

FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO ENSINO DE CONVERSORES ESTÁTICOS EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA BASEADAS NA PLATAFORMA JAVA (PARA AMBIENTES DISTRIBUÍDOS).

Leonardo Poltronieri Sampaio, Dr. Flávio A. S. Gonçalves, Prof. Dr. Carlos Alberto Canesin - Engenharia Elétrica – Departamento de Engenharia Elétrica – Faculdade de Engenharia - Campus de Ilha Solteira.

Sabendo que a educação de qualidade é a chave para o desenvolvimento tecnológico do país e visando o ensino à distância, este trabalho apresenta ferramentas de simulação que utilizam os benefícios da plataforma JAVA para proporcionar uma metodologia dinâmica e interativa ao ensino da operação de retificadores (conversão CA/CC) idealizados em regime permanente (monofásicos e trifásicos).

A primeira etapa do projeto consistiu no aprimoramento e criação de novas funções, empregando a plataforma *J2EE*, para as rotinas desenvolvidas previamente em [1]. Nesta etapa efetuou-se a divisão da estrutura prévia em uma arquitetura celular de módulos concorrentes parametrizáveis (módulo de entrada de dados, módulo de desenho de formas de onda, módulo de desenho dos circuitos esquemáticos das topologias, módulo de solução de métodos matemáticos e visualização de resultados), e o desenvolvimento do protocolo de intercâmbio de dados entre os módulos concorrentes implementados.

Dentre as novas funções disponíveis estão ferramentas de zoom e de cursor nos módulos de desenho de formas de onda, animações dinâmicas ilustrando a interligação entre as formas de onda de corrente e tensão com os estados de operação da topologia analisada, e a opção de escolha do método numérico a ser utilizado na solução das equações não-lineares. Além disso, as ferramentas propiciam a determinação dinâmica do comportamento da estrutura retificadora analisada em função do ponto de operação estipulado através do ângulo relativo à carga (ϕ), do ângulo de extinção da corrente (β) e do ângulo de disparo (α) no caso das topologias com interruptores controlados. Adicionalmente, as ferramentas também permitem a geração do arquivo de simulação da estrutura utilizando o formato Pspice.

Inicialmente, as modificações concentraram-se sobre a ferramenta de projeto denominada “Ábaco 1”, que tem por finalidade determinar o ângulo de extinção da corrente (β) em função do ângulo de carga (ϕ), para a topologia do retificador monofásico de meia onda não controlado. A figura 1 mostra a primeira versão do “Ábaco 1” e a versão atual contendo os novos módulos implementados.

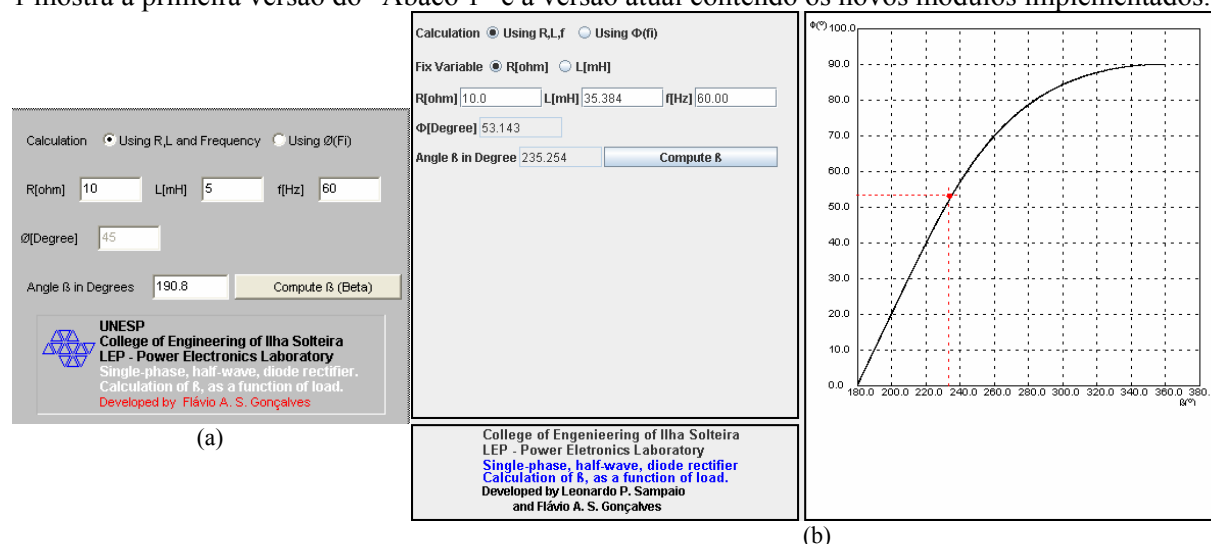


Figura 1 - Ábaco 1: (a) primeira versão e (b) versão atual.

