

# UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA GERAÇÃO DA CORRENTE DE REFERÊNCIA DE COMPENSAÇÃO DE UM SISTEMA UPS LINE-INTERACTIVE MONOFÁSICO

RODRIGO BARRIVIERA<sup>1</sup>, SÉRGIO A. O. DA SILVA<sup>2</sup>, IVAN N. DA SILVA<sup>3</sup>, MARIO OLESKOVICZ<sup>3</sup>,  
RODRIGO AUGUSTO MODESTO<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Instituto Federal do Paraná – IFPR*  
PR466 - Gleba Pindaúva - Seção C - Parte 2 – CEP- 86870-000, Ivaiporã – PR, BRASIL, +55 (43) 3472-0763  
E-mail: rodrigo.barriviera@ifpr.edu.br

<sup>2</sup>*Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Departamento de Engenharia Elétrica*  
Av. Alberto Carazzai, 1640, CEP- 86.300-000, Cornélio Procópio-PR, BRASIL, +55-43-3520-4094  
E-mail: augus@utfpr.edu.br, rodrigomodesto@utfpr.edu.br

<sup>3</sup>*Universidade de São Paulo - USP*  
Escola de Engenharia de São Carlos, Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação, Av.  
Trabalhador São Carlense, 400, Centro, 13.566-590, São Carlos, SP, BRASIL  
E-mails: insilva@sc.usp.br, olesk@sc.usp.br

**Abstract** – This work presents a compensating strategy, based on artificial neural network, for generating the peak amplitude of the sinusoidal reference current used to control a single-phase line-interactive uninterruptible power supply system. The reference current is synthesized by the series PWM converter and controlled to be in phase with the utility grid voltage, performing an effective power factor correction. Thus, the compensation of the reactive power and the harmonic currents suppression of the load current are carried out. Simultaneously, the output voltage is also controlled to be in phase with the utility voltage. A phase-locked loop is used to generate the sinusoidal reference voltage, which is synthesized by the parallel PWM converter, providing to the load a regulated voltage with low harmonic contents. The performance of the compensating strategy using the multilayer perceptron artificial neural network with supervised training is implemented and tested by using computational simulation.

**Keywords** – Uninterruptible Power Supply (UPS), Active Power Filter, Artificial Neural Network, Quality Conditioner and Harmonics.

**Resumo** – Este trabalho apresenta uma estratégia de compensação, com base em rede neural artificial, para gerar a amplitude do pico da corrente de referência senoidal usada para controlar um sistema UPS (*Uninterruptible Power Supply*) *Line-Interactive* monofásico. A corrente de referência é sintetizada pelo conversor PWM série e controlado para estar em fase com a tensão da rede elétrica, realizando uma efetiva correção do fator de potência. Assim, a compensação da potência reativa e as correntes de supressão harmônica da corrente de carga são realizadas. Simultaneamente, a tensão de saída também é controlada para estar em fase com a tensão da rede elétrica. Um circuito PLL (*Phase-Locked Loop*) é utilizado para gerar a tensão de referência senoidal, que é sintetizada pelo conversor PWM paralelo, proporcionando à carga uma tensão regulada com baixo harmônico. O desempenho da estratégia de compensação usando a rede neural artificial perceptron multicamadas com treinamento supervisionado é implementado e testado utilizando simulação computacional.

**Palavras-chave** – Sistemas UPS, Filtro ativo de Potência, Redes Neurais Artificiais, Qualidade da Energia Elétrica e Harmônicos.

## 1 Introdução

Distúrbios na rede elétrica, tais como afundamentos e elevações de tensão e transientes causados por condições anormais de funcionamento do sistema elétrico têm ajudado a piorar a qualidade da energia elétrica (QEE) disponibilizada às cargas, e destas às críticas, tais como, computadores, controle de processos industriais, sistemas de controle de tráfego aéreo, equipamentos hospitalares, dentre outras. Além disso, harmônicos de corrente gerados por cargas não lineares, ao interagirem com a impedância do sistema, acarretam o aparecimento de harmônicos e quedas de tensão, afetando a QEE a outros usuários conectados ao mesmo ponto de acoplamento comum (PAC). Efeitos adicionais podem ser

notados pelo aquecimento excessivo de transformadores e motores, aumento de ruídos na frequência audível, dentre outros problemas.

