



MÓDULO DIDÁTICO PARA O PROCESSO DE ENSINO-APRENDIZAGEM SOBRE DIODOS SEMICONDUTORES DO TIPO ZENER

Luiz da Silva Júnior – luizantoniojr.ladsj@gmail.com
Universidade Federal do Pampa, Mestrado em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Anderson Fortes – fortes.cc@gmail.com
Universidade Federal do Pampa, Mestrado em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Carlos Silva – carlos.al.silva@live.com
Universidade Federal do Pampa, Mestrado em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Karine Nóra Dias – karinenoradias@gmail.com
Universidade Federal do Pampa, Mestrado em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Matheus Cortez – mth.cortez@gmail.com
Universidade Federal do Pampa, Graduação em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Vitor Bender – vitorbender@unipampa.edu.br
Universidade Federal do Pampa, Docente do Mestrado em Engenharia Elétrica
Av. Tiaraju, 810 - Ibirapuitã
97546-550 – Alegrete – Rio Grande do Sul

Resumo: Este artigo apresenta uma ferramenta que auxilia no processo de ensino-aprendizagem sobre as características dos diodos Zener. Tal ferramenta pode ser empregada especialmente no ensino de disciplinas relacionadas com eletrônica e semicondutores. São

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



Promoção





propostos três métodos distintos para a medição caracterização elétrica de diodos Zener acompanhados de uma análise teórica, estes métodos podem ser agrupados formando um módulo. Além disso, são apresentados os resultados experimentais, cujo enfoque é propor uma solução capaz de alcançar resultados confiáveis, equivalentes aos fornecidos pelos fabricantes, e, principalmente, solidificar o conhecimento teórico-prático dos alunos através da utilização do módulo didático para o estudo deste dispositivo semicondutor.

Palavras-chave: Eletrônica, Ensino-aprendizagem, Módulo didático, Diodo Zener, Circuito de teste.

1. INTRODUÇÃO

Dispositivos eletrônicos semicondutores fazem parte do currículo básico de universidades e instituições de ensino que disponibilizam cursos de tecnologia, como, por exemplo, engenharia elétrica e eletrônica. O ensino sobre tais dispositivos geralmente é realizado através de metodologias predominantemente teóricas, que minimizam a interação do aluno com o conteúdo que é ministrado, ocasionando baixos índices de aprendizado, uma vez que a relação entre teoria e prática não é facilitada.

Segundo Martinand, Astolfi e Develay (1990) e Menegolla e Sant’Anna (1997), o “ensinar” e o “aprender” envolve não apenas o conhecimento do assunto ensinado pelo professor, mas também o conhecimento e o interesse a respeito do sujeito que aprende. Nesse contexto, a utilização de aulas práticas e a utilização de laboratórios de forma didática apresentam um grande potencial no processo de ensino-aprendizagem (PAVÃO; PINHEIRO; NETO, 2007).

A interação dos estudantes com os componentes e circuitos eletrônicos sob estudo, através de circuitos didáticos, levará a um domínio maior da tecnologia envolvida e a consolidação dos conhecimentos vistos em sala de aula.

Diversas ferramentas didáticas têm sido apresentadas na literatura com o propósito de auxiliar o processo de ensino/aprendizagem de disciplinas eminentemente práticas. Neste trabalho é apresentado um módulo didático cuja finalidade é determinar a tensão nominal de diodos Zener, visando relacionar o conhecimento teórico com o funcionamento prático desses dispositivos.

Os diodos Zener são fabricados para operar especificamente na região de ruptura. Esses diodos são chamados de diodos de ruptura, assim denominados após os trabalhos pioneiros de Clarence M. Zener nessa área (SEDRA; SMITH, 2007). De acordo com as características de operação desses dispositivos, e a queda de tensão quase constante, esses diodos são muito importantes em projetos de reguladores de tensão.

Há muitas situações em que é necessário determinar experimentalmente a tensão de um diodo Zener. Geralmente, os fabricantes incluem o valor da tensão Zener nominal (V_Z) no encapsulamento do componente, entretanto existem alguns modelos que não incluem estas informações. Também há casos em que as informações contidas no dispositivo desaparecem, por outros motivos, e, nesses casos, a única solução é medir a tensão Zener do diodo. Essa medição torna-se possível com o uso de uma fonte de tensão e alguns resistores com faixa de operação previamente conhecida. Porém, nesse procedimento há uma demora considerável para se chegar a um valor confiável para V_Z , uma vez que a



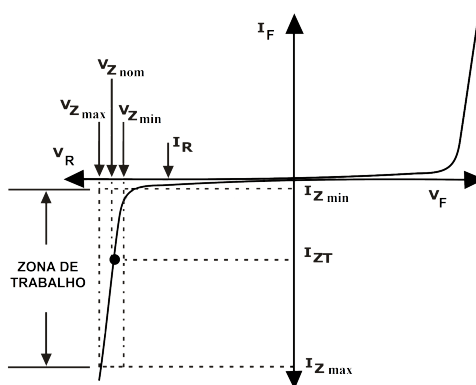
corrente que o atravessa o diodo é dependente da tensão Zener, e quando são colocados em teste vários diodos de diferentes valores os resistores a serem utilizados apresentam variação considerável.