Um módulo parametrizável para resolução dos métodos numéricos foi adicionado, permitindo a escolha dinâmica das equações e dos métodos numéricos a serem utilizados, facilitando assim a sua reutilização pelas demais ferramentas desenvolvidas. Especificamente, o método numérico de *Newton-Raphson* foi empregado para determinar a solução do problema, dado por (1), nesta ferramenta.

$$\text{sen}(\beta - \phi) + \text{sen}(\phi) \cdot e^{\frac{-\beta}{\tan(\phi)}} = 0 \quad (1)$$

Nesta ferramenta, o usuário possui a opção de inserir valores de parâmetros do circuito, tais como: o ângulo de carga (ϕ), a resistência, a indutância, a frequência angular das formas de onda de tensão nas caixas de textos, e obter o valor do ângulo extinção de corrente (β), ou ainda, de determinar o valor dos elementos da carga que resultem no ângulo (β) especificado. Atribuindo uma maior dinamicidade aos ábacos, desenvolveu-se um módulo para o desenho da curva das soluções das equações não-lineares, contendo um cursor sobre a curva, o qual pode ser deslocado obtendo uma resposta automática dos valores dos ângulos β e ϕ , bem como o valor da resistência ou da indutância.

Na sequência, a ferramenta que realiza os cálculos da corrente eficaz (I_{ef}) e da corrente média (I_{md}) normalizada para o retificador monofásico de meia onda não controlado, denominada de “Ábaco 2”, passaram por modificações análogas às efetuadas no “Ábaco 1”. O módulo matemático foi configurado com as equações (2) e (3) e com o método numérico de “1/3 de Simpson”.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^\beta (\text{sen}(\omega t - \phi) + \text{sen}(\phi) e^{\left(\frac{-t}{\tan(\phi)}\right)})^2 \cdot d(\omega t)} \quad (2)$$

$$I_{md} = \frac{1}{2\pi} \int_0^\beta (\text{sen}(\omega t - \phi) + \text{sen}(\phi) e^{\left(\frac{-t}{\tan(\phi)}\right)}) \cdot d(\omega t) \quad (3)$$

Além disso, o módulo de desenho das formas de onda dos resultados incluiu a opção do cursor móvel nesta ferramenta. A figura 2 fornece uma visualização da evolução desta ferramenta de projeto.