Condicionadores de QEE, tais como filtros ativos de potência (FAP), condicionadores unificados de qualidade de energia (UPQC - *Unified Power Quality Conditioner*), e sistemas UPS (*Uninterruptible Power Supply*) têm sido empregados no intuito de melhorar a QEE nos sistemas elétricos (Monteiro et al., 2007; Abdusalam et al., 2009; Dixon et al., 1997; Fujita e Akagi, 1998; Aredes et al., 1998; Dias et al., 2011; Aredes e Fernandes, 2009; Silva et al., 2011; Silva et al., 2002; Jeon e Cho, 1997).

Normalmente, FAP série são usados para compensar distúrbios de tensão da rede elétrica, enquanto os FAP paralelos são empregados na compensação de correntes harmônicas e potência reativa (Monteiro et al., 2007; Abdusalam et al.,

2009; Dixon et al., 1997). No entanto, as filtragens ativas série e paralela podem ser realizadas simultaneamente por meio de UPQC (Fujita e Akagi, 1998; Aredes et al., 1998; Dias et al., 2011; Aredes e Fernandes, 2009; Silva et al., 2011), ou por alguns sistemas UPS, que além da filtragem oferecem proteção contra distúrbios da rede e energia ininterrupta às cargas críticas (Barriviera et al., 2012; Silva et al., 2011; Silva et al., 2002; Jeon e Cho, 1997).

No entanto, um UPQC dual pode ser implementado (Aredes e Fernandes, 2009; Silva et al., 2011), o qual é chamado de iUPQC e apresenta várias vantagens em sua operação (Dias et al., 2011). Na estratégia de controle do iUPQC, o conversor PWM opera como uma fonte de corrente senoidal, enquanto o conversor PWM paralelo opera como uma fonte de tensão senoidal.

Têm sido propostas na literatura várias técnicas para obtenção da corrente de referência de compensação do filtro ativo série, sendo um desses métodos, muito utilizado, o sistema de eixos de referência síncrona (SRF - *Synchronous Reference Frame*) (Liu et al., 1999; Silva et al., 2008b; Barriviera et al., 2012). Outros métodos podem ser utilizados para estimar o conteúdo harmônico do filtro ativo série como as Redes Neurais Artificiais (RNA) (Abdeslam et al., 2007; Nascimento et al., 2009; Nascimento et al., 2010; Naoussi et al., 2009).

É proposto neste trabalho um método baseado em RNA, como alternativa para obtenção das correntes de referência senoidal de compensação do filtro ativo série (FAS) monofásico, o qual a sua amplitude é necessariamente variável e deve ser controlada por uma malha adicional no barramento CC da UPS, conforme apresentando na Fig. 2. A utilização da referência senoidal gerada a partir de um sistema PLL aplicado no filtro ativo paralelo poderá ter sua amplitude fixa.

A RNA tem como objetivo estimar o valor de pico da componente fundamental da corrente da carga, o qual utiliza uma arquitetura *perceptron* multicamadas (Silva et al., 2010). A partir do valor de pico estimado e utilizando um vetor unitário síncrono, obtido via sistema PLL (*Phase-Locked Loop*) (Silva et al., 2008a), é possível obter as correntes de referência de compensação do FAS e, assim, injetar a corrente senoidal na rede elétrica.

São apresentados resultados de simulação para demonstrar a operação da UPS *Line-Interactive* monofásica utilizando uma RNA no algoritmo de geração da corrente de referência do filtro ativo série. O método proposto é comparado com o método SRF de forma a verificar a sua eficácia.

