

METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO EMPREGANDO O PROGRAMA MATLAB/SIMULINK APLICADA A PROJETOS DE REATORES ELETRÔNICOS DIMERIZÁVEIS

Mikahil Polonskii, Álysson. R. Seidel, e Rafael A. Eichelberger
Departamento de Engenharia Elétrica - FEAR - Universidade de Passo Fundo
CEP 99001-970, C. P. 611/631, Passo Fundo - RS
Brasil
e-mail: polonski@upf.br

Resumo - Este artigo apresenta uma metodologia de simulação com o programa MATLAB/Simulink aplicada a projetos de reatores eletrônicos dimerizáveis que alimentam lâmpadas fluorescentes. No trabalho são descritas as etapas para o emprego do simulador e as possibilidades de simulação, assim como as vantagens e desvantagens de utilizar esta ferramenta para projeto. A metodologia é ilustrada através de uma abordagem hierárquica para simulação de um reator eletrônico dimerizável realimentado através da corrente da lâmpada fluorescente. Inicialmente, conforme a metodologia proposta, utiliza-se na simulação um modelo simplificado do reator, enquanto que na etapa seguinte é empregado um modelo mais detalhado. Um protótipo foi implementado para avaliar a metodologia apresentada através da comparação dos resultados experimentais e de simulação.

Palavras-Chave – dimerização, eletrônica de potência, lâmpadas fluorescentes, projeto, simulação.

SIMULATION METHODOLOGY EMPLOYING MATLAB/SIMULINK PROGRAM APPLIED TO ELECTRONIC BALLAST DESIGN

Abstract – This paper presents a simulation methodology using MATLAB/Simulink applied to dimming electronic ballasts supplying fluorescent lamps. The paper describes the steps to use the simulator and the simulations possibilities, as the advantages and disadvantages to use this tool applied for design. The methodology is illustrated using a hierarchical approach to simulate feedback dimming electronic ballasts through lamp current. At first time, as the proposed methodology, a simplified model is used, and in the next step a detailed model is employed. A prototype is implemented to validate the presented methodology comparing experimental and simulation results.

Keywords - design, dimming, fluorescent lamps, power electronics, simulation.

Artigo submetido em 11/01/2006. Primeira revisão em 05/04/2006.
Segunda revisão em 29/06/2006. Aceito por recomendação do Editor
Richard Magdalena Stephan.

NOMENCLATURA

PFC	Correção de fator de potência.
FC	Fator de crista.
FP	Fator de potência.
Msm	Matlab/Simulink.
VCO	Oscilador controlado por tensão.
ZVS	Zero voltage switching.

I. INTRODUÇÃO

A eficiência luminosa das lâmpadas fluorescentes aumenta quando são empregados reatores eletrônicos operando em alta frequência. Além disso, os reatores eletrônicos proporcionam redução do consumo de energia elétrica, apresentam menor peso e volume. As vantagens da operação em alta frequência permitem eliminar problemas como o efeito estroboscópico, ruído audível e cintilamento. Outra vantagem é a possibilidade de explorar os efeitos da dimerização. Essas razões condicionam a substituição de reatores eletromagnéticos por eletrônicos numa taxa crescente de 20% ao ano [1].

Desse modo, existe grande interesse de pesquisadores no sentido de contribuir no conhecimento da temática, destacando-se trabalhos que exploram o funcionamento de lâmpadas fluorescentes, reatores eletrônicos com alto FP, dimerização, projeto e desenvolvimento de novas topologias [2]-[6].

Uma das estruturas mais empregadas em reatores eletrônicos dimerizáveis é o inversor ressonante meia-ponte e o filtro ressonante LCC, formado por um capacitor em série com um indutor e um capacitor em paralelo com a lâmpada fluorescente. Considerando que a carga do inversor ressonante é a lâmpada fluorescente, essa assume grande importância na operação do sistema. Assim, vários modelos de lâmpadas vem sendo propostos, no intuito de facilitar o projeto de reatores auxiliado pela simulação [7]-[11]. Neste trabalho será empregado um modelo estático da lâmpada fluorescente conforme mostrado em [10].

O projeto de reatores eletrônicos dimerizáveis pode ser resumido nas seguintes etapas:

- 1 - Especificar o reator a ser projetado;
- 2 - escolher a estrutura do reator [6], [15] e [18];
- 3 - determinar a estrutura do filtro ressonante [1], [5] e [15];
- 4 - calcular os componentes do filtro ressonante [2];
- 5 - determinar as curvas de dimerização [15];

6 - projetar o compensador para a configuração em malha fechada [16], [17];

7 - realizar a simulação [10];

8 - implementar o protótipo.

As etapas 3 a 6 geralmente são realizadas com os programas *Mathcad* ou *Matlab*. A etapa 7 é muito importante, pois a simulação, sendo uma ferramenta computacional poderosa, auxilia significativamente no projeto de reatores eletrônicos com dinâmica complexa. Tradicionalmente simulações são realizadas através de programas derivados do PSpice. Todos esses simuladores são orientados a circuitos (*circuit oriented*) e executam simulações de esquemáticos com uma precisão relativamente alta, enquanto que o tempo de simulação é elevado para circuitos complexos. Por outro lado, nas etapas iniciais do projeto, o esquemático do reator eletrônico pode ainda não ser definido e, principalmente no caso de uma dinâmica complexa, várias estratégias de controle devem ser testadas sem considerar os detalhes de implementação. Além disso, nas etapas iniciais do projeto de um reator eletrônico é necessário efetuar vários cálculos numéricos, como, por exemplo, o cálculo dos componentes do filtro ressonante e das curvas de dimerização, que não podem ser realizados com programas como o PSpice.

