



Anais do XXXIV COBENGE. Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, Setembro de 2006.
ISBN 85-7515-371-4

FONTES DE TENSÃO LINEARES: AMBIENTE INTEGRANDO CÁLCULO, ANÁLISE E OTIMIZAÇÃO

Jonathan Aguiar Esperidon – aguiaresperidon@yahoo.com.br

Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Departamento de Circuitos Elétricos.

Campos Universitário, Bairro Martelos
36036-330, Juiz de Fora – MG – Brazil

Thiago Correa César – ctu_warrior@yahoo.com.br

Francisco José Gomes – chicogomes@terra.com.br

***Resumo:** Este trabalho apresenta um ambiente computacional interativo, com características tutoriais, para aprendizado no procedimento de elaboração de projetos de fontes de alimentação lineares, necessárias ao funcionamento correto de praticamente todos os equipamentos eletrônicos, sejam eles residenciais, científicos, de pequeno porte ou até mesmo sistemas de grande porte, como nas grandes fontes que alimentam centrais telefônicas. O ambiente proposto permite o correto dimensionamento de todas as partes constituintes de uma fonte de alimentação - número de espiras do transformador, arranjo e valor dos diodos retificadores, arranjo e valores dos componentes do filtro e circuito regulador de tensão. A partir dos dados de entrada, fornecidos pelo usuário, são calculados os valores dos componentes constituintes da fonte, de forma interativa, em um procedimento passo a passo, utilizando para isto o banco de dados do sistema, com componentes comerciais catalogados, que podem ser utilizados para alcance das condições impostas pelo usuário. O aspecto diferencial do ambiente desenvolvido é seu caráter tutorial, que disponibiliza para o usuário a possibilidade de inserir no projeto outros componentes que os sugeridos, mostrando os resultados decorrentes, sobre as formas de onda e a regulação, das escolhas efetuadas. O enfoque adotado para o ambiente, interativo e tutorial, resulta em uma ferramenta simples, porém, poderosa e abrangente no assunto de projetos de fontes de alimentação, seja ele um estudante de engenharia elétrica ou mesmo um profissional da área de eletrônica.*

***Palavras-chave:** Fontes de Alimentação, Fonte Lineares, Projetos, Ambiente Computacional.*

1. INTRODUÇÃO

Fontes de alimentação são componentes praticamente onipresentes no mundo atual. Esta característica decorre do fato que, se por um lado a quase totalidade dos circuitos eletrônicos requer corrente contínua para sua operação, por outro, mesmo em aparelhos que usam pilhas ou baterias, pode haver necessidade de conversão de sua tensão para os níveis de operação utilizados pelos circuitos. Assim, qualquer aparelho eletrônico que utilize a rede elétrica necessitará uma fonte de alimentação para converter a tensão alternada para tensão ou tensões contínuas. Dada esta demanda, diversificada sob todos os aspectos, as possibilidades técnicas para o projeto das fontes de alimentação são também variadas, permitindo múltiplas opções no tocante à regulação, potência, níveis de *ripple* e mesmo aspectos periféricos como peso, volume, entre outros. Dentro desta miríade, as fontes de alimentação lineares constituem a base conceitual preliminar e mesmo a “peça de resistência” sobre o tema. Contudo, apesar de sua aparente simplicidade, disseminação e espectro de utilização, é fato extremamente comum a situação onde equipamentos apresentam funcionamento inadequado ou simplesmente falham por problemas à elas associados.

A solução desta situação exige que, atrelado ao conhecimento dos diversos tipos de fontes de alimentação, bem como de suas vantagens e desvantagens, exista o conhecimento básico dos procedimentos que respaldam os respectivos projetos. Esta situação levou à proposição do presente trabalho, que apresenta uma ferramenta computacional, com características interativas e tutoriais, para a orientação de projetos de fontes de alimentação lineares.

O ambiente computacional gerado permite que o usuário desenvolva o projeto das principais partes constituintes de uma fonte de alimentação - regulação, filtragem, retificação e o transformador. Dentro do projeto de cada uma dessas partes, é oferecida ao usuário a possibilidade de configurações diversas, permitindo a opção de simulações diferenciadas, com diferentes topologias, confrontando os resultados na busca de um projeto com características otimizadas, para as condições nominais referenciais do projeto. Adicionalmente, o ambiente permite que o usuário efetue seus próprios cálculos e escolhas de componentes, porém disponibiliza informações relativas às consequências destas alterações.

O ambiente tutorial desenvolvido oferece um conjunto de facilidades aos seus usuários, dentre as quais a existência de um banco de dados com valores e informações comerciais de componentes que podem ser utilizados na fonte a ser projetada, permitindo um projeto realista e coerente com os valores e dados operacionais dos componentes reais de mercado. Todo o ambiente foi desenvolvido utilizando-se uma linguagem orientada a objetos que permite a criação de ambientes de interfaces amigáveis ao usuário, facilitando o seu entendimento.

O trabalho está organizado como segue: a seção 2 realiza uma revisão dos fundamentos teóricos das fontes de alimentação, a seção 3 contempla a implementação do ambiente e a seção 4 os resultados do desenvolvimento do ambiente gráfico. As conclusões finais do trabalho são apresentadas na seção 5.

2. FONTES DE ALIMENTAÇÃO

As fontes de alimentação em corrente contínua podem ser de dois tipos, fontes não reguladas e fontes reguladas. As fontes não reguladas são modelos simples onde não há qualquer mecanismo para controle dos valores de saída. Essas fontes não se preocupam se a sua saída irá sentir variações na entrada, ou seja, mudanças bruscas ou mínimas de tensão na entrada serão refletidas na saída desse tipo de fonte. Já as fontes reguladas são fontes que possuem em sua estrutura constituinte o circuito de uma fonte não regulada em adição com circuito

regulador cuja função é a manter constante o valor de saída, independente as variações de suas condições de funcionamento.

