

Módulo Simulador de Transitórios Utilizando um Amplificador de Potência Chaveado

A. A. Nascimento, A. O. Salazar, J. T. Oliveira e M. F. Medeiros, UFRN.

RESUMO

O trabalho proposto consiste em construir um amplificador de potência que irá converter um sinal digital, obtido a partir de simulações realizadas através do software ATP (Alternative Transiente Program), em um sinal analógico, para que seja possível aplicá-lo a uma carga, com o objetivo de verificar seu comportamento em condições de regime transitório. A partir do transitório simulado, serão obtidos os pontos (Tensão x Tempo) que serão convertidos em um sinal analógico, através de uma placa de aquisição de dados. Com esse sinal, a etapa seguinte será amplificá-lo e aplicá-lo à carga. Nesse trabalho espera-se obter resultados necessários para verificar o comportamento e a suportabilidade das cargas quando são aplicados sinais transitórios. A amplitude desses transitórios irá definir os níveis de tensão suportados pela carga com o intuito de verificar seus efeitos que, em geral, não são fornecidos pelos fabricantes de equipamentos dos quais os consumidores reclamam ressarcimento de danos causados pela concessionária.

PALAVRAS-CHAVE

Aquisição de Dados, PWM, Simulação, Transitórios.

I. INTRODUÇÃO

O trabalho proposto consiste em aplicar um sinal proveniente de um transitório gerado pelo software ATP, através de um amplificador e aplicá-lo a uma carga, com o objetivo de verificar seu comportamento em tais condições.

Os transitórios simulados no ATP são extraídos ponto a ponto (Tensão x Tempo) e convertidos em um sinal analógico, através de uma placa de aquisição de dados. O sistema trabalhara com um inversor monofásico alimentado com uma tensão máxima de (600V) e frequência máxima de resposta do amplificado chaveado de 3kHz.

Deste trabalho espera-se obter resultados suficientes para verificar o comportamento das cargas quando são aplicados sinais transitórios, para isto o intervalo de tempo e a amplitude desses sinais serão controlados a fim de verificar os níveis suportados pela carga. A partir dos resultados obtidos pode-se ou não comprovar seus efeitos, geralmente contestados pelos fornecedores de energia e acusados de danificarem os equipamentos pelos consumidores.

II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA.

Este trabalho foi apoiado pela COSERN – Companhia Energética do Rio Grande do Norte, dentro do “Programa de Pesquisa & Desenvolvimento da COSERN. Projeto: Transitórios Eletromagnéticos em Redes de Distribuição de Energia Elétrica: Ênfase em Qualidade da Energia Elétrica” em convênio com o Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

O diagrama do módulo está apresentado na Figura 1.

Para gerar o sinal analógico a partir dos dados digitais primeiramente faremos a simulação do sistema em questão no ATP - Alternative Transients Program, do transitório obtido serão extraídos os pontos que serão transferidos para a placa de aquisição de dados através de um software de controle desenvolvido em linguagem C.

A placa de aquisição de dados converterá os sinais resultantes das simulações em sinais analógicos, esses sinais poderão ser amplificados e aplicados às cargas para verificar o funcionamento das mesmas diante da aplicação de transitórios. Os valores da tensão da saída serão de 2,5V com um nível de corrente baixo e o amplificador funcionará numa faixa de tensão de $\pm 600V$ e numa frequência de até 3kHz.

A seguir estão descritos os componentes do circuito:

- **Microcomputador:** Para efetuar a aquisição de dados da simulação em tempo real e executar as rotinas no computador. Foi utilizado um microcomputador Pentium MMX 200MHz, com 32Mb de RAM, equipado com uma placa de aquisição de dados modelo PCL 818, da Advantech. O software de controle foi desenvolvido em linguagem turbo C, no sistema operacional MS DOS.
- **Modulador por Largura de Pulso – PWM:** responsável pelo gatilhamento dos tiristores do inversor, o dispositivo utilizado é o circuito integrado de controle PWM, TL494 que é um dos CI's mais utilizados para a construção de PWM.

