

## **AMBIENTE COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE CIRCUITOS REGULADORES LINEARES A ZENER**

**Hélvia Hortênci**a Barcelos Carvalho – helvia@pet.ufjf.br

**Francisco José Gomes, D.Sc.** – chico@jfnet.com.br

**Henrique Antônio Carvalho Braga, D. Sc.** – henrique.braga@ufjf.edu.br

Departamento de Circuitos Elétricos / Faculdade de Engenharia – Engenharia Elétrica

Universidade Federal de Juiz de Fora – R. Benjamin Constant, 790.

Centro – Juiz de Fora, MG – 36016-400

***Resumo:** Uma das aplicações mais importantes dos diodos é a sua função no projeto de circuitos retificadores, os quais convertem tensões alternadas em tensões de níveis contínuos. Estes circuitos são parte elementar e essencial da maioria dos equipamentos eletrônicos utilizados no cotidiano atual. Em sua construção, emprega-se comumente os diodos zeners, e tais circuitos reguladores de tensão são denominados reguladores shunt, devido à posição física do zener em relação à carga.*

*A proposta do trabalho consiste no desenvolvimento de um ambiente gráfico que modela um circuito regulador de tensão através de diodos, capacitores e diodo zener. O ambiente oferece ao usuário a opção de alterar, durante a fase de testes, os valores dos componentes eletrônicos, avaliando-se assim, em tempo real, os impactos destas modificações, bem como a importância de cada um no resultado final.*

*Gerou-se uma interface computacional que apresenta o circuito projetado e o gráfico da tensão sobre cada componente. Baseado nestes dados, o usuário pode verificar se as especificações de projeto são satisfeitas. Computacionalmente, as equações utilizadas são construídas baseadas na teoria de circuitos elétricos e solucionadas mediante o uso de algoritmos específicos.*

*Por se apresentar de uma maneira simples e didática, através de uma interface gráfica amigável e de utilização intuitiva, o ambiente computacional pode ser utilizado como ferramenta auxiliar do processo de ensino de disciplinas básicas do currículo dos cursos de Engenharia Elétrica e Eletrônica. Oferece-se, então, aos estudantes uma visualização prévia de resultados que serão futuramente encontrados em laboratório, e em sua vida profissional, aumentando-se desta forma a sua produtividade e confiabilidade dos projetos.*

***Palavras-chave:** Educação em Eletrônica, Simulação, Circuitos Retificadores, Diodos Zener.*

### **1. INTRODUÇÃO**

#### **1.1 Considerações iniciais**

Grande parte dos aparelhos elétricos utilizados no cotidiano de qualquer pessoa possui um dispositivo retificador em sua entrada. Isto se deve ao fato da maioria destes aparelhos funcionar em corrente contínua, diferentemente da corrente alternada utilizada pelas concessionárias para levar até os clientes a energia elétrica.

Trata-se neste trabalho da retificação de sinais alternados através de diodos zener e filtros capacitivos. Por muitas vezes, ao deparar-se com uma situação de projeto de reguladores, o

projetista se vê obrigado a realizar diversos testes e simulações, que exigem tempo e programas mais elaborados para esta análise. Com a experiência, o processo se torna mais rotineiro e melhores resultados são obtidos com menores esforços. Contudo, para um estudante, nem sempre é simples a visualização dos procedimentos que devem ser executados para que o seu projeto seja satisfatoriamente implementado, sem esforços desnecessários.

A característica diferencial deste trabalho é a união dos conceitos teóricos, advindos da teoria de circuitos, como a análise de circuitos retificadores e filtros, com a implementação física destes mesmos circuitos, permitindo que se tenha uma visão interligada de um projeto em suas diversas fases, aumentando assim a sua viabilidade de implementação prática e o senso crítico dos usuários na construção de novos projetos.

## 2. PRINCÍPIOS BÁSICOS

### 2.1 Introdução

Nesta seção, serão descritos os diversos estágios componentes de um circuito regulador de tensão a zener, que são: o circuito retificador a diodos, o filtro capacitivo e o diodo zener.

### 2.2 Circuitos retificadores

Quase todos os circuitos eletrônicos precisam de uma fonte de tensão de potência contínua. Na grande maioria dos casos, a conversão de tensão CA para níveis CC se dá a partir de um estágio de entrada no próprio circuito. Estes circuitos são denominados circuitos retificadores.