É descrita a seguir a organização do trabalho: Na Seção 2 será apresentada a topologia da UPS *Line-Interactive*. Na Seção 3 será descrito o método *SRF*. Na Seção 4 são apresentados os aspectos relacionados à RNA. Na Seção 5 são mostrados os

resultados de simulação e a validação computacional da estrutura proposta. Na Seção 6 as conclusões deste trabalho são apresentadas.

## 2 Descrição da Topologia da UPS

A topologia do sistema UPS *line-interactive* monofásico está mostrada na Fig. 1. Esta utiliza dois conversores PWM monofásicos em ponte acoplados a um barramento CC comum, que no caso é composto por um banco de baterias.

Quando a rede elétrica está presente, o conversor PWM série, que é controlado em corrente, impõe na rede, através do transformador de acoplamento série, uma corrente senoidal ( $i_s$ ) em fase com a fonte de alimentação ( $v_s$ ). Por conseguinte, o conversor série deve comportar-se como uma fonte de corrente com alta impedância, o suficiente para isolar a rede das correntes harmônicas da carga (Barriviera et al., 2012).

Já o conversor PWM paralelo, que é controlado em tensão, impõe na carga uma tensão senoidal ( $v_L$ ), a qual também está em fase com a fonte de alimentação ( $v_s$ ). Portanto, o conversor paralelo deve comportar-se como uma fonte de tensão com impedância suficientemente baixa para absorver as correntes harmônicas da carga (Barriviera et al., 2012).

A chave estática 'sw' protege a carga, proporcionando uma desconexão rápida entre a UPS e a fonte de alimentação quando ocorrer uma interrupção ocasional da rede elétrica, sendo que este tempo pode variar de acordo com o modelo da chave estática e o tempo de processamento do microprocessador para executar esta rotina quando solicitada. Neste caso, a chave estática 'sw' é aberta e o conversor série é inibido. Enquanto isso, o conversor paralelo permanece funcionando normalmente, sem qualquer tempo de transferência que poderia influenciar na alimentação da carga, ou seja, a UPS comporta-se com uma verdadeira UPS *on-line* (Kamran et al., 1998).

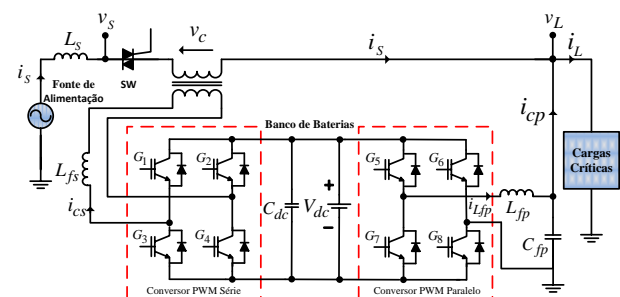


Figura 1 – Sistema UPS Line-Interactive monofásico.

### 3 Controle de corrente da UPS

Nesta seção é apresentado o algoritmo SRF, assim como a RNA destinada a gerar a referência de corrente do conversor série.

#### 3.1 Algoritmo SRF

O algoritmo SRF se baseia na transformação das grandezas de tensão/corrente do sistema de eixos estacionário  $abc$  em grandezas contínuas no sistema de eixos síncrono  $dq$ , no qual estes giram à velocidade síncrona em relação aos vetores espaciais de tensão/corrente. Os termos correspondentes às parcelas harmônicas de tensão ou corrente nos eixos  $dq$  que possuem frequências diferentes da síncrona, são representados por formas de onda alternadas superpostas ao termo contínuo fundamental. Desse modo, as parcelas fundamentais são facilmente extraídas através da utilização de filtros passa-baixa (FPB). A ortogonalidade necessária para o funcionamento ideal do algoritmo SRF é obtida por meio da geração das coordenadas do vetor unitário síncrono  $sen\theta$  e  $cos\theta$ , utilizando, por exemplo, um circuito PLL (*Phase-Locked Loop*) (Silva et al., 2008a), sincronizado com a frequência do sistema elétrico.