Nas Figuras 2 e 3, temos a forma de onda apresentada na saída do circuito PWM para uma forma de onda senoidal.

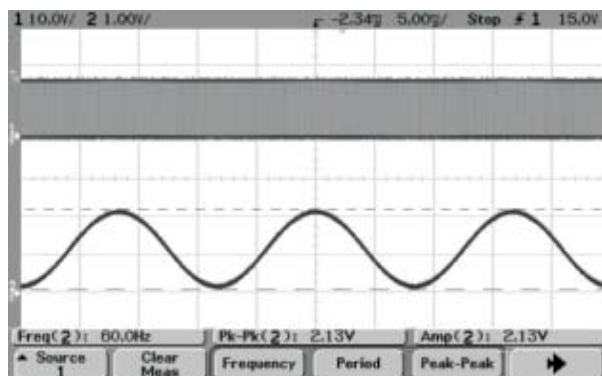


FIGURA 2 – Canal 1 – Tensão Modulada por Largura de Pulso

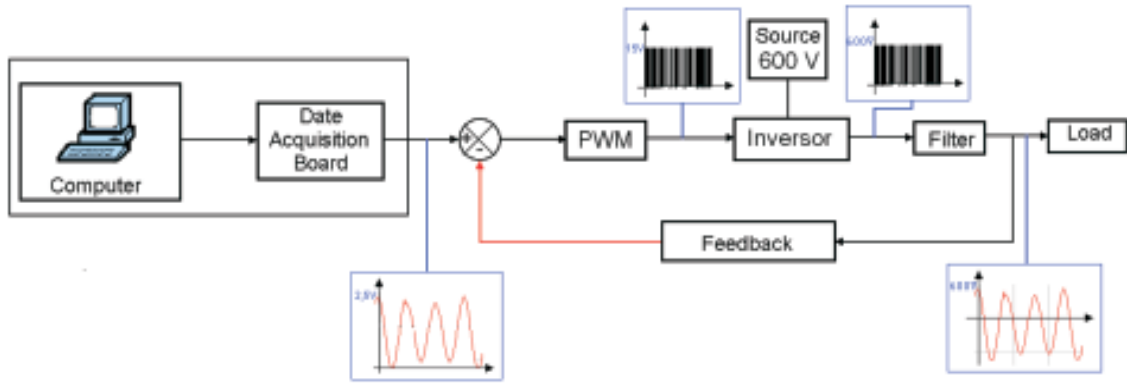


FIGURA 1 – Diagrama do Simulador de Transitórios.

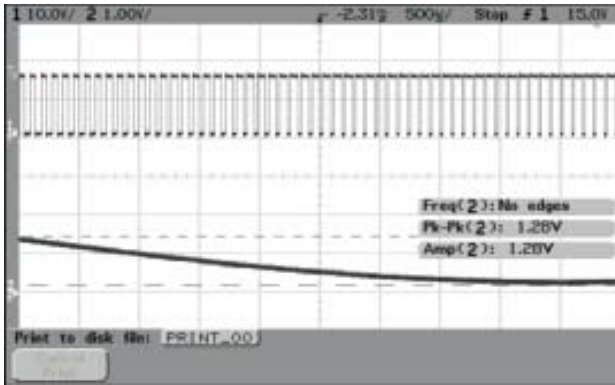


FIGURA 3 – Detalhe da Forma de Onda Modulada.

- **Conversor AC-AC:** após a modulação o sinal irá para o Inversor que converte esse sinal novamente para a forma original só que amplificado para valores em torno de 600 V. Este inversor tem a função de amplificador, substituindo um amplificador linear pois consome menos potência que as fontes lineares. Os transistores utilizados são do tipo IGBT, da Semikrom.

A estrutura utilizada está mostrada na Figura 4. A ponte H de transistores é o circuito utilizada devido a sua simplicidade e fácil implementação. Os transistores Utilizados são do tipo IGBT da Semikrom código SKT75B12, de 75 A e 1200V. Tempo Maximo de Chaveamento de 20 kHz.