A partir de diodos semicondutores, pode-se converter uma onda senoidal de entrada, cujo valor médio é nulo, em uma forma de onda unidirecional, embora não constante. Para circuitos retificadores de onda completa, tem-se dois circuitos de retificação de meia onda, ligados de maneira tal que se tenha condução durante os dois semi-ciclos da tensão de entrada. Um exemplo deste circuito retificador, utilizando transformador de tap central, é apresentado na Figura 1, a seguir:

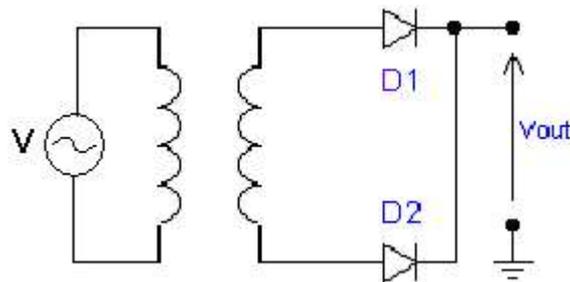


Figura 1 – Circuito retificador de onda completa

Desta maneira, a tensão de saída do circuito equivale à própria tensão de entrada, em seu semiciclo positivo; em seu semiciclo negativo, tem-se a sua reflexão, de modo que sempre se tenha um valor maior ou igual a zero na saída.

### 2.3 Filtro capacitivo

A filtragem da tensão de saída de um circuito retificar é frequentemente realizada colocando-se um capacitor ligado em paralelo com a carga. Esta filtragem visa a um nível de tensão mais estável do que aquele resultante da simples aplicação de diodos de silício na retificação.

Este sistema se baseia no fato de que o capacitor armazena energia durante o período de condução do diodo e fornece a mesma para a carga durante o período em que o diodo está

cutado. Deste modo, o tempo durante o qual a corrente passa pela carga é prolongado, tornando a ondulação consideravelmente menor.

O circuito do filtro capacitivo é apresentado na Figura 2.

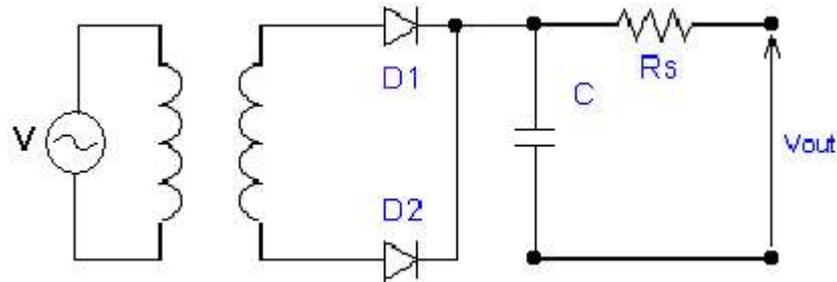


Figura 2 – Circuito do filtro capacitivo acoplado ao circuito retificador

## 2.4 Diodos zener

O diodo zener é um diodo de silício, otimizado pelo fabricante para trabalhar na região de ruptura, apresentada na sua curva característica, na Figura 3. Uma de suas principais aplicações é nos circuitos retificadores de tensão, como apresentado neste trabalho, mantendo a tensão da carga praticamente constante, apesar das variações de tensão de linha, que existem mesmo após a inserção do filtro capacitivo apresentado anteriormente, e da resistência de carga.

A inclinação da curva  $V \times A$  (volt-ampère) na faixa de operação do zener é denominada de resistência dinâmica do diodo ( $r_z$ ).

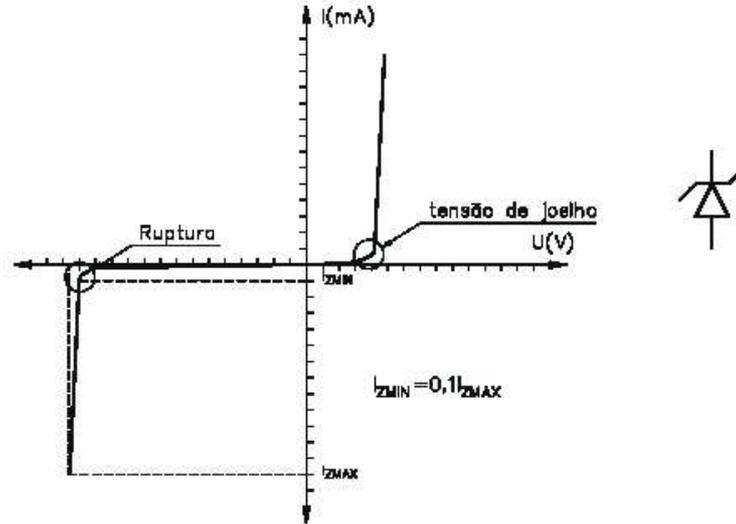


Figura 3 – Curva característica do diodo zener

Como a tensão desejada na carga é controlada pelo zener, a sua escolha deve levar em consideração diversos parâmetros, como potência de saída, e a corrente máxima através do mesmo. Seu mecanismo de ruptura é normalmente baseado na avalanche e não efeito zener.