Basicamente, as fontes de alimentação reguladas podem ser classificadas entre lineares e chaveadas dentre uma imensa gama de variedades. O desenvolvimento de fontes chaveadas teve início na década de 1960, com a demanda do programa espacial que exigia o desenvolvimento de sistemas de energia elétrica de baixo peso, alta performance, confiabilidade e eficiência. Estas, apesar de inúmeros benefícios são de difícil implementação, apresentam problemas quanto a geração de harmônicos, seu nível de *ripple* e inferiores valores de regulação quando comparadas com as fontes lineares.

No trabalho desenvolvido foram abordadas apenas as fontes lineares reguladas, haja vista sua grande aplicabilidade e base conceitual. Estes equipamentos são constituídos, em sua estrutura básica, por um primeiro módulo, integrado basicamente pelo circuito de uma fonte não regulada, seguido de um segundo módulo, que é o circuito regulador e cuja função é manter constante o valor de saída, independente de alterações em suas condições de funcionamento. O projeto deste equipamento deve garantir que sua saída apresente uma tensão contínua pré-determinada, independente da corrente de saída, de variações da temperatura ambiental ou distúrbios na tensão da rede alternada de alimentação da entrada.

Em sua configuração mais comum, as fontes contínuas são constituídas dos seguintes blocos construtivos: transformador, retificador, filtro e circuito retificador. Para cada um dos blocos constituintes será efetuada, em separado, uma revisão conceitual para melhor acompanhamento do trabalho desenvolvido.

2.1 Transformador

O transformador é uma máquina elétrica estática que funciona com base no princípio da indução eletromagnética abordado em KOSOW (2000), sendo utilizado para transferir energia elétrica entre dois ou mais circuitos elétricos magneticamente acoplados, de uma forma econômica, com mudanças de tensão e corrente, mantendo constante a frequência. Nas fontes de alimentação o transformador tem como função adequar o nível de tensão alternada da rede ao nível correto de tensão alternada que se deseja, além de fornecer o isolamento necessário.

No projeto desse dispositivo, o ambiente tutorial permite o dimensionamento dos seguintes parâmetros: número e bitola das espiras do primário e do secundário além da seção do núcleo do transformador.

2.2 Retificação

O processo fundamental da fonte é a retificação. Isto é feito normalmente por diodos, componentes que só permitem a passagem da corrente em uma direção, como detalhado por BOYLESTAD e NASHELSKY, (1999). Existem três tipos principais de retificadores: retificador de meia onda, retificador de onda completa e o retificador em ponte, mostrado por ROEHR (1993). Todas essas três topologias podem ser projetadas a partir do ambiente gerado, o qual dimensiona esses componentes em função da tensão reversa, e de um conjunto de correntes suportadas pelo componente.

2.3 Filtro

A saída resultante de um retificador é uma tensão contínua pulsante, ainda não adequada, via de regra, para alimentar a carga conectada à fonte. No trabalho de SEDRA e SMITH (200), verificamos a necessidade de um filtro para que a tensão DC de saída da fonte seja mais estável. Fica evidente, portanto, que uma fonte deve dispor de filtro para reduzir o valor

da componente alternada ao nível aceitável pelo circuito alimentado, de forma que o fator de ondulação (*ripple*) seja reduzido para o menor valor possível (no caso ideal, nulo).

O ambiente desenvolvido disponibiliza acompanhamento tutorial para projeto de fontes com dois tipos de filtros, filtro simplesmente capacitivo e filtros LC, apresentando os valores corretos dos componentes do filtro mediante os dados nominais da fonte a ser projetada, inseridos pelo usuário.

2.4 Circuito Regulador

O circuito regulador pode aproveitar a entrada contínua advinda do filtro para produzir uma tensão que não só possua menor *ripple* mas que ainda mantenha constante seu nível de saída, mesmo para variações na entrada ou na carga conectada. Em aplicações onde se necessita valores reduzidos de corrente, essa regulação é, via de regra, obtida, utilizando-se reguladores a base de circuitos integrados, como mostrado por MALVINO (1987). Já em aplicações que necessitam maiores valores de corrente, os circuitos reguladores são constituídos de elementos discretos baseados em transistores. O projeto desenvolvido disponibiliza um conjunto de circuitos reguladores tais como: circuitos integrados da família 78xx e LM317, tipo série, tipo paralelo e a zener.

3. IMPLEMENTAÇÃO

A linguagem utilizada para implementação foi Object Pascal, usando o ambiente de Delphi da Borland para desenvolvimento, escolha esta decorrente da fácil utilização e suporte a orientação a objetos proporcionada. Disponibiliza ainda, de forma simples, recursos de interface gráfica, interação com o usuário e o uso de eventos.

As diversas opções de regulação utilizam transistores, diodos zener e circuitos integrados diferenciados, além de diversos modelos de componentes, com amplo espectro de características, que acarretam conseqüências diretamente sobre os resultados obtidos na implementação do projeto da fonte. Esta diversidade de opções, com valores que nem sempre correspondem exatamente aos obtidos nos cálculos nominais, conduziu à implementação de uma base de dados com valores reais dos componentes disponíveis no mercado permitindo ao aluno trabalhar com situações mais próximas à realidade. Adicionalmente, a utilização do banco de dados permite que o sistema cresça em possibilidades de escolha pela inserção de novos dispositivos disponibilizados pelo mercado.