Pode-se dizer que este tipo de inversor é formado por quatro choppers, onde os semicondutores conduzem aos pares (D₁-D₂, Q₁-Q₂, D₃-D₄, Q₃-Q₄).

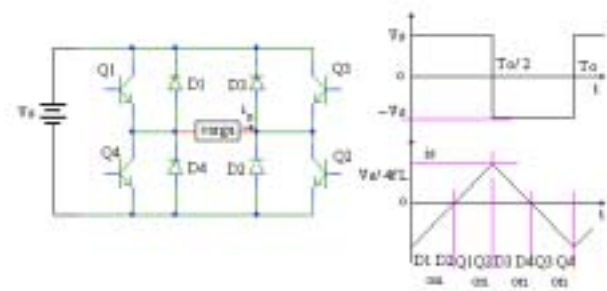


FIGURA 4 - Inversor monofásica em ponte H

A tensão de saída é dada por:

- Instantânea:

$$v_o = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{4V_s}{n \cdot \pi} \cdot \text{sen}(n \cdot \omega t) \quad (1)$$

- Componente fundamental (n = 1):

$$V_1 = \frac{4V_s}{\sqrt{2} \cdot \pi} \therefore V_1 = 0,9V_s \quad (2)$$

- RMS:

$$V_o = \left(\frac{2}{T_o} \cdot \int_0^{T_o/2} V_s^2 dt \right)^{1/2} \therefore V_o = V_s \quad (3)$$

A técnica de controle utilizada é técnica PWM escalar. Onde existe na forma de onda na carga uma tensão quadrada modulada. Cada grupo de dois transistores do braço do inversor trabalham como chaves unipolares de dois caminhos, trabalhando sincronicamente. As chaves trabalham a frequência de 15 kHz e o ciclo de trabalho e controlado e varia em função de sinal que vem do microcontrolador.

- **Filtro:** Na saída antes de alimentar a carga foi colocado um filtro passa baixas de segunda ordem para eliminar a frequência portadora e ficar com a informação de baixa frequência, fazendo com que o sinal aplicado seja o mais próximo o possível da simulação feita do transitório. Este filtro foi projetado através da transformada de Laplace, a partir da frequência de corte desejada calculamos os demais parâmetros do circuito.
- **Realimentação:** responsável pela correção de qualquer distorção que ocorra na forma de onda quando são utilizados certos tipos de cargas, foi projetada baseada em um amplificador de isolamento utilizando um sensor de corrente de efeito Hall.

Inicialmente o projeto da realimentação estava baseado no módulo HP7800, um circuito opto-acoplador, mas logo nos primeiros testes foi possível perceber que este CI não era suficientemente robusto para suportar as variações nos níveis de corrente e tensão aplicados, então optou-se por uma mudança no circuito da interfase, passando a usar um transdutor de efeito Hall. O circuito montado está apresentado na figura a seguir:

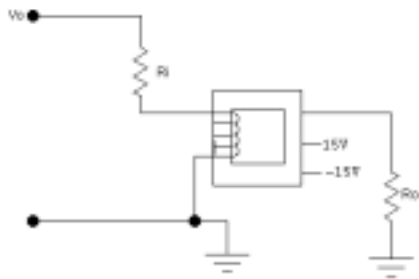


FIGURA 5 – Transdutor de efeito hall

Foram feitas medições experimentais para verificar quais os valores das resistências de entrada e de saída (R_i e R_o) manteriam a linearidade do circuito com a variação de V_o .

- **Controlador PI:** O controlador PI faz parte da realimentação sua a saída será utilizada como entrada do PWM.

Após a obtenção da tensão na saída do circuito reduzida para valores compatíveis com o circuito, através do transdutor, será necessário inserir um comparador com a tensão original gerada pelo computador, fizemos a montagem do circuito comparador utilizando amplificadores operacionais. Através da regulação de potenciômetros podemos ajustar o ganho entre uma tensão e outra.