No caso da UPS, por se tratar de um sistema monofásico, algumas modificações devem ser feitas para se utilizar o algoritmo SRF. A principal delas é gerar um sistema trifásico fictício, representado por um sistema bifásico no eixo de coordenadas estacionárias  $\alpha\beta$ .

O algoritmo de SRF utilizado neste trabalho está mostrado na Fig. 2. Medindo apenas a corrente de carga ( $i_L$ ), duas correntes em quadratura no sistema de eixos estacionário  $\alpha\beta$  são obtidas, ou seja, ( $i_\alpha$ ) e ( $i_\beta$ ), onde ( $i_\alpha$ ) é a própria corrente da carga medida ( $i_L$ ) e ( $i_\beta$ ) é obtida realizando um atraso de fase de  $\pi/2$  radianos em relação ( $i_L$ ), obtendo-se, desta forma, correntes bifásicas fictícias representadas por (1).

$$\begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} i_L(\omega t) \\ i_L(\omega t - \pi/2) \end{bmatrix} \quad (1)$$

No eixo síncrono, a corrente direta ( $id$ ) é obtida por (2) e, usando um FPB, sua componente c.c. ( $id_{cc}$ ) pode ser encontrada, onde esta representa a parcela ativa da corrente da carga. Portanto, a referência senoidal de corrente do conversor série ( $i_{cs}^*$ ) é obtida diretamente utilizando (3), onde o ângulo de fase estimado, obtido a partir do p-PLL, deverá ser idêntico ao ângulo de fase da rede. O sinal ( $ib_{cc}$ ) representa o sinal de saída do

controlador *PI* do barramento c.c, respectivamente. O controle do barramento c.c. é realizado controlando a amplitude da corrente de referência ( $i_{cs}^*$ ), cuja finalidade é equilibrar o fluxo de potência da UPS, seja para compensar a diferença de tensão entre a entrada e a saída, seja para compensar as perdas nas chaves de potência e dos elementos passivos de filtragem. Além disso, ( $ib_{cc}$ ) é também utilizado para realizar a carga do banco de baterias da UPS drenando uma parcela de potência ativa da rede.

$$id = i_\alpha \cos \theta + i_\beta \sin \theta \quad (2)$$

$$i_{cs}^* = (id_{cc} + ib_{cc}) \cos \theta \quad (3)$$

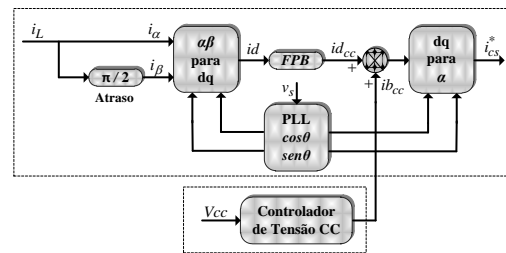


Figura. 2. Algoritmo SRF.

#### 3.2 Redes Neurais Artificiais

As RNA possuem a capacidade de aquisição e manutenção do conhecimento e podem ser definidas como um conjunto de unidades de processamento, caracterizados por neurônios artificiais que são interligados por um grande número de interconexões (Silva et. al., 2010; Campanhol et al., 2011). A Fig. 3 mostra o diagrama de um neurônio artificial.

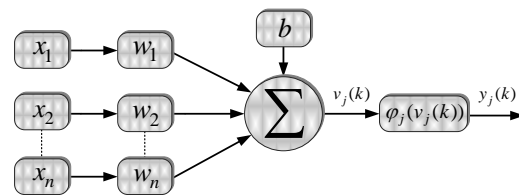


Figura. 3. Representação do neurônio artificial.

Uma das principais aplicações das *RNA's* é em reconhecimentos de padrões aprendendo os comportamentos envolvidos a partir de informações (padrões, medidas ou amostras), além do fato de tratarem eficientemente diversos tipos de problemas não-lineares (Silva et. al., 2010). Pode-se destacar algumas vantagens na utilização de *RNA's* como aprendizagem, generalização, não-linearidade, adaptabilidade, tolerância a falhas e resposta a evidências, bem como tem-se algumas desvantagens como treinamento demorado, grande volume de dados e preparação de dados para o treinamento.