Dessa forma, o presente trabalho tem o objetivo de propor um módulo didático simples para testar diodos Zener e definir sua tensão nominal experimentalmente. O módulo didático será composto de três circuitos que possuem a mesma finalidade, porém diferem entre si quanto à dificuldade de implementação e à complexidade de funcionamento do circuito. O principal foco é demonstrar ao aluno que existem diferentes métodos de medir a V_Z de um diodo na prática, e obter resultados equivalentes aos fornecidos pelos fabricantes nas folhas de especificações dos componentes.

2. REVISÃO TEÓRICA

A Figura 1 ilustra característica de corrente *versus* tensão (curva I-V) de um diodo Zener na região de ruptura.

Figura 1 – Curva I-V característica de um diodo Zener. Adaptado de Sedra e Smith (2007).



Analisando a Figura 1 observa-se que a curva do diodo Zener é semelhante à de um diodo de junção de silício, no entanto o diodo Zener é projetado para operar com uma tensão de polarização reversa suficientemente elevada para causar o efeito avalanche do dispositivo e a condução de uma elevada corrente inversa. O diodo Zener é um diodo de silício que o fabricante otimizou para operar na região de ruptura (MALVINO; BATES, 2011).

Como é demonstrado na Figura 1, a corrente inversa do diodo Zener permanece em um valor muito baixo, até que a tensão inversa seja aumentada a um valor suficiente para causar a avalanche (*breakdown*) no diodo. Então a corrente inversa através do diodo aumenta rapidamente, quando a tensão aumenta além do ponto de *breakdown*.

Nesta região há uma grande mudança na corrente para um pequeno incremento na tensão inversa. Uma vez excedido o ponto de *breakdown*, é dito que o diodo está operando na sua região Zener. Nesse momento, a corrente através dele é denominada corrente Zener, e é representada por I_Z . A curva da Figura 1 destaca que a tensão de *breakdown* não ocorre instantaneamente. A região exponencial da curva, próximo ao ponto de *breakdown*, é chamada de joelho da curva. Alguns modelos de diodos Zener têm joelhos mais



curvos e em outros a curva do joelho ocorre de forma abrupta, o que significa que nestes casos o diodo entra na região de *breakdown* muito rapidamente.

A tensão de *breakdown* de um diodo Zener é determinada pela resistividade do diodo, que por sua vez depende da dopagem. O diodo Zener é fabricado para ter uma tensão específica de *breakdown*, que é denominada tensão Zener do diodo, e é representada por V_Z .

Através da verificação da folha de especificações (*datasheet*) de um fabricante é possível constatar que a V_Z é dada para uma certa corrente que está na faixa de 2 a 20 mA, conforme a potência nominal do diodo. A tensão Zener especificada é um valor nominal, que representa a tensão inversa através do diodo, quando a corrente Zener está em algum valor específico chamado de teste Zener (I_{Zt}).

A curva I-V ilustrada na Figura 1 apresenta os valores da tensão Zener relativa (V_Z) e a corrente de teste Zener relativa (I_{Zt}) para um diodo Zener típico. É possível verificar que estes valores estão situados dentro da região Zener da curva.

A I_{Zt} representa um valor próprio da corrente inversa, que é sempre menor que a máxima corrente inversa que o diodo pode suportar seguramente (I_{Zmax}). Os diodos Zener não podem ser produzidos com tensões Zener que sejam exatamente iguais ao valor especificado, por questões construtivas e diferenças de dopagem.

Por essa razão, é necessário especificar os limites máximos e mínimos das tensões Zener para cada dispositivo. Isto é feito especificando a tolerância da tensão Zener, que nominalmente é de aproximadamente de 1% a 20% (MALVINO; BATES, 2011).

3. TRABALHOS RELACIONADOS

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que descrevem a criação ou utilização de circuitos didáticos com a finalidade de auxiliar no ensino-aprendizagem de dispositivos eletrônicos semicondutores. Além disso, há também trabalhos que versam sobre a criação de circuitos para testes ou caracterização de dispositivos semicondutores.