O SGBD (Sistema Gerenciador de Banco de Dados) escolhido foi o Paradox 7, haja vista ser este um sistema padrão para a linguagem utilizada como visto em um trabalho recente de FELIPE (2002). Para o acesso a base, utilizou-se os componentes nativos do próprio Delphi, adicionados á filtros. As consultas mais complexas, não executáveis através de filtros, foram efetuadas através da linguagem SQL (Structured Query Language).

Como mencionado, o ambiente tutorial de projeto permite o correto dimensionamento das partes constituintes de uma fonte de alimentação. Para isto foram utilizados, no ambiente, modelos linearizados de todos os componentes envolvidos no desenvolvimento do projeto. A utilização de modelos lineares, como sabido, pode acarretar desvios em relação aos valores reais, que se tornam crescentes à medida que se afasta do ponto de operação. Para minimizar estes efeitos, buscou-se, em todos os valores calculados, estabelecer condições de operação fora da região de sobrecarga para os diversos dispositivos da fonte, como apresentado por CIPELLI e SANDRINI (1984).

A geração das curvas de saída, em estado permanente, da etapa de filtragem do sinal retificado envolveu solução de equações transcendentais, incluindo termos exponenciais e

senoidais desenvolvidos no trabalho de CLOSE (1967), para cuja solução foi utilizado o método da bisseção encontrado no trabalho de BUCHANAN e TURNER (1992).

4. O AMBIENTE GRÁFICO DESENVOLVIDO

A implementação do trabalho abrangeu o desenvolvimento de um ambiente tutorial de projeto que possibilitasse ao usuário utilizar, de forma fácil e integrada, todas as ferramentas incorporadas ao software. Dentro do enfoque de se obter um produto totalmente amigável, o ambiente apresenta uma janela principal onde o usuário pode escolher, dentre diversas topologias existentes, aquela de seu interesse, abrindo a possibilidade de selecionar os tipos de regulação, filtro e circuito regulador que a fonte deve apresentar. A janela principal do ambiente desenvolvido pode ser visualizada na Figura 1. A seguir é apresentada uma seqüência de operações para o projeto de uma fonte.

- 1) Selecionar o tipo de retificação: meia onda, onda completa com tap central ou onda completa com circuito em ponte;
- 2) Selecionar o tipo de filtro a ser utilizado: filtro capacitivo ou filtro LC;
- 3) Selecionar um dos tipos de circuito regulador disponibilizado;
- 4) Depois de selecionadas as topologias dos blocos constituintes da fonte, devem ser inseridos os valores nominais da fonte como: corrente de carga, tensão de saída da fonte, tensão e frequência da rede de alimentação;

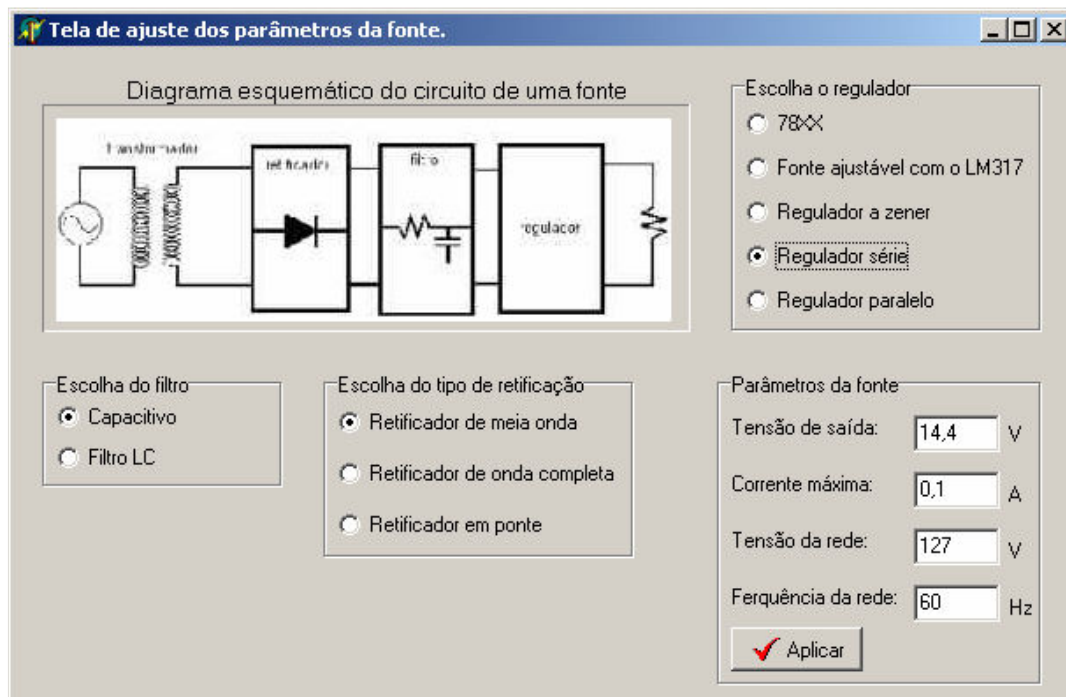


Figura 1 – Tela inicial do ambiente

5) O procedimento prossegue então passo a passo, efetuando os cálculos e disponibilizando os resultados encontrados, confrontando-os com os sugeridos pelo usuário, quando for o caso.

Serão apresentados a seguir dois exemplos de utilização do ambiente tutorial proposto. O primeiro exemplo contempla o projeto de uma fonte de alimentação com as seguintes especificações: retificação de onda completa em ponte, filtro capacitivo e circuito de regulação tipo série. O segundo exemplo aborda o projeto de uma fonte variável, com as

seguintes especificações: retificação de onda completa com tap central, filtro capacitivo e circuito de regulação utilizando o circuito integrado LM317.