### 3.3 RNA aplicada no FAS

Diversas aplicações na área da QEE têm sido propostas na literatura utilizando RNA (Abdeslam et al., 2007; Nascimento et al., 2009; Nascimento et al., 2010; Naoussi et al., 2009).

Este trabalho em específico utiliza uma rede neural para o filtro ativo de potência série, formada por uma *perceptron* multicamadas (PMC), com treinamento supervisionado. A PMC estimará o valor de pico da componente fundamental da corrente de carga ( $i_L$ ), de forma a obter a corrente de referência de compensação do FAS proposto.

A rede PMC é composta por duas camadas neurais, sendo a camada escondida composta por quinze neurônios e a camada de saída composta por um neurônio (Fig. 4).

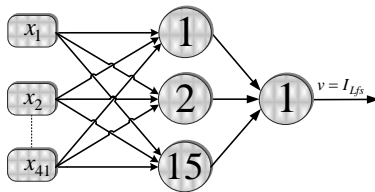


Figura 4 – Estrutura da rede PMC utilizada.

As funções de ativação utilizadas são tangente hiperbólica na camada escondida e linear na camada de saída.

Para obtenção das amostras de treinamento da rede PMC foi utilizada uma carga não linear, a qual consiste em um retificador monofásico de onda completa com carga RL. Na Tabela 1 têm-se os valores de potência da carga utilizada.

Tabela 1 – Parâmetros da carga utilizada no treinamento.

Retificador monofásico de onda completa RL		
Resistência	Indutância	Potência
6Ω	200 mH	2416,9 VA
8Ω	200 mH	1812,6 VA
10Ω	200 mH	1450,1 VA
12Ω	200 mH	1208,4 VA
14Ω	200 mH	1035,8 VA
16Ω	200 mH	906,3 VA
18Ω	200 mH	805,6 VA
20Ω	200 mH	725 VA
22Ω	200 mH	659,1 VA
24Ω	200 mH	604,2 VA

Conforme descrito na Tabela 1, de acordo com cada nível de potência, foram adquiridos 6 ciclos do sinal de corrente da carga ( $i_L$ ), de forma a obter um conjunto de 504 amostras utilizadas no processo de treinamento da rede PMC. A Fig. 5 mostra o diagrama esquemático do processo de obtenção das amostras utilizadas no treinamento da rede PMC.

O valor de pico da componente fundamental da corrente da carga ( $i_L$ ) é a saída desejada da rede PMC, a qual é obtida na saída do FPB ( $id_{cc}$ ) do eixo síncrono do método SRF (Fig. 2).

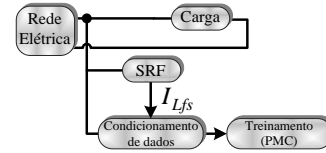


Figura 5 – Diagrama do processo de treinamento.

A Tabela 2 mostra os parâmetros de treinamento da rede PMC proposta.

Tabela 2 – Parâmetros de treinamento.

Arquitetura da rede	Perceptron multicamadas
Tipo de treinamento	Supervisionado - <i>offline</i>
Algoritmo de treinamento	Levenberg-Marquardt <i>backpropagation</i>
Taxa de aprendizagem	$5 \cdot 10^{-3}$
Épocas	95.225
Número total de amostras	5.040

## 4 Controle de Tensão da UPS

A referência da tensão de saída ( $v_L^*$ ) é obtida diretamente do algoritmo PLL (Silva et al., 2008a). Esta é definida por (4), onde ( $V_{Lp}$ ) é a amplitude da requerida tensão de saída e  $\theta^*$  é o ângulo de fase do PLL.

$$v_L^* = V_{Lp} \cos(\theta^*) \quad (4)$$

Uma vez que a tensão de saída da UPS é sempre senoidal e regulada, as perturbações da rede elétrica, tais como harmônicos, afundamentos e elevações de tensão, são naturalmente absorvidas pelo transformador do conversor série. Desse modo, não há necessidade de cálculo de qualquer outra referência de tensão de compensação, haja visto que os distúrbios de tensão da rede elétrica são indiretamente compensados (Barriviera et al., 2012).