Neste trabalho é proposta uma metodologia para simulação aplicada a projetos de reatores eletrônicos dimerizáveis utilizando o programa MSm, visto que as etapas de 3 a 7 são realizadas no mesmo ambiente computacional. As etapas de 1 a 6 não serão mostradas, pois não é o objetivo principal do trabalho.

Na simulação no MSm, os componentes (blocos) são modelados em termos de entrada/saída sem considerar detalhes de implementação dos componentes reais, o que caracteriza esses modelos como orientados a sistema (*system oriented*), proporcionando uma redução significativa no tempo de simulação.

Na seção II são apresentados um modelo do reator eletrônico dimerizável desenvolvido no ambiente MSm e os resultados de simulação. Na seção III são apresentados resultados experimentais, que serão comparados com os resultados de simulação obtidos na seção II. Na seção IV são apresentadas as considerações finais acerca do trabalho desenvolvido.

II. SIMULAÇÃO NO AMBIENTE MATLAB/SIMULINK

Esta seção apresenta o modelo do conjunto reator-lâmpada fluorescente para simulação com o programa MSm. Os modelos geralmente utilizados neste ambiente de simulação empregam funções de transferência e blocos não-lineares que descrevem o comportamento dinâmico de sistemas em termos de entrada e saída.

A. Modelo da Lâmpada Fluorescente

O modelo da lâmpada é definido com base na sua resistência equivalente em função da potência, conforme é mostrado em [10]. A Tabela I apresenta os dados experimentais de uma lâmpada fluorescente tubular TL7 40W/Philips.

Na Tabela I P_L e R_L representam a potência e a resistência equivalente da lâmpada fluorescente, respectivamente. Desta maneira, propõe-se simular a lâmpada com os recursos do *Power System Blockset* do MSm, conforme mostra a Figura 1.

TABELA I
Dados Experimentais de Resistência Equivalente da Lâmpada Fluorescente em Função da Potência

P_L (W)	1,43	2,36	3,30	9,10	14,4	22,4	26,4	29,1
R_L (k Ω)	11,8	7,30	5,30	1,90	1,00	0,60	0,48	0,42
P_L (W)	31,2	33,0	34,5	35,7	36,7	37,6	38,3	50,0
R_L (k Ω)	0,38	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,20

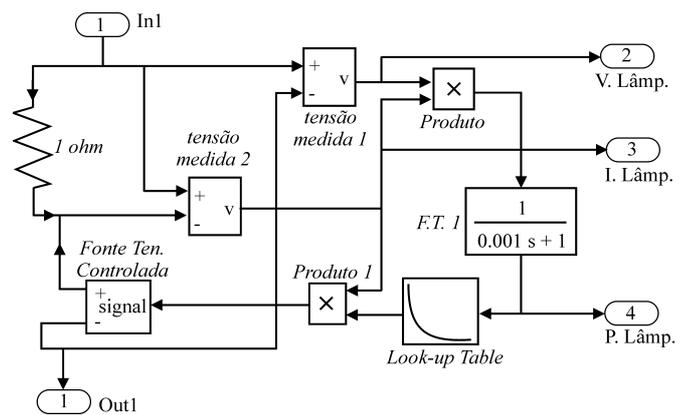


Fig. 1. Modelo da lâmpada fluorescente implementado no ambiente MSm.

O modelo da lâmpada é implementado utilizando fontes, funções de transferência, blocos de soma e multiplicação, além de uma tabela. O bloco de multiplicação, chamado *Produto*, recebe os sinais de tensão e corrente e gera em sua saída a potência instantânea da lâmpada. O bloco da função de transferência *F.T. 1* é utilizado para calcular a potência média na lâmpada. O bloco *Look-up Table*, o qual contém os valores de resistência equivalente da lâmpada em função da potência conforme a Tabela 1, é empregado para calcular a resistência equivalente da lâmpada. A tensão da lâmpada é simulada pelo bloco *Fonte Ten. Controlada*, no qual sua entrada recebe o sinal de tensão da lâmpada gerado pelo *Produto 1*.

O resistor *1 ohm* evita o paralelismo entre o capacitor C_p do filtro ressonante LCC ($L_S-C_S-C_p$) e a fonte de tensão *Fonte Ten. Controlada* e é empregado para medir a corrente da lâmpada.

B. Reator Eletrônico Dimerizável

A Figura 2 mostra o diagrama esquemático do reator eletrônico dimerizável. A dimerização é realizada com base na variação da frequência de comutação, que é mantida superior a frequência de ressonância do filtro LCC para garantir a comutação suave (ZVS) dos MOSFET's $M1$ e $M2$.

Para aumentar o FP da corrente de entrada do reator, o emprego de PFC é obrigatório. O circuito de PFC pode ser como o circuito *Valley-fill* [12], ou empregando conversores chaveados, tais como *Boost* [14]. Para este trabalho optou-se utilizar o circuito de PFC *Valley-fill*.