4.1 Exemplo de utilização I

Para melhor visualização das facilidades e procedimentos fornecidos pelo ambiente desenvolvido, apresenta-se um exemplo com demonstração de alguns resultados obtidos, bem como os procedimentos para sua utilização. Em sua janela principal, mostrada na Figura 1, escolheu-se como tipo de retificação a de meia onda. Escolhido o tipo de retificação, selecionou-se o filtro desejado, no caso um filtro capacitivo. Selecionou-se, a seguir, o tipo de regulação, adotando um regulador do tipo série e inserindo-se, finalmente, os valores nominais da fonte. Para o exemplo em foco, foram fornecidos os seguintes parâmetros de entrada:

- Tensão de saída: 14,4 Volts;
- Corrente máxima: 0,1 A;
- Tensão da rede: 127 Volts;
- Frequência da rede: 60 Hz.

Ajustados os parâmetros da fonte desejada, o ambiente exibe uma tela mostrando todo o circuito da fonte requerida (figura 2).

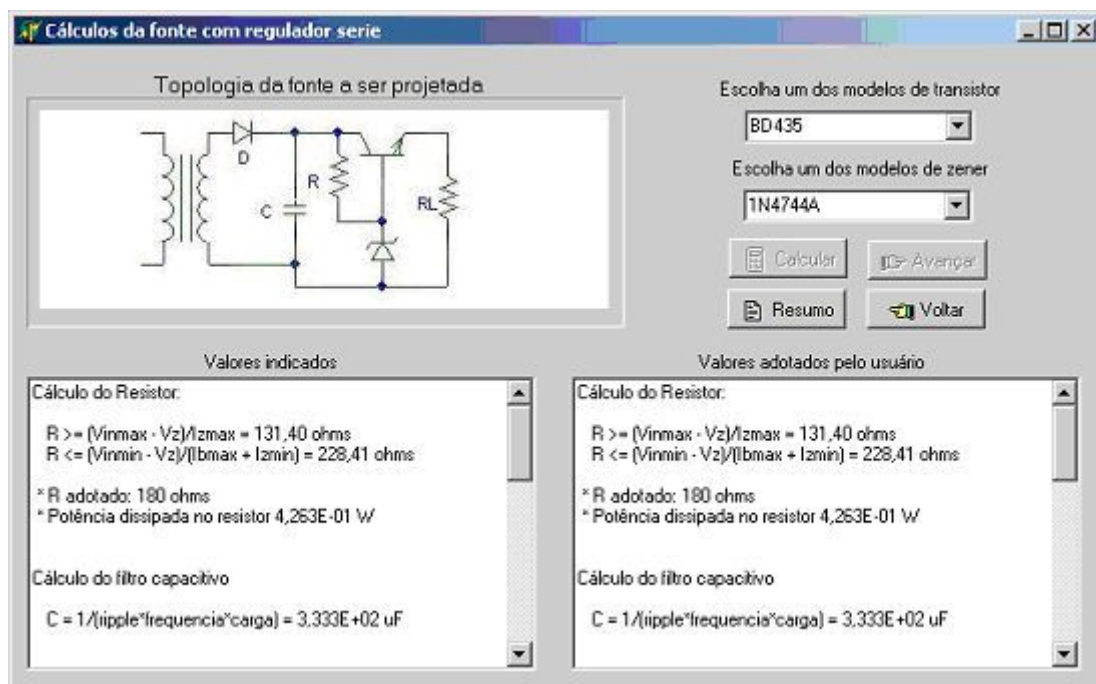


Figura 2 – Tela de cálculos da fonte requerida.

Na janela da figura 2 o usuário escolhe uma das opções de transistores e de diodos zener sugeridos pelo programa, existentes na base de dados e que atendam às especificações nominais da fonte. O programa calcula então os valores dos componentes mostrando, passo a passo, as equações e as respectivas respostas, em uma relação interativa com o usuário. A cada componente especificado, o programa disponibiliza para o usuário a possibilidade de utilização de valores diferentes daqueles sugeridos pelo ambiente. Caso positivo, o usuário deve inserir o valor desejado, com a restrição que ele esteja dentro da faixa de regulação e de otimização do projeto (figura 3).

Ao final deste processo é apresentada ao usuário uma terceira tela contendo resumidamente as especificações da fonte projetada, além de uma resposta gráfica. Esta apresenta as formas de onda da saída do filtro e da fonte (figura 4).