Um ponto de interesse relacionado aos diodos zener é a sua sensibilidade à temperatura. O coeficiente desta é dado com percentagem entre a mudança na tensão de referência e a mudança em graus centígrados na temperatura do diodo.

Todos estes dados são fornecidos pelos fabricantes e especificados no data sheet correspondente.

O ambiente desenvolvido incorpora alguns destes parâmetros, contendo uma base de dados interna de aproximadamente 20 diodos.

### 3. CIRCUITO REGULADOR DE TENSÃO A ZENER

#### 3.1 Introdução

O circuito regulador de tensão utilizado no ambiente incorpora todos os estágios mencionados na Seção 2: circuito retificador a diodos, filtro capacitivo e o diodo zener em paralelo com a saída, resultando no circuito apresentado na Figura 4:

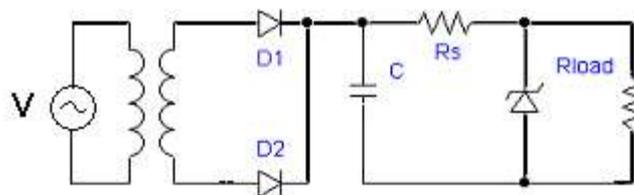


Figura 4 – Circuito completo do retificador shunt a zener



Figura 5 – Diagrama de blocos do regulador

A Figura 5 representa de forma simplificada todo o circuito, permitindo a análise da influência de cada estágio na resposta do mesmo.

### 3.2 Cálculos utilizados

Todos os componentes foram considerados como sendo ideais, de maneira a simplificar o cálculo da tensão resultante. Assim, se desprezou a tensão de barreira dos diodos e a resistência interna do capacitor, por exemplo.

O ponto de partida para a montagem do circuito baseia-se na potência de saída desejada. A partir desta escolha, e do diodo zener selecionado, pode-se obter a resistência de saída equivalente:

$$R_{load} = \frac{V_z^2}{P_{out}} \quad (1)$$

bem como a sua corrente:

$$I_{load} = \frac{P_{out}}{V_z} \quad (2)$$

O segundo passo para o projeto é a definição do capacitor do filtro, que depende, basicamente, da oscilação máxima de tensão ( $\Delta V$ ) desejada pelo usuário. A fórmula tradicionalmente utilizada, e implementada no ambiente é:

$$C = \frac{I_{load} + I_z}{2 f \cdot \Delta V} \quad (3)$$

onde  $I_z$  é a corrente nominal do diodo zener, obtido no data sheet.

Após a definição do capacitor, deve-se determinar os valores mínimo e máximo do resistor, tais que a corrente pelo diodo zener não exceda os limites especificados pelo fabricante. Estes valores são dados pelas fórmulas:

$$R_{max} = \frac{(A - \Delta V - V_z)}{I_{load} + I_{zmin}} \quad (4)$$

e

$$R_{min} = \frac{(A - V_z)}{I_{load} + I_{zmax}} \quad (5)$$

Com isto, todos os parâmetros do circuito já se encontram calculados. Pode-se avaliar a eficiência do circuito, observando-se dois parâmetros de saída: a regulação de linha e de carga:

$$reg_{lin} = \frac{r_z}{R_s + r_z}$$

(6)

e

$$reg_{load} = -\frac{r_z \cdot R_s}{r_z + R_s} \quad (7)$$

onde  $r_z$  é a resistência dinâmica do zener, também especificada pelo seu fabricante.

Vale ressaltar, que para a validade do projeto, deve-se considerar que a amplitude tensão de entrada deve ser maior do que a tensão do zener.

## 4. INTERFACE GRÁFICA

### 4.1 Introdução

O ambiente foi desenvolvido utilizando-se Delphi, uma linguagem de programação orientada a objetos, que permite a criação de ambientes de interfaces amigáveis ao usuário, facilitando o seu entendimento. Um dos pontos preponderantes na sua escolha foi o seu alto nível de difusão entre os estudantes e facilidade de criação das telas.

Nenhum tipo de processamento numérico foi utilizado no ambiente, sendo os resultados obtidos através da aplicação direta das fórmulas descritas na Seção 3.