## 5 Resultados de Simulação

Nesta seção são apresentados os resultados de simulação obtidos com a implementação da RNA para geração da corrente de referência do FAS.

### 5.1 Validação da rede PMC

Com a finalidade de validar os estudos da rede PMC, esta foi aplicada no FAS monofásico, sendo testado através de simulações numéricas utilizando a ferramenta computacional MatLab®. Foi considerado para as simulações um sistema elétrico monofásico, com tensão de 127Vrms e frequência de 60Hz. Para validação, foi utilizado o valor de 14Ω na resistência da carga.

A rede PMC no processo de validação opera de forma *on-line* com a UPS estimando ( $i_{Lfs}$ ). Com

este valor de pico, e utilizando o vetor unitário síncrono, obtido via uma sistema PLL, é encontrada a parcela fundamental da corrente carga ( $i_{cs}^*$ ). A Fig. 6 mostra o diagrama esquemático do processo de obtenção da corrente de referência de compensação do filtro ativo série (FAS).

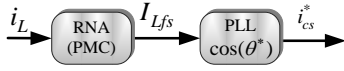


Figura 6 – Diagrama do processo de obtenção de ( $i_{cs}^*$ )

A Fig. 7 apresenta a corrente ( $i_{cs}^*$ ) obtida pelo método SRF e a PMC. A partir desses resultados obtidos, verifica-se a semelhança da resposta da RNA quando comparada com o método *SRF*.

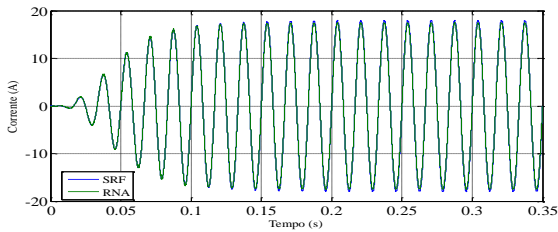


Figura 7 – Corrente de referência de compensação do FAS ( $i_{cs}^*$ )

As grandezas de corrente e tensão da UPS operando nos modos *standby* (rede presente) e *backup* (rede ausente) estão mostradas, respectivamente, nas Fig. 8 a 9. A Fig. 8 apresenta a corrente de entrada ( $i_{cs}$ ), a corrente de compensação do filtro ativo paralelo ( $i_{cp}$ ) e corrente da carga ( $i_L$ ). A Fig. 9 mostra a tensão de entrada ( $v_s$ ), tensão de compensação do filtro ativo série ( $v_c$ ) e tensão de saída ( $v_L$ ), respectivamente.

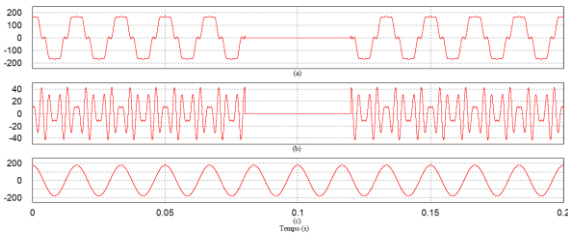


Figura 8 – Correntes da UPS nos modos Standby-Backup-  
Standby:  $i_{cs}$ ,  $i_{cp}$  e  $i_L$