Em Ibarra, Medina e Bernal (2007) é apresentado o desenvolvimento de um laboratório virtual para estudo e aprendizagem acerca do funcionamento de dispositivos eletrônicos, tais como: transistor BJT, transistor FET, transistor MOSFET, diodo retificador, e, por fim, diodo Zener. O laboratório foi implementado com a linguagem de programação Java e seu desenvolvimento baseado em Servlets e Applets. Segundo os autores, os gráficos apresentados pela ferramenta proposta foram satisfatórios para que o estudante entendesse de forma clara e concisa o funcionamento dos circuitos propostos.

Em Pedrini e Klimach (2016) é proposto um circuito de teste para caracterização da variabilidade de diodos Schottky. Neste trabalho, os autores visaram caracterizar eletricamente uma grande quantidade de diodos de diferentes geometrias em diversas temperaturas para extrair dados estatísticos com a finalidade de compor um modelo comportamental completo para os dispositivos, incluindo os dados de variabilidade no processo de fabricação.

Em Nascimento et al. (2008) é proposta uma abordagem multidisciplinar no ensino de eletrônica de potência. Neste trabalho, os autores propõem um estudo teórico do conteúdo harmônico de cargas não-lineares comuns ao dia-a-dia dos estudantes, acompanhado de resultados de simulações e ensaios experimentais, com o intuito de possibilitar uma me-



lhor compreensão dos fenômenos envolvidos, de forma a contribuir para o processo de construção do conhecimento dos alunos do curso de engenharia elétrica. Para tanto, são utilizados os softwares Matlab/Simulink para as simulações, assim como é realizada a montagem de uma bancada experimental acoplada a um sistema de aquisição de dados (LabView).

Em Batista et al. (2009)) é apresentado o desenvolvimento de um sistema educacional para o controle de sistemas eletrônicos de potência com controladores de sinais digitais. As aplicações foram na área da eletrônica de potência, incluindo conversores de energia e unidades de máquinas elétricas. No referido trabalho, um dos objetivos foi possibilitar ao aluno um contato com vários conceitos, como eletrônica de potência, sistemas analógicos, sistemas de controle, dentre outros.

Os autores Costa et al. (2011) apresentam a criação de um protótipo para realizar testes experimentais a fim de avaliar conversores DC-DC do tipo Buck e Boost. Além disso, o trabalho teve como foco estimular o uso de conversores para fins educativos, sem a necessidade de implementação manual e, por conseguinte, a redução dos riscos de acidentes. A simulação e os resultados experimentais mostraram a simplicidade e a utilidade do protótipo didático apresentado.

Conforme observado nos trabalhos apresentados, a eletrônica de potência é uma vasta área que possibilita o estudo de vários dispositivos semicondutores e abordagens para o ensino-aprendizagem dos mesmos. No entanto, ainda há carência de propostas práticas para ensino de dispositivos semicondutores, como o diodo Zener. Desta forma, o presente trabalho tem a intenção de minimizar a carência observada na literatura nesta área do conhecimento.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do módulo didático são propostos três métodos de testes utilizando diferentes circuitos elétricos, como ilustra a Figura 2.

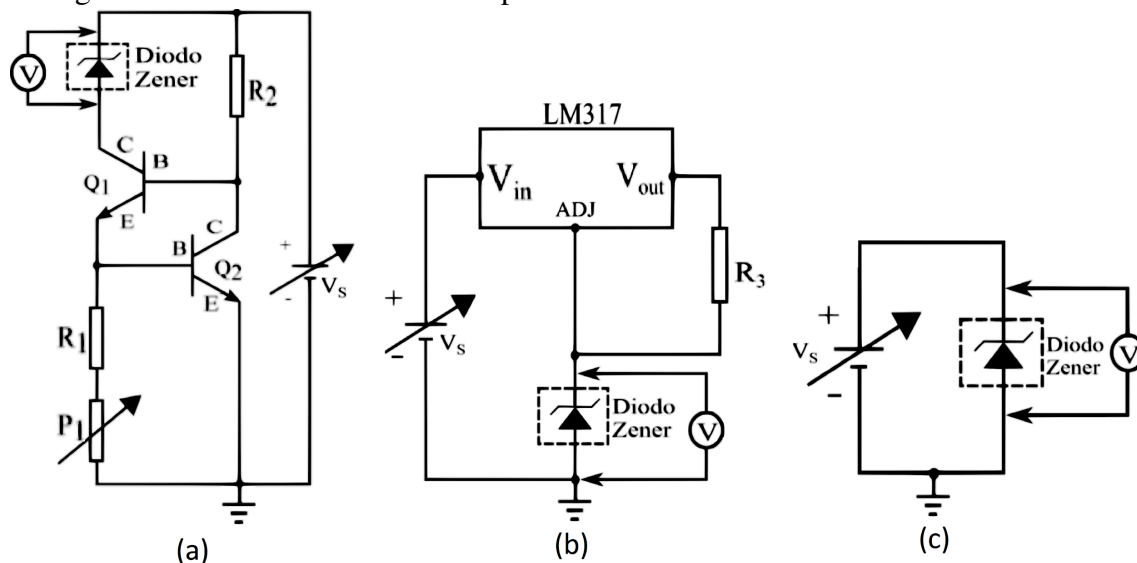
Para construção do método de teste 1, mostrado na Figura 2(a), utilizou-se um Transistor NPN (Q1) modelo BC337, um Transistor NPN (Q2) modelo BC547, um Potenciômetro Trimpot (P1) de $470\ \Omega$ com chave, um Resistor (R1) de $\frac{1}{8}$ W de $18\ \Omega$, um resistor (R2) de $\frac{1}{8}$ W de $47\ k\Omega$, um multímetro digital e uma Fonte de tensão CC regulável até 30V.