A seguir temos o circuito do comparador implementado:

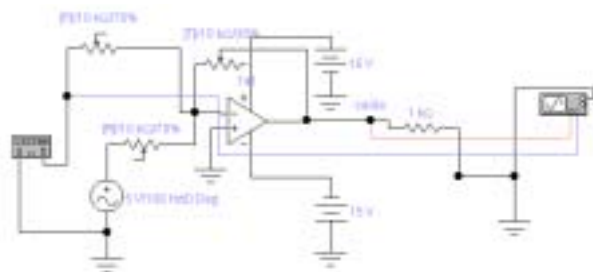


FIGURA 6 – Comparador de tensão para realimentação do circuito.

Através da regulação dos potenciômetros podemos ajustar o ganho entre uma tensão e outra. Temos o ponto que indica a saída do circuito, este ponto é que será a entrada no circuito, a forma de onda original deverá ser aplicada ao comparador, juntamente com a saída do circuito (reduzida para valores compatíveis com o circuito, através do transdutor de efeito hall).

III. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Inicialmente foram realizados testes com formas de ondas senoidais, para testar o amplificador chaveados em toda sua banda de resposta, comprovando-se um resposta na banda de 0 a 1000 Hz conforme Tabela a seguir:

TABELA 1

Resposta a frequência utilizando um sinal senoidal

Frequência	Tensão	Frequência	Tensão
10	50,16	25	50,193
50	50,16	100	50,028
150	49,995	200	49,968
250	49,968	300	49,632
350	48,642	400	47,751
450	47,718	500	47,751
550	47,685	600	47,19
700	45,738	800	44,649
900	42,57	1000	40,821

Para obter estes resultados foram realizadas, duas medições para cada frequência e feitas as médias dos valores, a tensão a ser medida era de 50V RMS, a 60Hz, o multímetro utilizado foi um com RMS verdadeiro o que garante a segurança das medidas.

Na figura 7 podemos comprovar os resultados finais da simulação, obtidas a partir de um osciloscópio, com ondas senoidais.

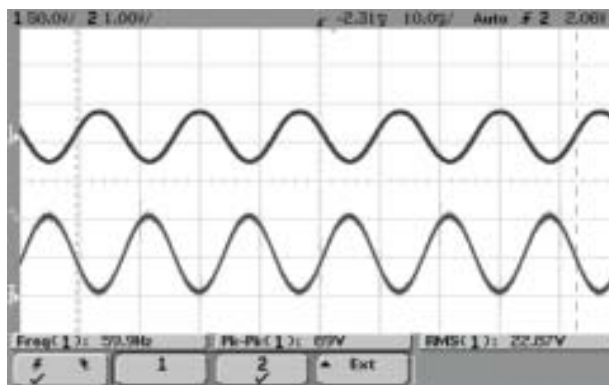


FIGURA 7 - Canal 1 – Resultado da Saída Amplificada (Tensão x Tempo)

Canal 2 – Referência: 2V (Tensão x Tempo).

Após os testes com sinais senoidais, realizamos testes com sinais simulados no ATP, o gráfico abaixo mostram o sinal simulado com valores de pico de 497,95 e -381,65V.

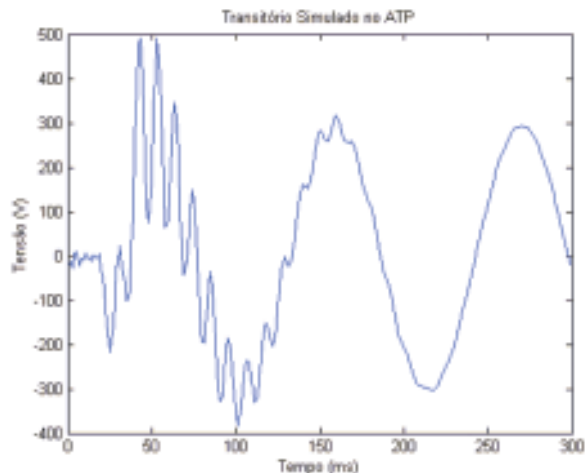


FIGURA 8 – Transitório simulado no ATP (Tensão (V) x Tempo (ms)).