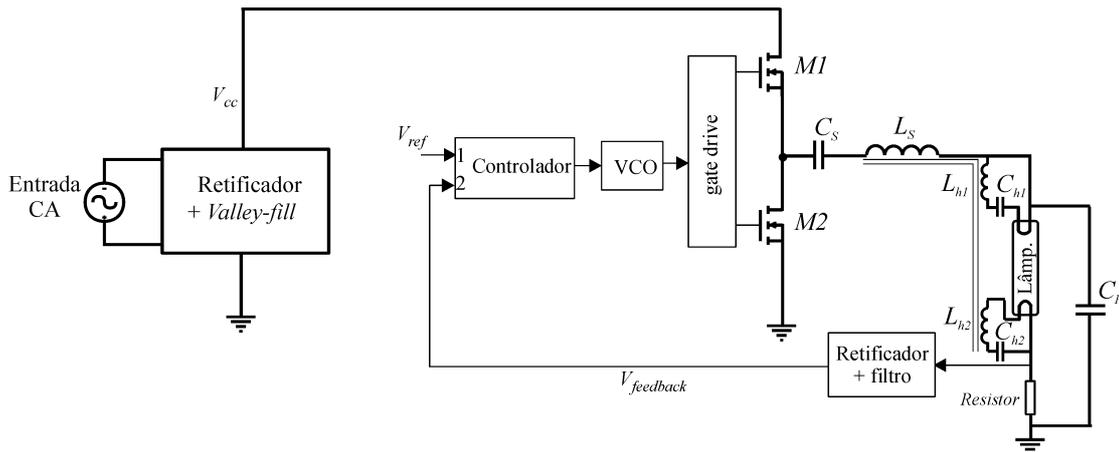


Fig. 2. Diagrama esquemático do reator eletrônico dimerizável.

Na Figura 2, o sinal de referência V_{ref} , que determina a corrente da lâmpada, é aplicado à entrada 1 do Controlador. Na entrada 2 o Controlador recebe o sinal realimentado ($V_{feedback}$) do circuito condicionador (Retificador + filtro). O Resistor gera uma tensão proporcional a corrente da lâmpada e assim alimenta a entrada do circuito condicionador.

O Controlador determina a diferença entre o sinal V_{ref} e $V_{feedback}$ que é processada e aplicada à entrada do circuito VCO. O VCO gera dois sinais complementares para controlar o circuito de comando dos gates dos MOSFET's do inversor meia-ponte. Os filamentos da lâmpada são alimentados por meio do circuito de aquecimento, composto pelos secundários L_{h1} e L_{h2} do indutor ressonante em série com os capacitores C_{h1} e C_{h2} , respectivamente, mostrados na Figura 2.

C. Modelo Completo do Reator-Lâmpada no Matlab/Simulink

A Figura 3 mostra o modelo completo do reator-lâmpada no ambiente MSm. Os blocos da Figura 3 representam cada seção do reator dimerizável mostrado na Figura 2. A Figura 4 mostra os detalhes dos subsistemas que compõem o modelo completo.

A Figura 4.a mostra o subsistema *Circuito Ressonante* incluindo o subsistema *Modelo da Lâmpada Fluorescente* apresentado na Figura 1. O subsistema *Circuito Ressonante* pode ser facilmente modificado para outros valores de componentes ou outras topologias de filtro ressonante.

As Figura 4.b e 4.c apresentam os subsistemas do *Controlador* e do *VCO*, respectivamente. No subsistema *VCO*, mostrado na Figura 4.c, o bloco *Constante* de valor 3,8 determina a frequência mínima do VCO de 38 kHz, enquanto que o ganho do VCO de 10 kHz/V é a metade do valor do bloco *Ganho* 3. Variando esses dois parâmetros, o subsistema pode ser ajustado para outros valores de frequência mínima e de ganho.

A Figura 4.d mostra o subsistema que modela o circuito *Valley-fill* com base na sua forma de onda ideal. O bloco *senóide* gera o sinal $155,5 \cdot \sin(377 \cdot t)$, cujos semi-ciclos negativos são cortados pelo bloco *Saturação*. A saída do bloco *Saturação* somada com o sinal constante de 155,5 V, gerado pelo bloco *Constante*, simula a forma de onda de tensão ideal para o circuito de PFC *Valley-fill*. Esta forma de onda é mostrada na Figura 4.e. As Figura 4.f e 4.g mostram

os subsistemas *Inversor Meia-Ponte* e *Sensor de Corrente*, respectivamente.

D. Simulação da Dinâmica do Conjunto Reator-Lâmpada no Matlab/Simulink

Empregando o modelo da Figura 3 é possível analisar a dinâmica do conjunto reator-lâmpada, determinar os parâmetros do controlador e, se for necessário, ajustar os parâmetros do filtro ressonante LCC e do circuito de realimentação. Mesmo empregando simulação de alto nível (*system oriented*), diferentes modelos do mesmo conjunto podem ser utilizados. Assim, no caso de PFC com *Valley-fill*, o modelo ideal mostrado na Figura 4.d é empregado inicialmente.

Embora o circuito de PFC *Valley-fill* possa apresentar um bom FP ($> 0,95$), a ondulação da tensão do barramento é de 50%, o que resulta num FC da corrente da lâmpada superior a 2,1 se nenhuma medida adicional for tomada [12]. Este FC reduz a vida útil da lâmpada, cujo valor máximo recomendado é de 1,7 [13]. A redução do FC na presença do circuito de PFC *Valley-fill* é efetuada através da variação da frequência de comutação dos interruptores do inversor com base na realimentação da corrente da lâmpada [12]. O resultado de simulação do modelo mostrado na Figura 3, que inclui o modelo do circuito de PFC *Valley-fill* ideal (Figura 4.d), é mostrados na Figura 5.