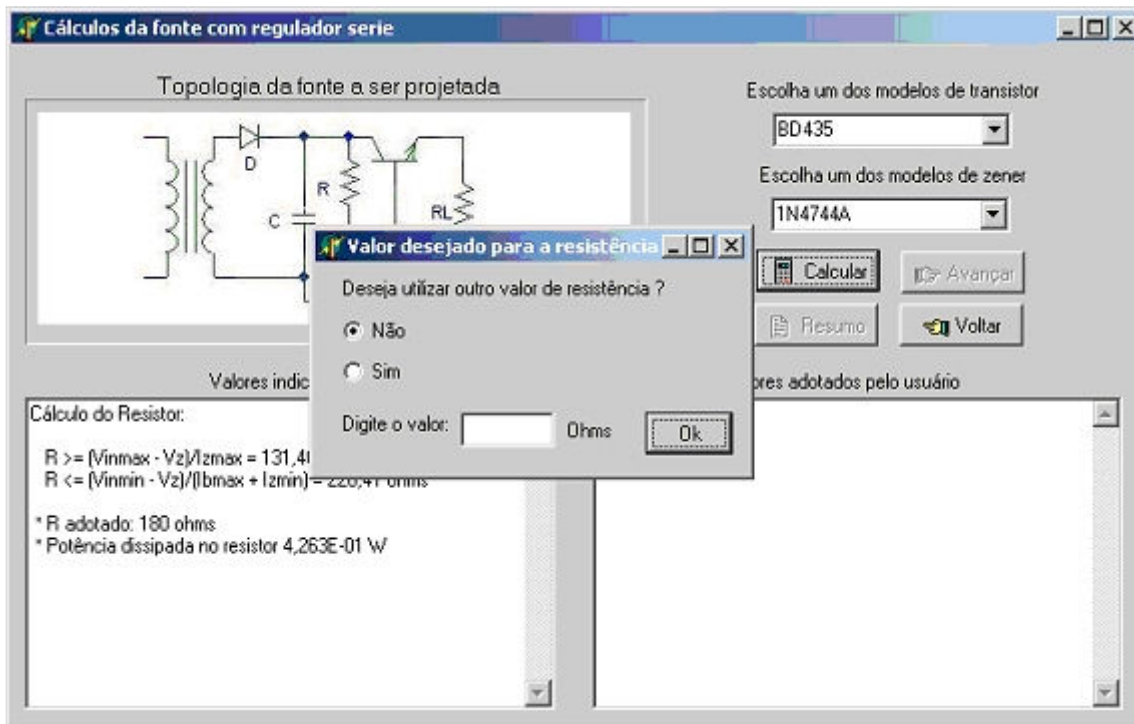


Figura 3 – Tela de cálculos da fonte requerida

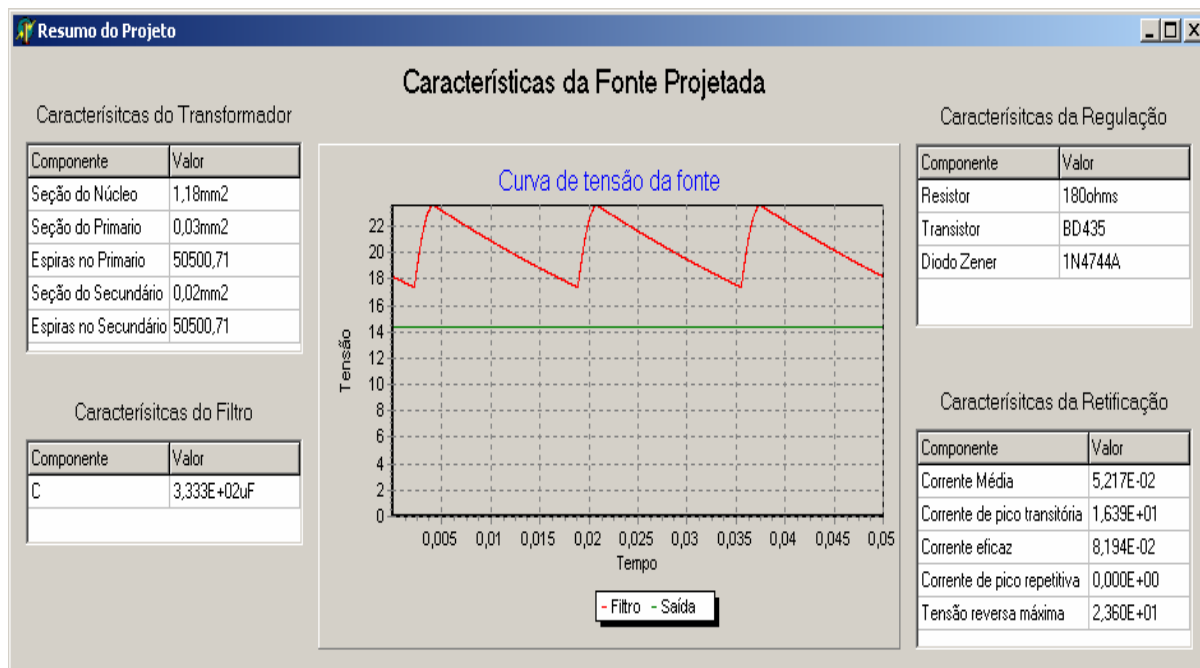


Figura 4 – Tela de saída com todos os dados da fonte.

Para efeito de análise dos resultados obtidos pelo programa é apresentado, na figura 5, o resultado obtido para o mesmo projeto, simulado no consagrado software Pspice versão 9.2.