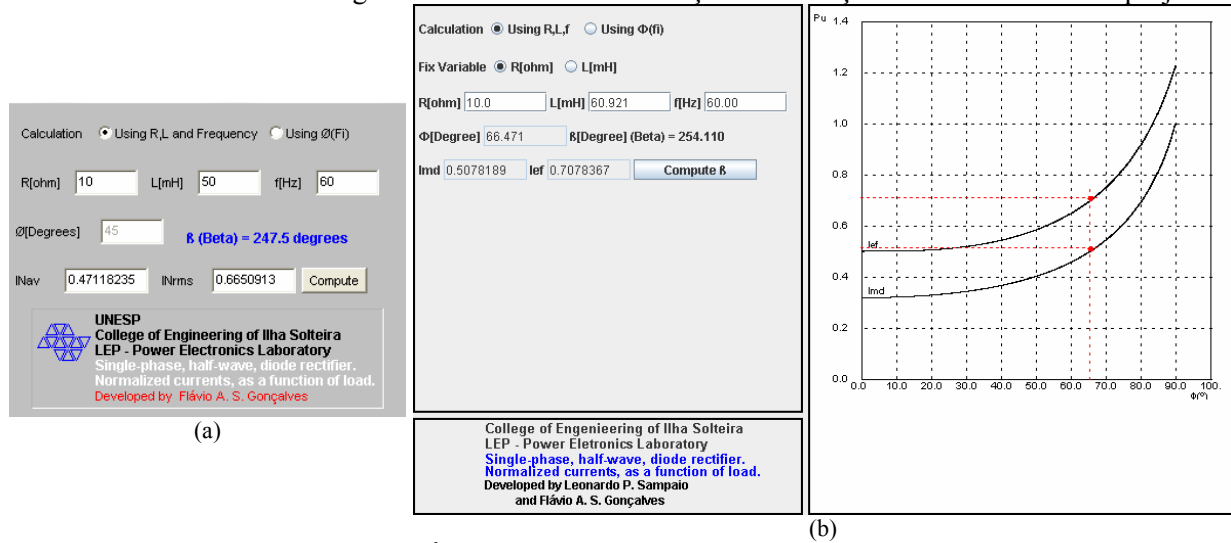


Figura 2 - Ábaco 2: (a) primeira versão e (b) versão atual.

Finalmente, a ferramenta de determinação do ângulo de extinção da corrente (β), contemplando as topologias de retificadores monofásicos e trifásicos não controlados e controlados, e cargas do tipo R-L-E foi atualizada com os novos módulos desenvolvidos. Esta ferramenta é mais conhecida como “Ábaco de Pushlowski”, o módulo matemático foi configurado com a equação (4) e com o método numérico de *Newton-Raphson* para determinar o ângulo de extinção (β) de acordo com os parâmetros descritivos da topologia analisada (características da carga, tipo de topologia, ângulo de disparo, etc).

$$\left[\cos(\phi) \cdot \text{sen}(\beta - \phi) - \frac{E}{\sqrt{2} \cdot V_0} \right] + \left[\frac{E}{\sqrt{2} \cdot V_0} - \cos(\phi) \cdot \text{sen}(\alpha - \phi) \right] \cdot e^{\frac{\beta - \alpha}{\tan(\phi)}} = 0 \quad (4)$$

O módulo gráfico desta ferramenta de projeto desenha sete formas de onda estáticas, representando a região de operação disponível para a topologia selecionada, e uma forma de onda dinâmica. A forma de onda dinâmica, de coloração azul, apresenta uma curva contendo o ponto de operação determinado a partir dos parâmetros descritivos de operação inseridos pelo usuário. Este

ponto de operação pode ser movimentado através dos botões do mouse, variando o ângulo de carga através do botão direito e o ângulo de extinção de corrente através do botão esquerdo do mouse.

A versão atual da ferramenta “Ábaco 10” e sua versão anterior são apresentadas na figura 3. Esta ferramenta também gerencia e analisa a entrada de dados pelo usuário, informando a existência de parâmetros incorretos ou que possuem valores fora dos limites permitidos para a operação da topologia.

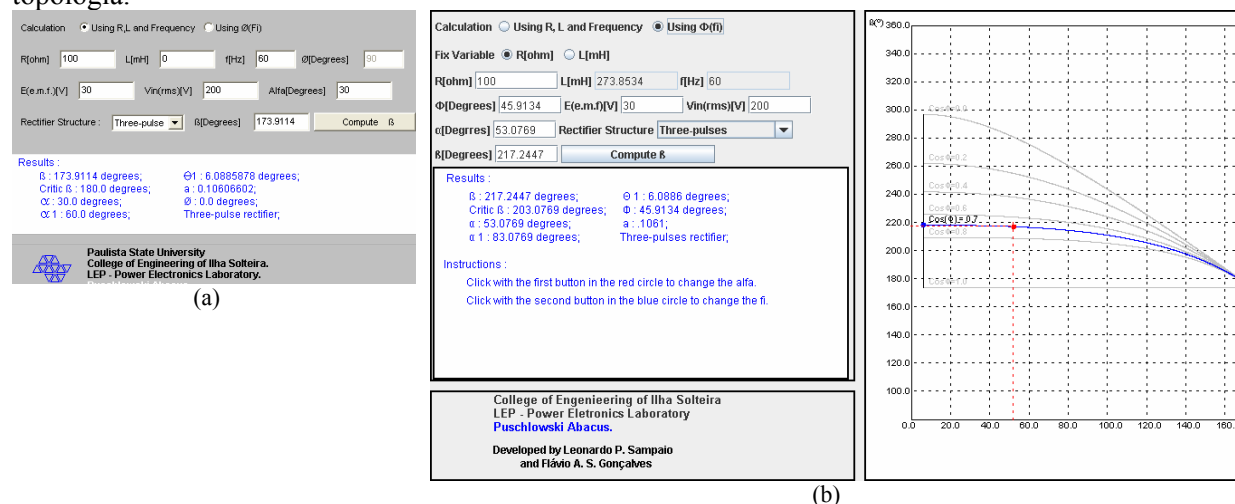


Figura 3 - Ábaco 10 : (a) primeira versão (b) versão atual.