A utilização do modelo simplificado do circuito de PFC *Valley-fill* permite ajustar facilmente os parâmetros do controlador (Figura 4.b) através de repetições de simulação, pois cada simulação de 100 ms é realizada em aproximadamente 2 minutos no computador Athlon 2600/XP. Além disso, pode-se verificar a variação da potência na lâmpada durante a dimerização e, se necessário, modificar os parâmetros do filtro ressonante LCC.

As formas de onda da tensão e da corrente da lâmpada fluorescente em regime permanente, mostradas na Figura 5, permitem concluir que o modelo da lâmpada implementado no MSm (Figura 1) é equivalente a uma resistência em consonância com o método desenvolvido em [10].

Embora a corrente observada nos protótipos reais não seja puramente senoidal, revelando assim a dinâmica não linear da lâmpada fluorescente, a modelagem desta última por meio de uma resistência $R_L(P_L)$ é consistente em termos de valores da corrente eficaz da lâmpada.

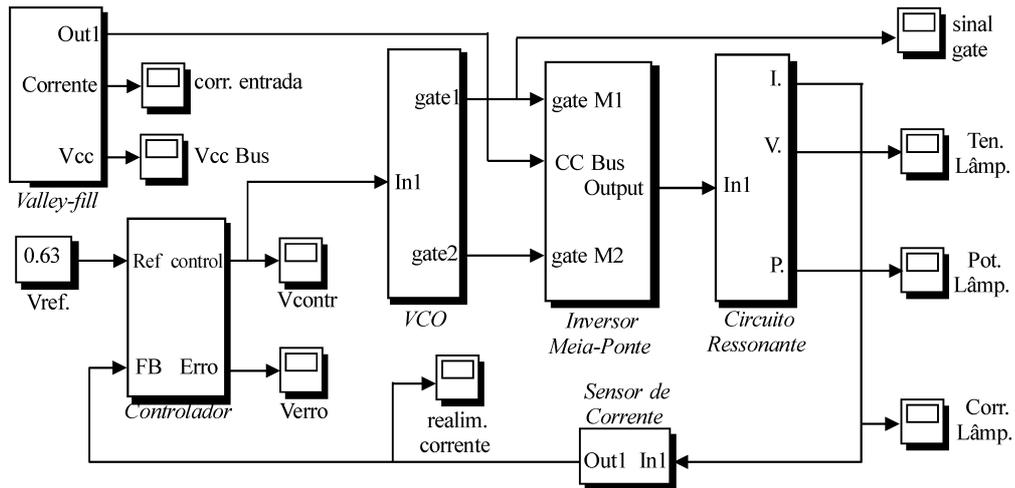


Fig. 3. Modelo completo do reator-lâmpada no ambiente MSm com subsistemas.