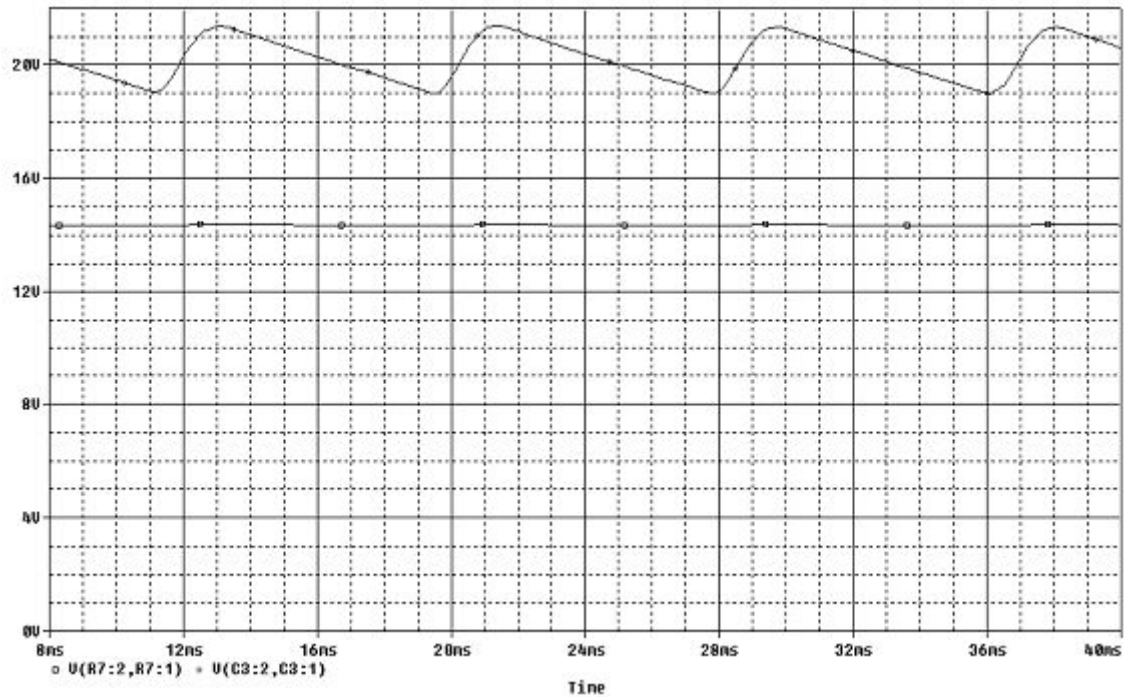


Figura 5 – Simulação do projeto no Pspice

Por observação das formas de onda oriundas da simulação, vê-se que o comportamento apresentado pelas mesmas demonstra características bem semelhantes às obtidas nos gráficos de resposta gerados pelo ambiente tutorial de projeto. Assim pode-se atestar a confiabilidade do ambiente desenvolvido.

4.1 Exemplo de utilização II

Como mencionado anteriormente, este segundo exemplo trata do projeto de uma fonte com tensão de saída variável. Para isto, na janela principal do ambiente tutorial de projeto, mostrada na figura 6, foi escolhido como tipo de retificação o de onda completa com tap central. Escolhido o tipo de retificação, selecionou-se o circuito de filtro desejado, no caso um filtro capacitivo. Em seguida foi selecionado o tipo de regulação, adotando um circuito regulador constituído basicamente pelo circuito integrado LM317. Foram, finalmente, inseridos os valores nominais da fonte, representados pelos seguintes parâmetros de entrada:

- Tensão de saída: 15 Volts;
- Corrente máxima: 0,2 A;
- Tensão da rede: 127 Volts;
- Frequência da rede: 60 Hz.

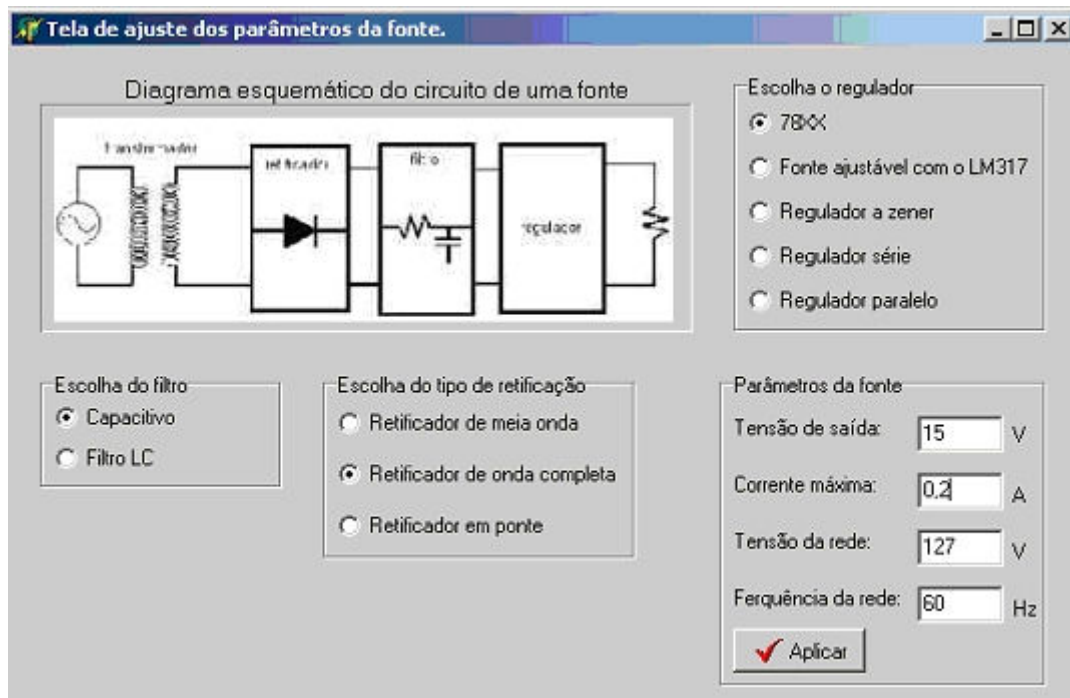


Figura 6 – Tela inicial do ambiente

Assim como no exemplo 1, ajustados os parâmetros da fonte desejada, o ambiente exibe uma tela contendo o circuito da fonte requerida (figura 7).

