neste caso é importante destacar que a variação das impedâncias com a freqüência incorpora também os efeitos indutivos.

O desempenho do dispositivo eletromagnético como filtro harmônico foi também investigado experimentalmente. Os resultados demonstraram sua eficácia, na filtragem de harmônicas “triplens”, frequentemente citadas em trabalhos similares como tendo forte concentração de seqüência zero. Por outro lado, constatou-se também a interferência desprezível do dispositivo para as demais componentes seqüenciais. Particularmente, no protótipo utilizado neste trabalho, a relação entre as componentes de seqüências positiva e zero situa-se entre 1000 a 2300 vezes maior para a faixa de freqüência investigada.

VII. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. C. Das, “Passive Filters – Potentialities and Limitations”, *IEEE Trans. on Industry Applications*, vol. 40, n° 1, Jan-Feb. 2004.
- [2] F.Z. Peng and D. J. Adams, “Harmonics Sources and Filtering Approaches”.
- [3] L. C. O. de Oliveira e L. L. Ravagnani, “Alocação de Reativos em sistemas de filtragem Passiva”. *VI SBQEE – VI Seminário Brasileiro de Qualidade da Energia Elétrica*. Belém, Pará, agosto 2005.
- [4] L. L. Ravagnani, “Dimensionamento Otimizado de Filtros Passivos”, Dissertação de Mestrado, Departamento de Engenharia Elétrica, FEIS - UNESP, 2005.
- [5] F. N. Belchior, J. F. V. Ferreira, J. C. Oliveira, V. A. Bernardes e L. C. O. Oliveira, “Zero Sequence Electromagnetic Filter Performance with Non Ideal Conditions”. *IEEE-PES-ICHQP - 12th International Conference on Harmonics and Quality of Power*, Cascais, Portugal, October 2006.

[6] F. N. Belchior, “Uma Nova Abordagem À Filtragem de Harmônicas Através de Dispositivos Eletromagnéticos” Tese de Doutorado, UFU, 2006.

[7] A. Martignoni, “Transformadores” – Editora Globo – 8. edição.

[8] L. L. Ravagnani, “Dimensionamento de Filtro Eletromagnético de Seqüência Zero e Ensaios Experimentais” - Estudos Especiais realizados junto ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica, da FEIS – UNESP, 2007.

VIII. BIOGRAFIAS



Luis C. O. Oliveira nasceu em Mirassol - SP. Recebeu o grau de bacharel pela Faculdade de Engenharia de Lins, mestrado pela Universidade Federal de Itajubá-MG, e Doutorado pela UNICAMP Campinas-SP. Atualmente, é professor na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Ilha Solteira, SP. Ele tem ensinado e publicado em temas na área de Qualidade da Energia Elétrica.



Lidia L. Ravagnani nasceu em Andradina-SP. Recebeu o grau de bacharel pela Faculdade de Engenharia de Lins e mestre pela Universidade Estadual Paulista FEIS - UNESP, Ilha Solteira, SP. Atualmente encontra-se desenvolvendo seu doutorado junto ao programa de pós-graduação da FEIS-UNESP na área de Qualidade de Energia, em tema relacionado com aplicação de filtros híbridos.



Rodrigo N. de Oliveira nasceu em Araraquara. Atualmente é aluno do curso de graduação em Engenharia Elétrica da FEIS-UNESP, Ilha Solteira-SP. Atualmente encontra-se desenvolvendo seu trabalho de formatura no Laboratório de Qualidade de Energia da FEIS-UNESP, em tema relacionado com filtros ativos.



José C. Oliveira nasceu em Itajubá-MG. Recebeu o grau de bacharel e mestrado pela Universidade Federal de Itajubá - MG, e o grau de PhD pela Universidade de Manchester – Manchester - UK. Atualmente, é professor na Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG. Ele tem ensinado e publicado numa variedade de assuntos relacionados a sistemas de potência e qualidade da energia elétrica.



Fernando N. Belchior nasceu em Uberlândia-MG. Recebeu o grau de bacharel, mestrado e doutorado pela Universidade Federal de Uberlândia. É professor adjunto no Instituto de Sistemas Elétricos e Energia da Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, Brasil. Suas principais áreas de interesse: qualidade da energia elétrica, motores elétricos e medições elétricas.