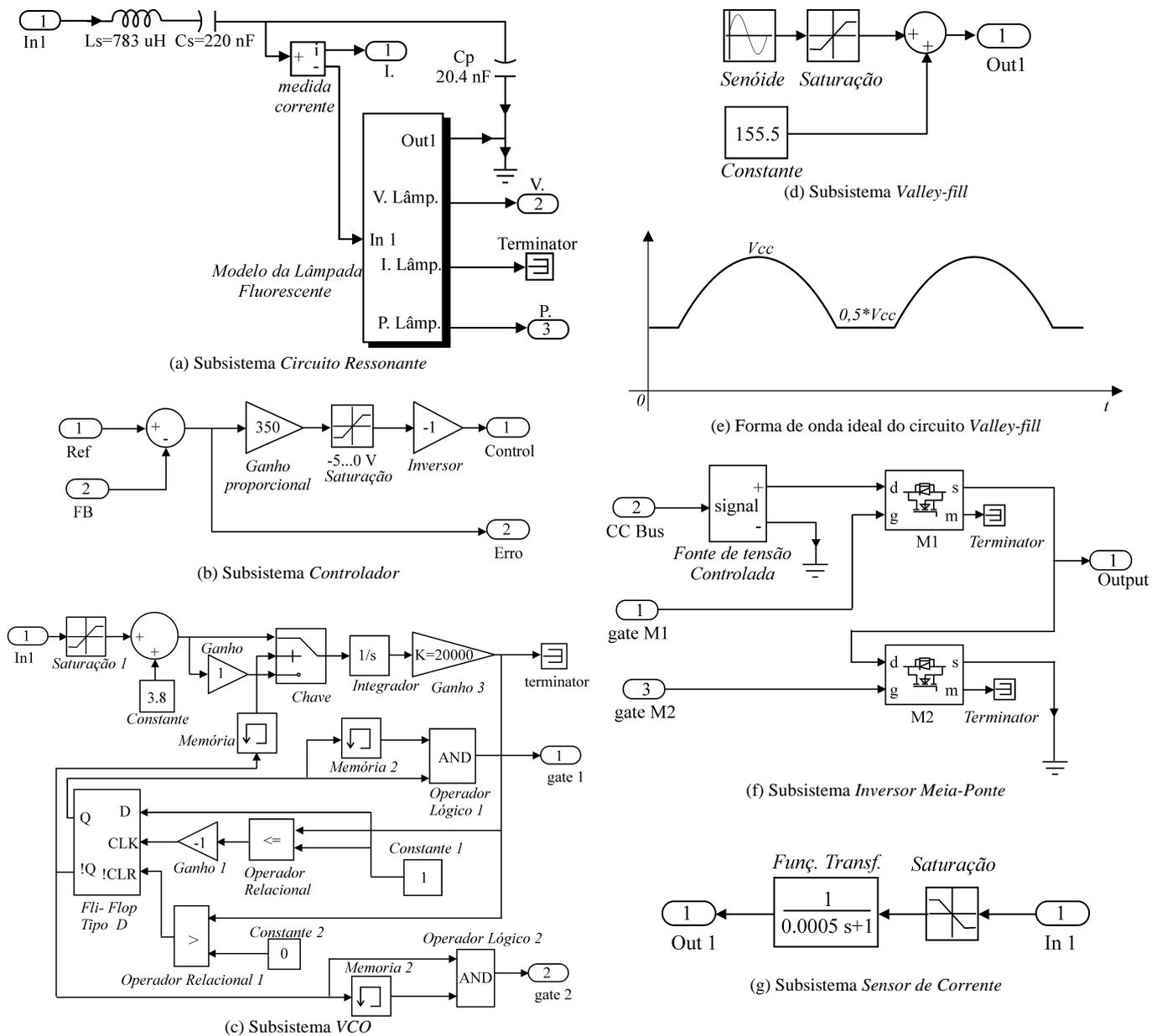


Fig. 4. Subsistemas do modelo reator-lâmpada da Fig. 3.

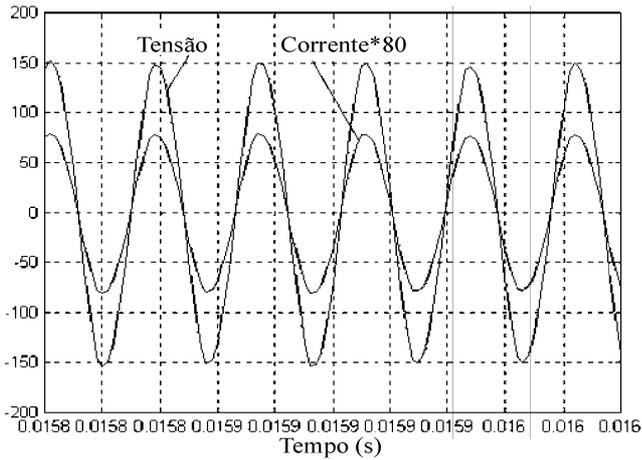


Fig. 5. Corrente e tensão na lâmpada simuladas no MSm, $V_{ref}=0,63$.

Após as simulações com o modelo ideal do circuito de PFC *Valley-fill* terem sido concluídas, um modelo mais realístico do mesmo deve ser empregado. As Figuras 6 a 8 mostram o modelo desenvolvido com blocos do *Power System Toolbox* do MSm.

Os resultados de simulação da corrente de entrada e da envoltória da corrente da lâmpada são mostrados nas Figuras 9.a, 9.b e 10.a, 10.b para dois níveis de dimerização.

O emprego do modelo completo do circuito de PFC *Valley-fill* aumentou o tempo de simulação, uma vez que as simplificações empregadas na simulação do modelo ideal não são utilizadas. Através do modelo completo do PFC *Valley-fill*, pode-se verificar o conteúdo harmônico da corrente de entrada e simular a dinâmica do conjunto lâmpada-reator para diferentes níveis de dimerização.

III. VALIDAÇÃO DO MODELO

No intuito de validar o modelo desenvolvido e a metodologia empregada no MSm foi confeccionado um protótipo do reator dimerizável com o circuito de PFC *Valley-fill* mostrado na Figura 8.

Na confecção do protótipo foram utilizados componentes com os mesmos valores do modelo mostrado na Figura 4.

As Figuras 9.c e 10.c mostram a corrente de entrada e da lâmpada experimentais para dois níveis de dimerização. As Figuras 9.d e 10.d mostram os conteúdos harmônicos da corrente de entrada medida e simulada para os mesmos níveis de dimerização.

A comparação entre as Figuras 9.a, 9.b, 9.c e 10.d e Figuras 10.a, 10.b, 10.c e 10.d revela que os resultados de simulação são compatíveis com os experimentais, o que valida a metodologia de simulação desenvolvida.

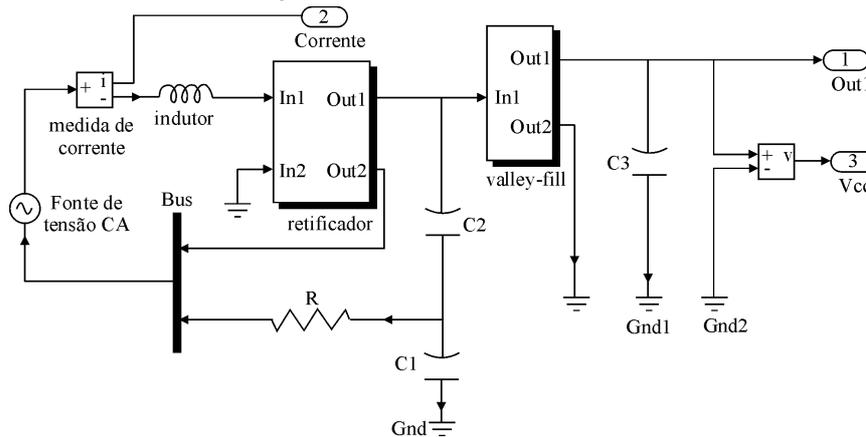


Fig. 6. Modelo completo do retificador e circuito de PFC *Valley-fill* no MSm.