O procedimento básico para a utilização do ambiente consiste dos seguintes passos:

- 1) Configuração da tensão de entrada do retificador;
- 2) Especificação do ripple máximo desejado ao circuito;
- 3) Escolha do diodo zener, através da análise de suas características;
- 4) Especificação da potência de saída desejada.

### 4.2 Ambiente desenvolvido

A tela principal do ambiente desenvolvido é apresentada na Figura 6:

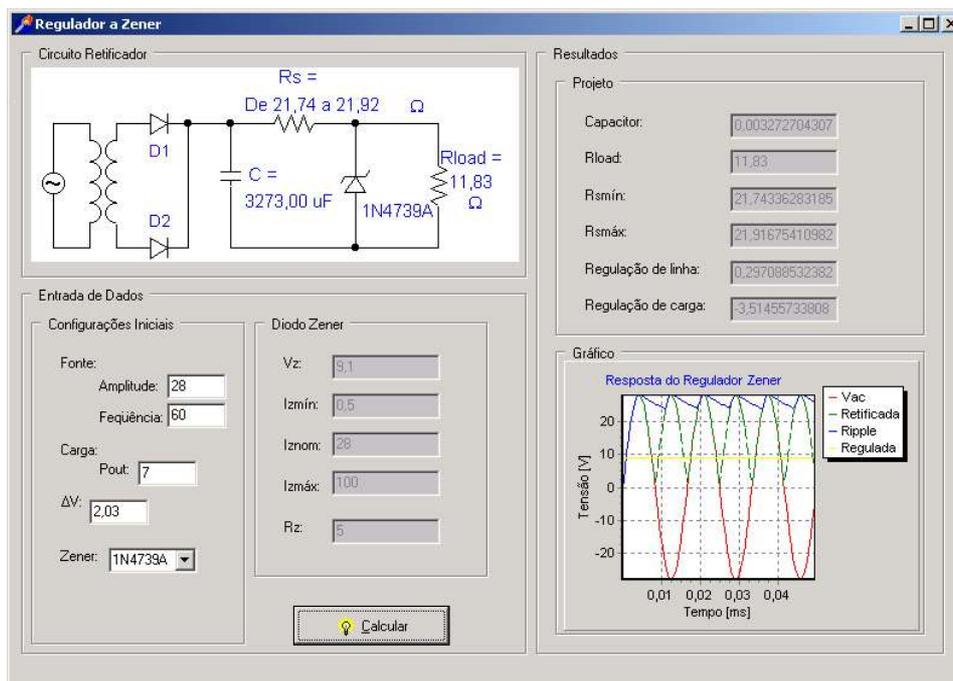


Figura 6 – Tela principal do ambiente

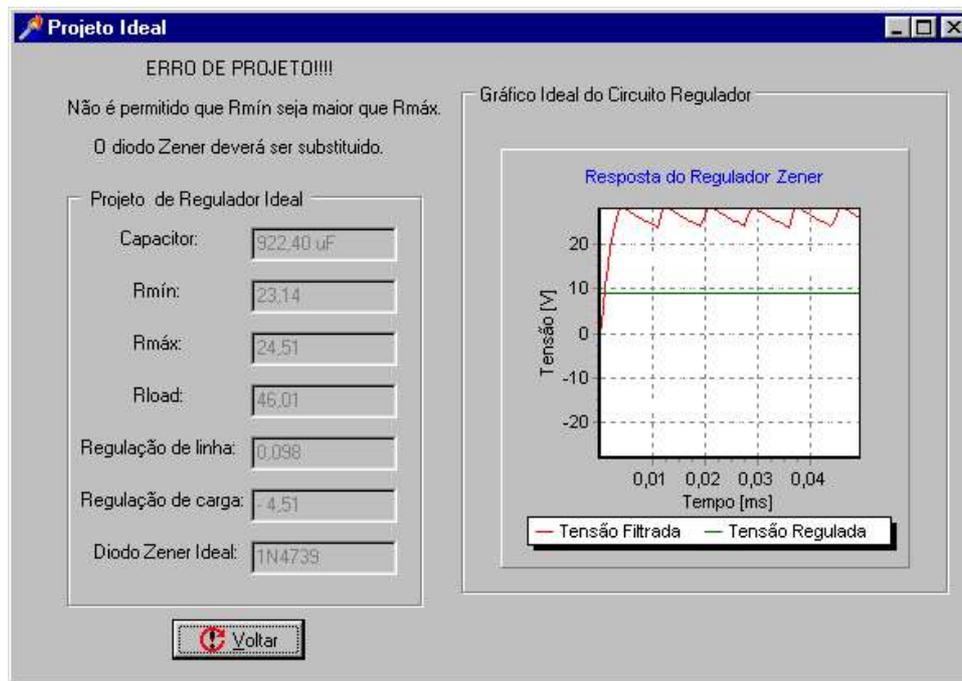


Figura 7 – Tela de erro

A entrada de dados, por parte do usuário, acontece na parte inferior esquerda do formulário, com as configurações da fonte de tensão de entrada, do ripple máximo e potência de saída.