Após a conclusão das modificações nos ábacos iniciou-se a junção dos mesmos com os módulos de simulação das topologias retificadoras. Inicialmente, a ferramenta de simulação do Retificador Monofásico de Meia onda a Diodo foi interligada com o “Ábaco 1”, para isso, inseriu-se um componente que permite separar quadros de informação por abas. Selecionando estas abas o usuário pode optar por analisar as formas de onda de tensão e de corrente do componente integrante da topologia selecionado, ou, analisar a posição do ponto de operação na forma de onda relativa à extinção da corrente. Desta maneira, como as ferramentas estão interligadas (ábaco e simulador), o usuário pode verificar o comportamento do circuito analisado informando os parâmetros do circuito através dos campos disponíveis ou selecionando um ponto de operação diretamente na forma de onda de extinção de corrente em função de ângulo de carga. A figura 5 apresenta uma visualização geral desta ferramenta de simulação.

Assim, ao modificar o valor da Resistência, da Indutância, da frequência, ou o valor do ângulo de carga (ϕ) a forma de onda da tensão e da corrente são alteradas automaticamente, podendo-se também modificar estes valores movimentando-se o cursor vermelho sobre a curva do ábaco.

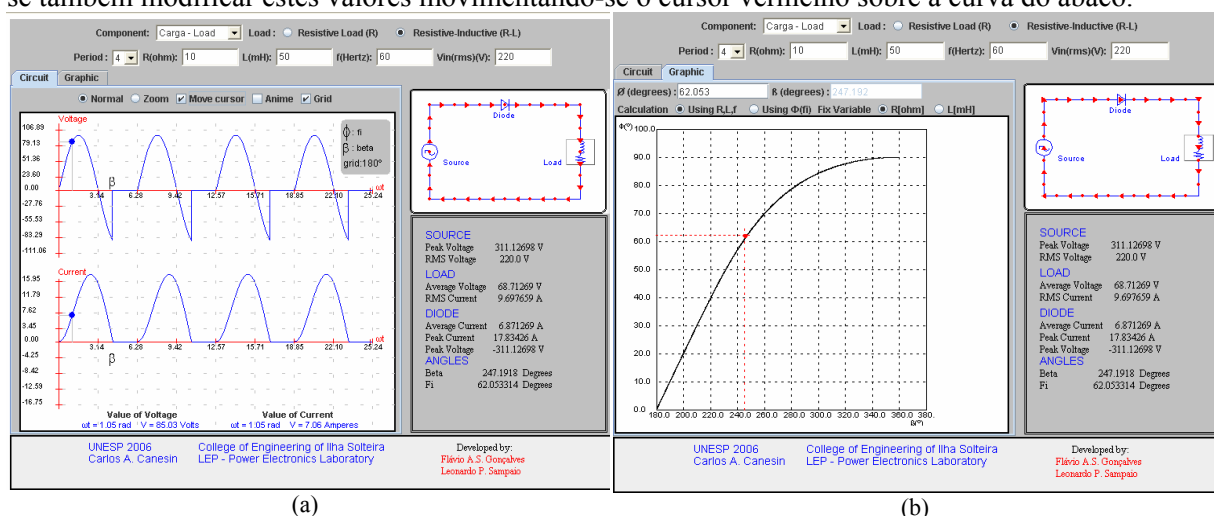


Figura 4 - Simulação de um Retificador Monofásico de Meia Onda a Diodo. (a) Exibindo as formas onda de tensão e corrente; (b) Exibindo a forma de onda característica do “Ábaco 1”.