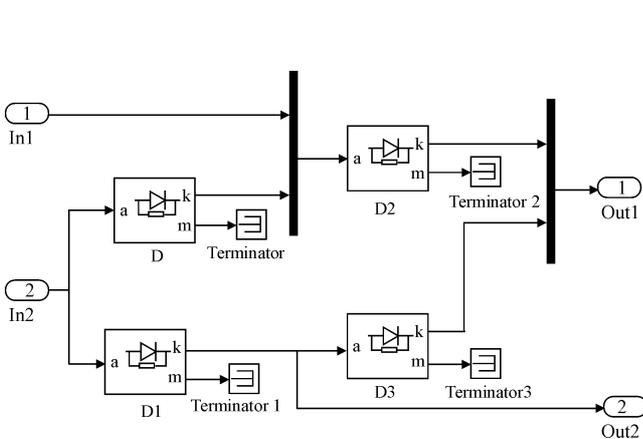


Fig. 7. Subsistema do retificador da Fig. 6.

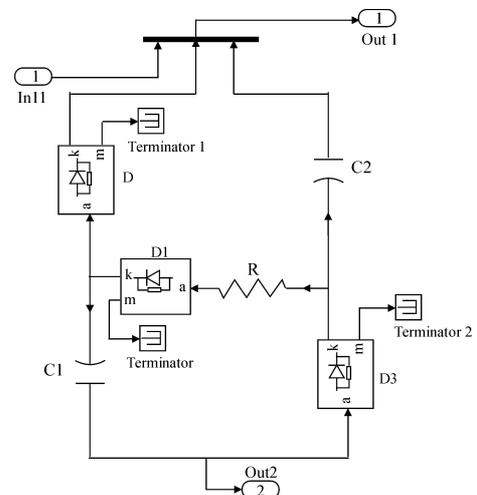
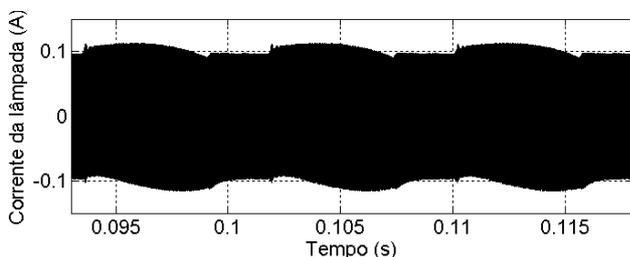


Fig. 8. Subsistema do circuito valley-fill da Fig. 6.

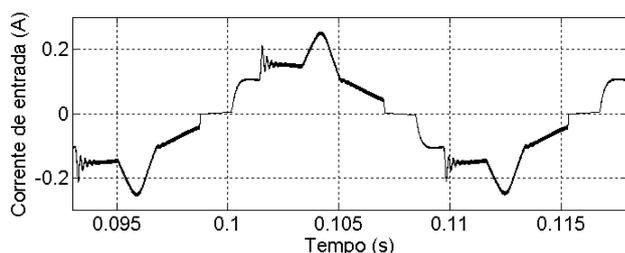
IV. CONCLUSÕES

Uma metodologia de simulação de reatores eletrônicos dimerizáveis de lâmpadas fluorescentes foi proposta. A

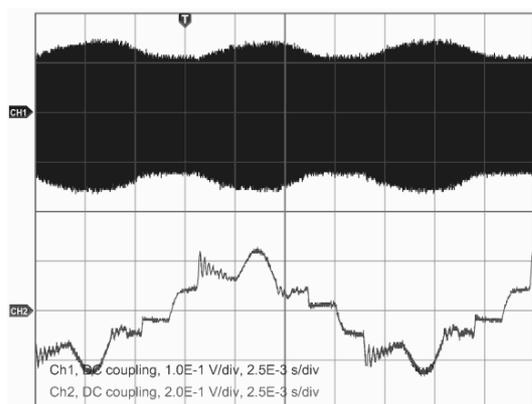
metodologia explora as potencialidades do programa MSm, o qual permite, além do projeto dos elementos que compõem o reator eletrônico, simular a dinâmica do conjunto reator-lâmpada fluorescente.