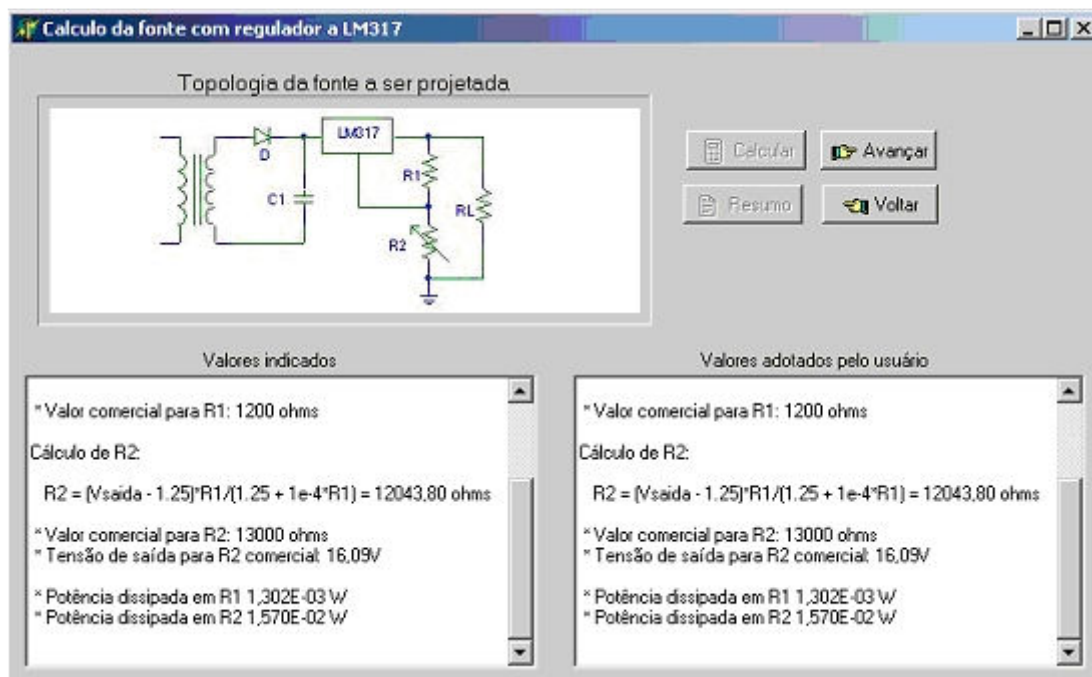


Figura 7 – Tela de cálculos da fonte requerida

Neste segundo exemplo, contudo, não existem transistores nem diodos zener constituindo o circuito de regulação, razão pela qual não haverá a necessidade de se especificar estes componentes a partir do banco de dados, como no caso anterior.

A partir destas informações, o programa vai calculando os valores dos componentes e mostrando, passo a passo, as equações e as respectivas respostas, como já detalhado.

Finalmente é apresentada ao usuário uma tela final contendo resumidamente as especificações da fonte projetada, além de uma resposta gráfica (figura 8).

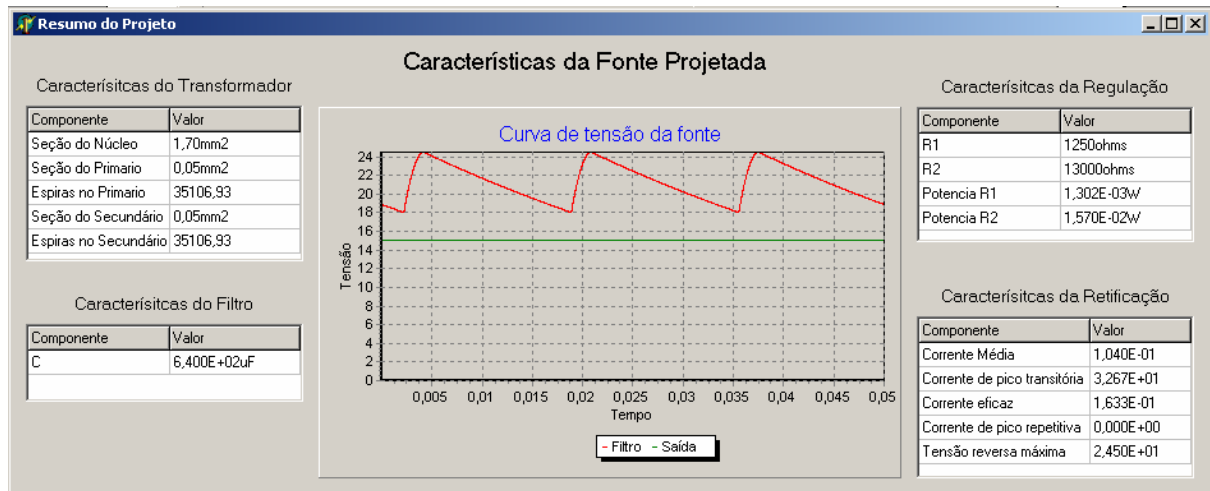


Figura 8 – Tela de saída com todos os dados da fonte

Novamente é apresentado o mesmo projeto, simulado no consagrado software Pspice versão 9.2.