Outra parte importante do trabalho de pesquisa foi o desenvolvimento do módulo de desenhos de forma de onda, apresentado na figura 5. Este módulo é o responsável por desenhar as formas de

onda da tensão e da corrente de acordo com a topologia do circuito e do componente selecionado. Adicionou-se uma ferramenta de zoom que permite selecionar uma área contendo as formas de onda e ampliar proporcionalmente, conforme o tamanho do retângulo traçado. Ao selecionar o zoom sobre a forma de onda da tensão, essa é ampliada no tamanho e na largura, enquanto a forma de onda da corrente é ampliada apenas na largura. Este módulo também apresenta dois cursores, um sobre a forma de onda da tensão e outro sobre a forma de onda da corrente, selecionando o botão esquerdo do mouse sobre algum desses cursores pode-se navegar pela forma de onda e os valores pontuais correspondentes de tensão e corrente são exibidos para o usuário.

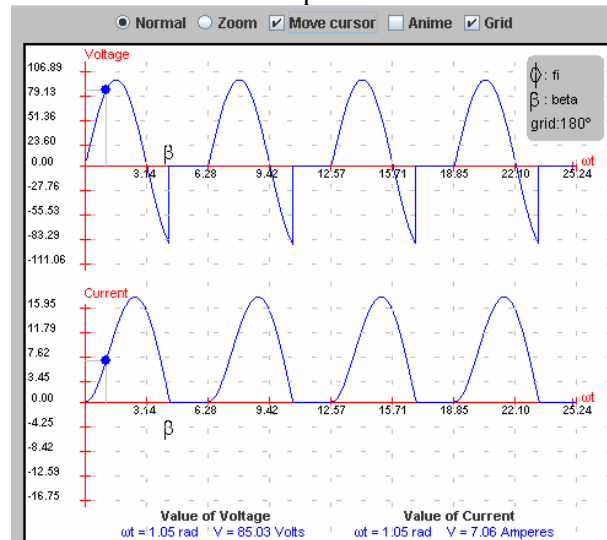


Figura 5: Formas de onda de tensão e de corrente do componente selecionado

O módulo de construção genérico dos circuitos esquemáticos está baseado inicialmente em uma estrutura de sete colunas e cinco linhas, formando uma malha correspondente a uma matriz 5x7. O circuito esquemático é montado à partir da adição de componentes nos nós da matriz. Basicamente, na construção informa-se o componente a ser inserido, sua posição na matriz e sua orientação. Para cada componente criado foram agregados parâmetros da sua localização (gerada automaticamente pelo nó) e orientação. Como saída, o módulo desenha na malha a forma do componente, como ilustra a figura 6. Este módulo também recebe parâmetros do módulo principal indicando como será a animação das etapas de funcionamento, mostrando a trajetória da corrente pelo circuito, estando diretamente interligada com a forma de onda de corrente.

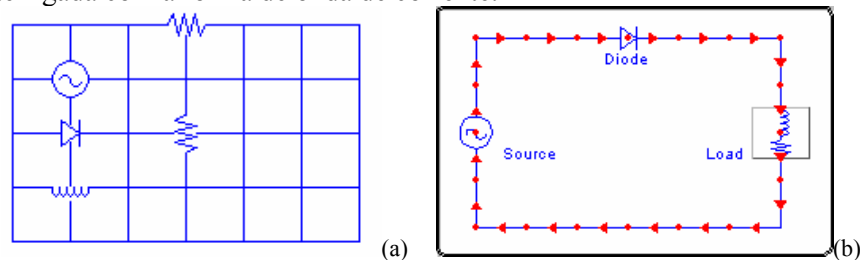


Figura 6 – Módulo de construção genérico de circuitos esquemáticos.

Através da utilização das ferramentas educacionais desenvolvidas o estudante, que está ingressando na disciplina, possui a facilidade de poder efetuar as simulações, analisar os resultados de maneira imediata e dinâmica, auxiliando-o de forma significativa no aprendizado de eletrônica de potência. Adicionalmente, a estruturação celular dos módulos facilitará a execução da segunda etapa do projeto que consiste no desenvolvimento de novas estruturas de conversores estáticos abrangendo os conversores CC/CC, CC/CA e demais estruturas CA/CC.

Referências Bibliográficas:

[1] GONÇALVES, Flávio Alessandro Serrão; CANESIN, Carlos Alberto. JAVA APPLETS PARA UM SOFTWARE EDUCACIONAL DISTRIBUÍDO EM ELETRÔNICA DE POTÊNCIA. Revista Brasileira de Controle & Automação (SBA), v. 13, p. 314-326, 22 dez. 2002.

Bolsa: PIBIC, FEPISA (até Julho/2006)