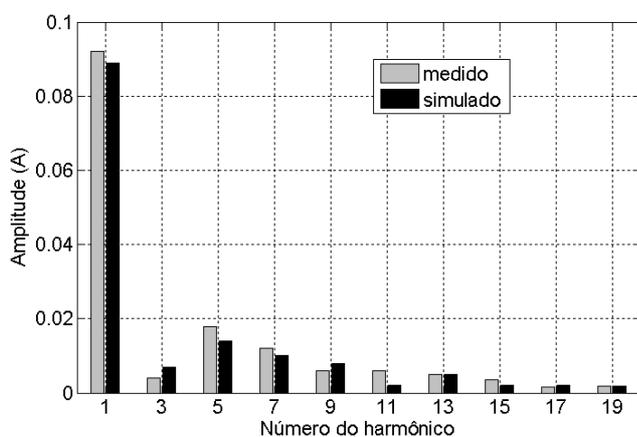
(a) Simulação da corrente da lâmpada



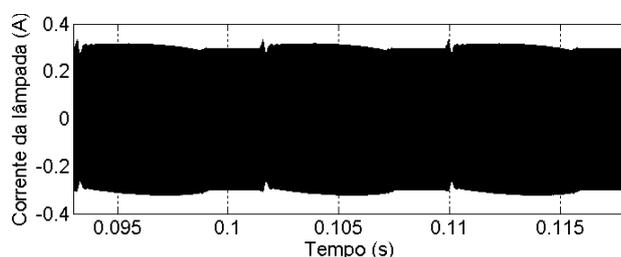
(b) Simulação da corrente de entrada



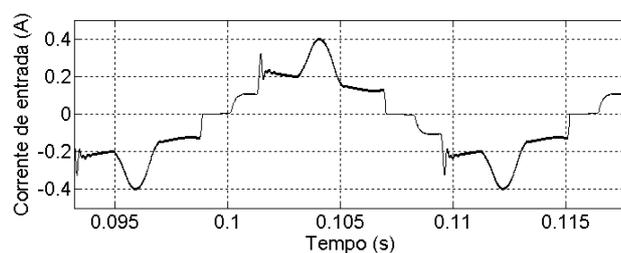
(c) Resultados experimentais da corrente da lâmpada Ch1-0,1 A/div e na entrada Ch2 - 0,2 A/div



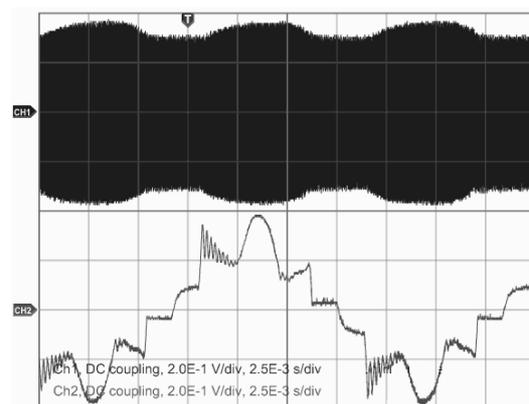
(d) Comparação entre as amplitudes dos harmônicos da corrente de entrada medidos e simulados



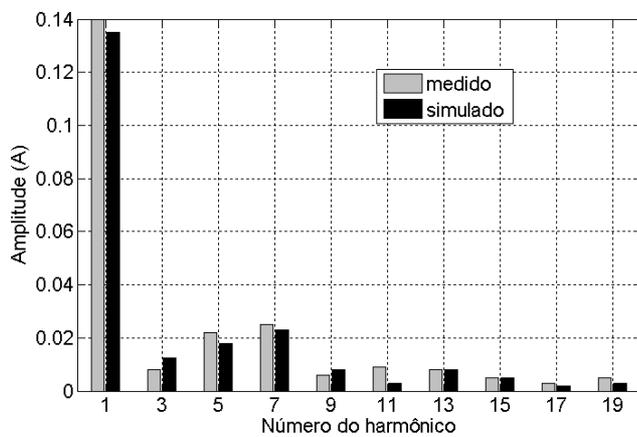
(a) Simulação da corrente da lâmpada



(b) Simulação da corrente de entrada



(c) Resultados experimentais da corrente da lâmpada Ch1-0,2 A/div e na entrada Ch2 - 0,2 A/div



(d) Comparação entre as amplitudes dos harmônicos da corrente de entrada medidos e simulados

Fig. 9. Comparação dos resultados de simulação e experimentais para $V_{ref} = 0,63$ V.

Fig. 10. Comparação dos resultados de simulação e experimentais para $V_{ref} = 2,6$ V.

Para o mesmo reator com o circuito de PFC *Valley-fill* foram desenvolvidos dois modelos com níveis de detalhamento diferenciados. O modelo ideal do circuito *Valley-fill* proporciona uma redução significativa no tempo de simulação, tornando mais fácil determinar os parâmetros iniciais do filtro ressonante e do controlador. Por outro lado, o modelo realístico do circuito *Valley-fill* permite avaliar o conteúdo harmônico da corrente de entrada, o fator de potência e realizar a sintonia fina dos parâmetros do controlador.

Os modelos de alto nível desenvolvidos no MSm foram validados através da comparação dos resultados de simulação com os testes do protótipo do reator implementado.

O processo de criação do modelo, processamento e apresentação de resultados de simulação no programa MSm é mais trabalhoso comparado ao empregado em outros programas de simulação como o PSpice. No entanto, a utilização de subsistemas no MSm simplifica o processo de criação de modelos.