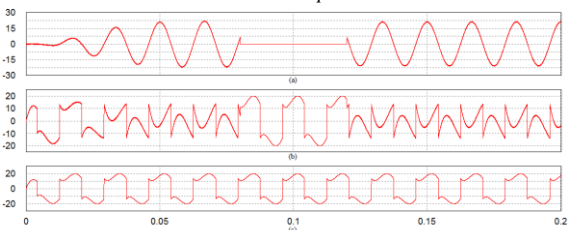


Figura 9 – Tensões da UPS nos modos Standby-Backup-  
Standby:  $v_s$ ,  $v_c$  e  $v_L$

A Fig. 10 apresenta a corrente de entrada ( $i_{cs}$ ), a corrente de compensação do filtro ativo paralelo ( $i_{cp}$ ) e corrente da carga ( $i_L$ ) quando aplicado um degrau de carga em 0,1s de 50 para 100%, onde se observa a capacidade de operação da PMC frente a variações de carga.

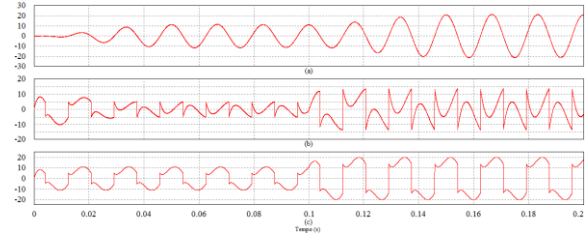


Figura 10 – Correntes  $i_{cs}$ ,  $i_{cp}$  e  $i_L$  para degrau de carga

De acordo com as Fig. 8 a 10, verifica-se a compensação dos harmônicos através da utilização da referência de compensação imposta pela RNA no FAS. A Tabela 3 mostra o Erro Relativo Médio (ERM) que mede o erro como a diferença proporcional entre a saída desejada e a saída obtida, e o Desvio Padrão (DP) que indica a variação média esperada dos valores estimados, calculados entre ( $i_{Lfs}$ ) obtidos pelo método *SRF* e a rede neural PMC.

Tabela 3 – ERM e DP

Fase	ERM (%)	DP (%)
A	1.94	1.19

## 6 Conclusão

Este artigo apresentou um método alternativo aplicado a um sistema UPS *line-interactive* monofásico, baseado em redes neurais artificiais, para obtenção da corrente de referência de compensação do filtro ativo série. A corrente de entrada da UPS compensada permite a supressão de harmônicos de corrente da carga e compensação de potência reativa da carga possibilitando uma efetiva correção do fator de potência. Além disso, permite o condicionamento da tensão de saída por meio da supressão de harmônicos e distúrbios da rede elétrica.

A rede neural PMC estima o valor de pico da componente fundamental de corrente da carga não linear. A partir do valor de pico e utilizando um vetor unitário síncrono obtêm-se via um sistema PLL a corrente de referência do FAS, bem como a referência de tensão do filtro ativo paralelo.

Pelos resultados observados até o momento, a RNA proposta para a geração da corrente de referência do FAS se mostrou eficaz quando comparada ao método *SRF*.