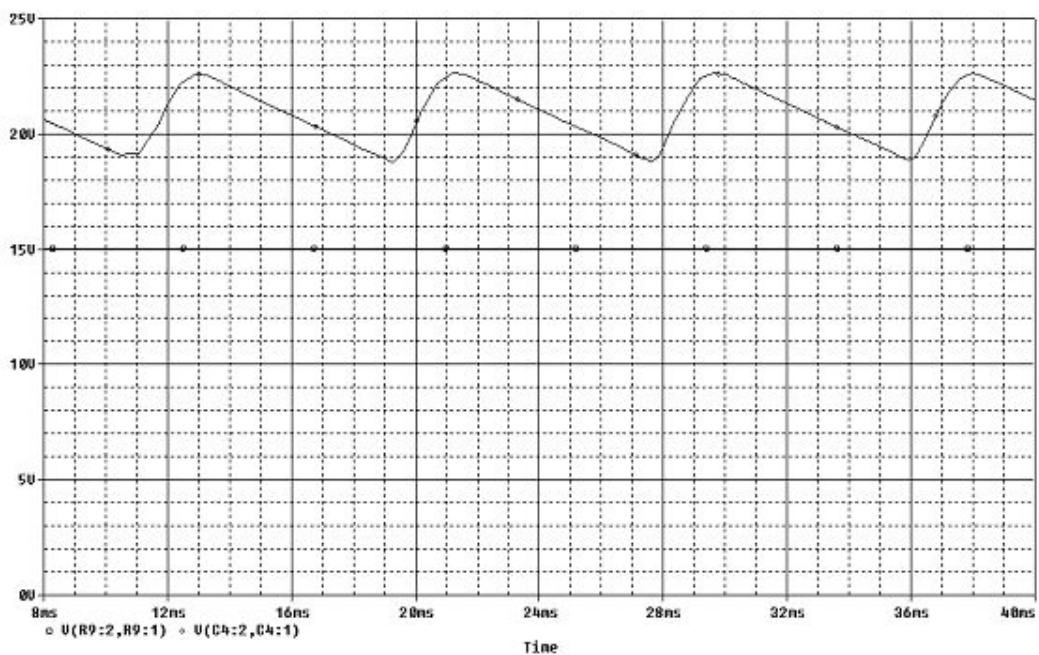


Figura 9 – Simulação do projeto no Pspice

Vê-se, mais uma vez, a coincidência dos resultados com as curvas obtidas no ambiente tutorial desenvolvido, comprovando o acerto dos cálculos realizados.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho trata da implementação computacional de um ambiente tutorial de auxílio ao projeto de fontes de alimentação. O enfoque adotado foi buscar-se, de forma otimizada, apresentar ao usuário um conjunto de ferramentas e facilidades na confecção de projetos de fontes de alimentação corretamente dimensionados.

Ressalta-se a interatividade apresentada entre o usuário e o ambiente, o que possibilita a apresentação detalhada, passo a passo, dos cálculos pertinentes ao dimensionamento dos componentes da fonte, permitindo escolhas por parte do usuário trazendo a ferramenta mais próxima da realidade de implementação física do projeto. Esta interatividade e amigabilidade da interface foram proporcionadas pela praticidade em implementação da linguagem utilizada (Object Pascal), com seus recursos de visuais e de orientação a objetos que foram essenciais para o desenvolvimento do projeto proposto.

Uma vantagem apresentada neste trabalho foi quanto à diversidade de possibilidades de topologias e de componentes para o projeto da fonte. Um fator fundamental para se obter estes resultados foi a utilização de uma base de dados com o SGBD Paradox 7 e utilizando a linguagem SQL para consultas.

Sendo assim, conclui-se que este trabalho constitui uma boa ferramenta de auxílio a projetos de fontes de alimentação lineares tanto para alunos de Engenharia Elétrica/Eletrônica ou até mesmo a projetistas de circuitos eletrônicos. Podendo ser utilizado para o acompanhamento em disciplinas teóricas de eletrônica, onde o conteúdo do qual se trata este trabalho é abordado, possibilitando aos alunos uma visualização do comportamento de cada etapa do projeto de uma fonte mediante as condições impostas pelo aluno. Possibilita também a comparação dos resultados encontrados pelo ambiente tutorial com os obtidos durante o estudo.

Uma dica de utilização desta ferramenta aqui implementada é em disciplinas de laboratório de eletrônica, onde a necessidade da mudança no modelo de um componente é corriqueira, tornando necessário uma avaliação do uso de um componente que não seja o ideal, mas sim o disponível.

Agradecimentos

Ao Programa de Educação Tutorial – PET/SESu/UFJF pela oportunidade de desenvolvimento deste trabalho. A Faculdade de Engenharia da UFJF por todo apoio. Aos amigos bolsistas do PET Elétrica pelo companheirismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CIPELLI, A. M. V., SANDRINI, W. J. **Desenvolvimento de Circuitos Eletrônicos**. São Paulo: Érica, 1984.
- BOYLESTAD, R., NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos**. Rio de Janeiro: LTC, 1999.
- MALVINO, A. P. **Eletrônica I**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.
- SEDRA, A. S., SMITH, K. C. **Microeletrônica**. São Paulo: Makron Books, 2000.
- CLOSE, C. M. **The Analysis of Linear Circuits**. New York: Harcourt Brace Jovanovich, 1967.
- KOSOW, I. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. Rio de Janeiro: Globo, 2000.
- FELIPE, E. R. **Conectividade utilizando Delphi 6**. São Paulo: Érica, 2002.
- ROEHR, W. D. **Rectifier Applications Handbook**. USA: Motorola, 1993.
- BUCHANAN, L. J., TURNER, R. P. **Numerical Methods and Analysis**. New York: McGraw Hill, 1992.

A DIDATIC ENVIRONMENT FOR DESIGN AND ANALYSIS OF LINEAR VOLTAGES SOURCES

Abstract: *This work presents an interactive computational environment, with tutorial characteristics, for learning in the procedure of elaboration of projects of linear sources of feeding, necessary to the correct functioning of practically all the electronic equipment, as residential, scientific, of small transport or even though systems of great transport, as in the great sources that feed telephone exchanges. The considered environment allows to the correct sizing of all the constituent parts of an feeding source - number of turns of the transforming one, arrangement and value of the rectifying diodes, arrangement and values of the components of the filter and regulating circuit of tension. From the entrance data, supplied for the user, the values of the constituent components of the source are calculated, of interactive form, in a procedure step by step, using for this the data base of the system, with catalogued commercial components, that can be used for reach of the conditions imposed for the user. The distinguishing aspect of the developed environment is its tutorial character, that it offers for the user the possibility to insert in the project others component that the suggested ones, showing the current results, on the forms of wave and the regulation, of the effected choices. The approach adopted for the environment, interactive and tutorial, results in a simple tool, but, powerful and including in the projects of feeding sources, for a student of electric engineering or a professional of the electronics area.*

Key-words: *Sources of Feeding, Linear Source, Projects, Computational Environment*