O emprego do MSm para projeto de reatores eletrônicos dimerizáveis permite projetar filtros, incluindo o projeto de magnéticos, calcular as curvas de dimerização e simular a dinâmica não linear do conjunto lâmpada-reator no mesmo ambiente computacional. Assim, a metodologia de simulação desenvolvida pode ser aplicada a projeto de outros conversores chaveados na área de eletrônica de potência.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq, à FAPERGS e à EPCOS do Brasil pelo financiamento e suporte parcial deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] M. Bairanzade, "Electronic Lamp Ballast Design", Disponível em: <<http://www.onsemi.com/pub/Collateral/AN1543-D.pdf>>, Acesso em: 03 Maio 2006.
- [2] F. T. Wakabayashi, C. A. Canesin, "An Improved Design Procedure for LCC Resonant Filter of Dimmable Electronic Ballasts for Fluorescent Lamps, Based on Lamp Model", *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 20, no. 5, pp. 1186-1196, September 2005.
- [3] W. Kaiser, "Conversor Eletrônico de Elevada Eficiência para Alimentação de Lâmpadas Fluorescentes Tubulares - Uma Metodologia de Projeto", Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo-SP, 1988.
- [4] A. J. Perin e E. I. Pereira, "Reatores Eletrônicos com Estágio de Correção do Fator de Potência Integrado com o Inversor Ressonante", *Revista Brasileira de Eletrônica de Potência - SOBRAEP*, vol. 8, no. 2, pp. 17-24, November 2003.
- [5] A. R. Seidel, F. E. Bisogno, R. N. Do Prado e R. Holsbach, "Resonant Filter Applications in Electronic Ballast", in *Proc. of IEEE IAS'02*, pp. 348-354, 2002.
- [6] M. Brumatti, M. A. C.ó, D. S. L. Simonetti e J. L. F. Vieira, "Single-Stage Self-Oscillating HPF Electronic Ballast", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 41, no. 3, pp. 735-741, May/June 2005.
- [7] U. Mader e P. Horn, "A Dynamic Model for the Electrical Characteristics of Fluorescent Lamps", in *Proc. of IEEE IAS'92*, pp.1928-1934, 1992.
- [8] G. Zissis, J. J. Damelincourt e T. Bezanahary, "Modelling discharge lamps for electronic circuit designers: A review of the existing methods", in *Proc. of IEEE IAS'01*, CD-ROM, 2001.
- [9] C. A. Cheng, T. J. Liang, C. M. Chuang e J. F. Chen, "A Novel Method of Using Second-Order Model to Design Dimmable Fluorescent Lamps Electronic Ballast", in *Proc. of IEEE IECON'01*, pp.1033-1037, 2001.
- [10] M. Cervi, A. R. Seidel, F. E. Bisogno e R. N. Do Prado, "Fluorescent Lamp Model Based on the Equivalent Resistance Variation", in *Proc. of IEEE IAS'02*, pp. 680-684, 2002.
- [11] F. T. Wakabayashi e C. A. Canesin, "A New Model for Tubular Fluorescent Lamp Operated at High Frequencies for Dimmable Applications", in *Proc. of IEEE ISIE'03*, CD-ROM, 2003.
- [12] P. N. Wood, "Fluorescent Ballast Design Using Passive P.F.C. and Crest Factor Control", Disponível em: <<http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-998.pdf>> Acesso em: 03 Maio 2006.
- [13] ABNT, "NBR 14418: Reatores Eletrônicos Alimentados em Corrente Alternada para Lâmpadas Fluorescentes Tubulares - Prescrições de Desempenho", Rio de Janeiro, 1999.
- [14] V. Grigore, "Topological Issues in Single-Phase Power Factor Correction", Tese de Doutorado, Helsinki University of Tecnology, Espoo, Finland, 2001, Disponível em: <http://lib.tkk.fi/Diss/2001/isbn9512257351/isbn9512257351.pdf>, Acesso em: 19 Dez. 2005.
- [15] C. S. Moo, H. L. Cheng, H. N. Chen e H. C. Yen, "Designing Dimmable Electronic Ballast with Frequency Control", in *Proc. of IEEE APEC'99*, pp. 727-733, 1999.
- [16] J. Ribas, J. M. Alonso, E. L. Corominas, J. Cardesín, F. Rodrigues, J. Garcia-Garcia, M. Rico-Secades e A. J. Calleja, "Analysis of Lamp Ballasts Interaction Using the Multi-frequency-Averaging Technique", in *Proc. of IEEE PESC'01*, pp. 76-181, 2001.
- [17] Y. Yin, R. Zane, J. Glasser, R. Erickson, "Small-signal Analysis of Frequency-Controlled Electronic Ballasts", *IEEE Transactions on Circuits and Systems - I: Fundamental Theory and Applications*, vol. 50, no. 8, pp. 1103-1110, August 2003.
- [18] A. K. S. Bhat, "Analysis, Selection, and Design of Resonant Inverters for Electronic Ballast", in *Proc. of IEEE PESC'94*, pp. 796-804, 1994.

DADOS BIOGRÁFICOS

Mikhail Polonskii, nascido em 03/10/1956 em Stavropol, Rússia e é engenheiro eletro-mecânico pela Escola Técnica Superior de N.Baumann (1978), doutor (1992) pela Universidade Tecnológica (STANKIN) Moscou, Rússia. Antes de ingressar no curso de doutoramento, durante vários anos trabalhou como projetista e pesquisador na indústria eletro-eletrônica e eletro-mecânica. De 1993 até 1996 trabalhou como pesquisador visitante estrangeiro na Universidade de Caxias do Sul, RS, Brasil. Desde 1996 trabalha na Universidade de Passo Fundo, RS, Brasil, onde atualmente é professor titular do Curso de Engenharia Elétrica. Suas áreas de interesse são: aplicação de controle

automático para eletrônica de potência, sistemas de iluminação e simulação.

Álysson R. Seidel, nascido em 01/08/1975 em São Pedro do Sul (RS) obteve o título de Engenheiro Eletricista (1999), de doutor (2004) pela Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil. Desde 2004 é professor da Universidade de Passo Fundo, RS, Brasil, onde atualmente é professor assistente III do Curso de Engenharia Elétrica. Suas áreas de interesse

são: eletrônica de potência, sistemas de iluminação e simulação.

Rafael A. Eichelberger, nascido em 09/11/1983 em Santa Cruz do Sul (RS) é acadêmico do curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Passo Fundo, RS, Brasil. Suas áreas de interesse são: eletrônica de potência, sistemas de iluminação e simulação.