## Referências Bibliográficas

- Abdeslam, D. O., Wira, P., Mercklé, J., Flieller, D. and Chapius, Y. A. A unified artificial neural network architecture for active power filters. *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, 2007, vol 54, nº1, pp 61-76.
- Abdusalam, M., Poure P., Karimi S., e Saadate S., "New digital reference current generation for shunt active power filter under distorted voltage conditions," *Electrical Power System Research Journal*, vol. 79, pp. 759-765, 2009.
- Aredes, M. e Fernandes, R. M., "A dual topology of unified power quality conditioner: the iUPQC," in *Proc. of 13th International European Power Electronics Conference*, 2009.
- Aredes, M., Heumann, K. e Watanabe, E. H., "A universal active power line conditioner," *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 13, no. 2, pp. 545-551, 1998.
- Barriviera, R., Silva, S. A. O., Kaster, M., Modesto, R. A., "Implementação de um sistema UPS monofásico com condicionamento ativo de potência série e paralelo," *Eletrônica de Potência*, Campo Grande, 2011, v. 17, pp. 753-762.
- Campanhol, L. B. G.; Goedel, A. ; SILVA, S. A. O.; Nascimento, C. F. . Utilização de Rede Neural Artificial na Geração das Correntes de Compensação de um Filtro Ativo de Potência Paralelo Trifásico. *Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente*, 2011, pp. 522-527.
- Dias, J., Busarello, T. D. C., Michels, L., Reach, C., and M. Mezaroba, "Controle Digital Simplificado para um Condicionador Unificado de Qualidade de Energia", *Revista Eletrônica de Potência*, vol. 16, no. 3, pp. 212-221, 2011.
- Dixon, J. W., Venegas G., Morán L. A., "A series active filter based on sinusoidal current-controlled voltage-source inverter," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 44, no. 5, pp. 612-619, 1997.
- Fujita, H. e Akagi, H., "The unified power quality conditioner: The integration of series and shunt active filters," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 13 no. 2, pp. 315-322, 1998.
- Haykin, S. *Neural Networks and Learning Machines*. Prentice Hall, 2008.
- Jeon, S. J., e Cho, G. H., "A series-parallel compensated uninterruptible power supply with sinusoidal input current and sinusoidal output voltage," in *proc. of IEEE 28th Power Electronics Specialist Conference*, 1997, pp. 297-303.
- Kamran, F. and Habetler, T. A Novel On-Line UPS with Universal Filtering Capabilities. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1998. Vol. 13, No. 3, pp. 410-418.
- Liu, J., Yang, J., Wang, Z., "A New Approach For Single-Phase Harmonic Current Detecting and its Application in a Hybrid Active Power Filter", *IEEE/IECON*, pp. 849-854, 1999.
- Monteiro, M. I. M., Cadava E. R. I, e González F.B., "Comparison of control strategies for shunt active power filters in three-phase four-wire system," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 22, no. 1, pp. 229-236, 2007.
- Naoussi, S. R. D., Berviller, H., Blondé, J. P., Kom, C. H., Kom, M. and Braun, F. FPGA Implementation of Harmonic Detection methods using Neural Networks. *13th European Conference on Power Electronics and Applications*, 2009. (EPE 2009).
- Nascimento, C. F., Junior, A. A. O., Goedel, A., Silva, I. N. and Serni, P. J. A. Neural Network-Based Approach for Identification of the Harmonic Content of a Nonlinear Load in a Single-Phase System. *IEEE Latin America Transactions*, 2010. Vol. 8, no. 1, pp. 65-73.
- Nascimento, C. F., Junior, A. A. O., Goedel, A., Serni, P. J. A. and Silva, S. A. O. Harmonic Content Identification Based on Neural Method for Single Phase Power Systems. *13th European Power Electronics Conference and Applications*, 2009. (EPE 2009).
- Silva, I. N. da, Spatti, D. H. e Flauzino, R. A. *Redes Neurais Artificiais para Engenharia e Ciências Aplicadas*. Artliber, 2010.
- Silva, S. A. O. and Modesto, R. A. (2008b), "A Comparative Analysis of SRF-based Controllers Applied to Active Power Line Conditioners". 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society. *IECON*, pp. 405-410, 2008.
- Silva, S. A. O., Barriviera, R., Modesto, R. A., Kaster, M., e Goedel, A., "Single-phase power quality conditioners with series-parallel filtering capabilities," in *proc. of IEEE 20th International Symposium on Industrial Electronics*, 2011, pp. 1124-1130.
- Silva, S. A. O., Donoso-Garcia, P. F., Cortizo, P. C., and Seixas, P. F., "A three-phase line-interactive UPS system implementation with series-parallel active power-line conditioning capabilities," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 38, no. 6, pp. 1581-1590, Nov/Dec. 2002.
- Silva, S. A. O., Novochadlo, R., e Modesto, R. A. (2008a), "Single-Phase PLL structure using modified p-q theory for utility connected systems," in *proc. of IEEE 39th Annual Power Electronics Specialist Conference*, 2008, pp. 4706-4711.