Para a determinação da tensão de carga, o usuário conta com um banco de dados com informações de diversos diodos zener, apresentadas ao lado das configurações.

Após escolhidos os parâmetros desejados, o usuário deve clicar no botão “Calcular” para que sejam apresentados resultados. O ambiente fornece os gráficos, para as todas as tensões envolvidas, bem como os valores dos componentes do circuito regulador, e as regulações de linha e de carga resultantes.

Em determinadas situações, as fórmulas utilizadas para o cálculo levam a uma inconsistência de projeto. Tais inconsistências são reconhecidas pelo programa e então se aplicam procedimentos de correção, sugerindo-se algumas modificações para tornar o projeto viável. Um dos erros mais comuns ocorre quando o valor calculado para a resistência mínima é maior do que o da resistência máxima. Nestes casos, uma nova tela é apresentada ao usuário, como mostrado na Figura 7.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho tratou do desenvolvimento de um ambiente gráfico para projeto de circuitos retificadores de tensão a diodo zener. Este ambiente foi construído com o intuito de auxiliar no processo de ensino e aprendizagem, mais especificamente, na área de Eletrônica, da Engenharia Elétrica.

A característica diferencial do ambiente é a união dos conceitos matemáticos, referentes aos procedimentos do projeto do regulador, com a implementação física destes dispositivos reguladores. Esta opção permite ao usuário associar análises teóricas e modelos conceituais a implementações físicas, diretamente no ambiente.

O ambiente desenvolvido apresenta-se de extrema utilidade para estudos, síntese e projetos de pequenos circuitos eletrônicos onde o regulador é parte essencial. A grande facilidade de uso e as interfaces gráficas, amigáveis com o usuário, proporcionam uma aprendizagem dinâmica da modelagem de circuitos.

Como trabalho futuro, pode-se oferecer ao usuário outras opções de circuitos retificadores, o que permitiria uma análise da melhor opção para cada configuração desejada. Sugere-se, como próximo desenvolvimento, o projeto de um regulador linear utilizando um transistor em série com um zener.

### ***Agradecimentos***

Ao Programa Especial de Treinamento – PET/SESu/UFJF – Engenharia Elétrica, pelo suporte ao desenvolvimento do mesmo, aos Professores: Francisco José Gomes e Henrique Antônio Carvalho Braga, por suas orientações neste trabalho e especialmente a Leonardo de Almeida Matos Moraes por todo apoio e incentivo.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

MALVINO, A. **Eletrônica**. São Paulo: McGraw-Hill, 1987.

MILLMAN, J. & HALKIAS, C. **Eletrônica: Dispositivos e Circuitos**. São Paulo: McGraw-Hill, 1981.

SEDRA, A. & SMITH, K. **Microeletrônica**. São Paulo: Makron Books, 2000.

## **COMPUTACIONAL ENVIRONMENT TO DESIGN ZENER-BASED LINEAR REGULATOR CIRCUITS**

***Abstract:*** *One of the most important applications of the diodes is in rectifier circuits, which transform alternating current (AC) waveforms to direct ones (DC). These circuits are an elemental and essential part of electronic equipments. On their construction stage, zener diodes are commonly used, and these circuits are denominated by the term shunt regulators, due to the physical position of the zener.*

*This paper deals with the development of a graphical environment, modeling a regulator circuit through utilization of diodes, capacitors and zener. This environment allows the user to change, before laboratory tests, the values of the electronic components, observing the impacts of these alterations, and the importance of each component in the final result.*

*The interface contains the designed circuit and the main voltage waveforms of the circuit. Based on these information, the user may compare the results with the previous specifications of the circuit. The equations involved are obtained by using the theory of electric circuits and solved through specific algorithms.*

*The environment may be used as an auxiliary tool, helping the teaching process of some disciplines in Electric and Electronics Engineering courses. The students may visualize previously the results that will be founded in laboratories, increasing their productivity and the reliability of these circuits.*

***Key-words:*** *Electronics Education, Simulation, Rectifiers Circuits, Zener.*