A partir desse sinal na saída da placa aplicamos ao circuito e começamos a aumentar a tensão da fonte retificadora para o inversor, o limite de tensão que alcançamos foi de 140V com o variador de tensão, para tensões um pouco maiores que isso a alta potência causou interferência na Placa D/A, provocando erros no programa, outro problema ocorrido foi o disparo incorreto dos drivers controladores do inversor, este problema pode ter sido causado devido à saturação do PWM, mas pôde ser provisoriamente solucionado com uma chave de reset para os drivers, posteriormente o ponto de operação do PWM será alterado assim como a sua frequência de operação.

Em seguida realizamos medições utilizando cargas, que estão relacionadas a seguir:

- Reostato de 0-50W, ajustado em 50W.
- Telefone sem fio Panasonic, com fonte AC/DC de 220-110V, 200mA, ajustado para 110V.
- Monitor para Computador 14", com fonte de alimentação auto regulável de 110 a 240V.

A seguir temos uma das formas de ondas obtidas, nela temos os dois sinais: a saída do computador e a saída do amplificador (em negrito). A tensão de saída da placa já tinha sido salva anteriormente e aparece nos gráficos apenas como referência para a saída.

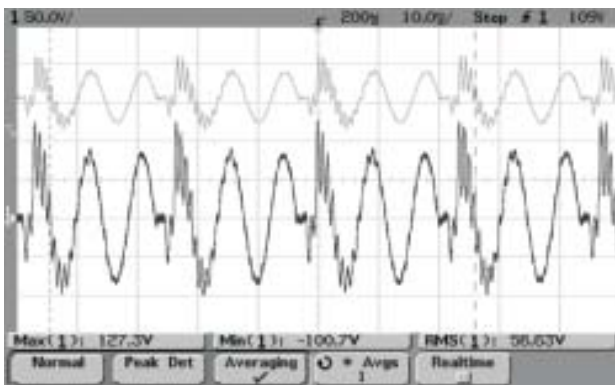


FIGURA 9 – Transitórios na saída do computador e do amplificador – Telefone Sem Fio (Tensão (V) x Tempo (ms))

IV. CONCLUSÕES

Podemos perceber que o projeto do “Módulo Simulador de Transitórios” apresenta uma grande inovação tecnológica em relação aos Simuladores similares comuns que utilizam amplificadores lineares, por utilizar Amplificadores Chaveados.

Apesar do ruído encontrado devido ao chaveamento dos Tiristores do Inversor existe a compensação com a perfeita reprodução da forma de onda desejada, o que não ocorre com outros simuladores que apenas aplicam a tensão em determinado ângulo da rede permitindo apenas uma comparação com a forma de onda simulada no ATP.

Depois de executado o projeto, já foram iniciados testes com diferentes cargas, tal como descrito na anteriormente. Aparentemente, nenhuma das cargas testadas, até agora, apresentou qualquer dano evidente com relação ao funcionamento dos mesmos, a variação de temperatura também foi analisada e nenhuma alteração detectada, alguns ajustes ainda estão sendo feitos para que possamos atingir maiores níveis de potência e frequência de trabalho e realizar novos testes que venham a comprovar ou não o efeito dos transitórios nas cargas.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ogata, Katsuhiko. *Engenharia de Controle Moderno*, 3ª ed., IEC, São Paulo, 1998.
- [2] Gruiter, A. F. *Amplificadores Operacionais*, McGraw Hill – São Paulo, 1998.
- [3] Pomilio, J.A. “Técnicas de Modulação de Potência”, *Eletrônica de Potência – Cap. 2*, DCSE – FEEC – UNICAMP, 2000.
- [4] Holtz, J. “Pulsewidth Modulation for Electronic Power Conversion”, *Fellow – IEEE*, WUPPERTAL UNIVERSITY, Germany.
- [5] DataSheet do TL494, National Components
- [6] CIRCUTOR S.A., *Manual do Analisador de Redes AR5*.
- [7] CIRCUTOR S.A., *Manual do Software Power Vision*.
- [8] IEC 555-3, “Disturbances in Supply Systems Caused by household appliances and similar electrical equipment”, Ed. 1982.