Para o método de teste 2, mostrado na Figura 2(b), empregou-se um regulador de tensão LM317, um resistor (R3) de $\frac{1}{8}$ W de $220\ \Omega$, um multímetro digital e uma fonte de tensão CC regulável até 30V.

O método de teste 3, mostrado na Figura 2(c), baseia-se no uso de um multímetro digital e uma fonte de tensão CC regulável até 30V.



Figura 2 – Circuitos desenvolvidos para os três diferentes métodos de teste.



O método de teste 1 (Figura 2(a)), é o método que possui o maior número de componentes. Para o entendimento sobre o funcionamento do circuito o aluno precisa além de compreender sobre os conceitos do diodo Zener, dominar alguns conceitos sobre os transistores bipolares de junção.

Com o método 1 é possível realizar um melhor ajuste na medida da tensão de Zener, visto que além de variar a fonte de tensão de alimentação (V_S), a corrente do circuito pode ser ajustada através do potenciômetro (P_1). Dessa forma, o aluno pode visualizar que a tensão medida pelo voltímetro no diodo Zener varia linearmente com a fonte de tensão de alimentação até o valor da tensão Zener nominal do dispositivo. Isto é, após V_S atingir a V_Z , a tensão medida pelo voltímetro não irá variar mesmo que V_S continue aumentando. Porém, a mudança de resistência ocasionada pelo potenciômetro faz com que a corrente do ramo seja variada e com isso a V_Z é ajustada até não sofrer mais variações com as mudanças de resistência.

O método de teste 2, representado pela Figura 2(b), possui implementação mais simples, comparando-se com o circuito do método de teste 1. Ele possui um circuito integrado (CI) em sua construção, no caso o regulador de tensão LM317. Por se tratar de um CI, o circuito responsável pelo funcionamento do LM317 está oculto ao aluno, a menos que a folha de dados do fabricante seja consultada.

O funcionamento do método de teste 2 se dá pela variação da tensão da fonte de alimentação V_S . Da mesma forma que no método de teste 1, é possível visualizar no voltímetro, conectado nos terminais do diodo, a variação da tensão de Zener. Como no primeiro caso, a variação da tensão de Zener é linear com a variação da fonte de alimentação. Assim que V_S atinge o valor nominal da tensão de Zener a tensão lida no voltímetro deixa de variar mesmo que V_S continue aumentando de valor.

A Figura 2(c) representa o terceiro e último circuito desenvolvido. Dos três métodos de teste propostos neste trabalho, o método 3 é o mais simples. O circuito de teste não possui nenhum componente adicional além do diodo Zener a ser testado, a fonte de tensão



de alimentação e do voltímetro para leitura da tensão Zener. Porém, esse método de teste pode danificar o dispositivo caso a corrente da fonte de tensão não seja limitada ao valor de I_{Zmax} . O funcionamento do método de teste 3 é idêntico ao método 2.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados das simulações elétricas apresentados foram obtidos através do programa computacional para simulações elétricas LT Spice.

A Figura 3 apresenta o gráfico de simulação referente ao método de teste 1. Nesta simulação, o passo de variação da resistência do potenciômetro foi aumentado para restringir o número de curvas geradas. Na Figura 3 é possível visualizar que a V_Z aumenta linearmente com a variação da V_S até estabilizar na tensão Zener nominal, que para este dispositivo é 12V. A Figura 4 mostra que uma variação na resistência do potenciômetro causa uma pequena variação na tensão de Zener.

Figura 3 – Variação de tensão de Zener com a tensão de alimentação (Método 1).

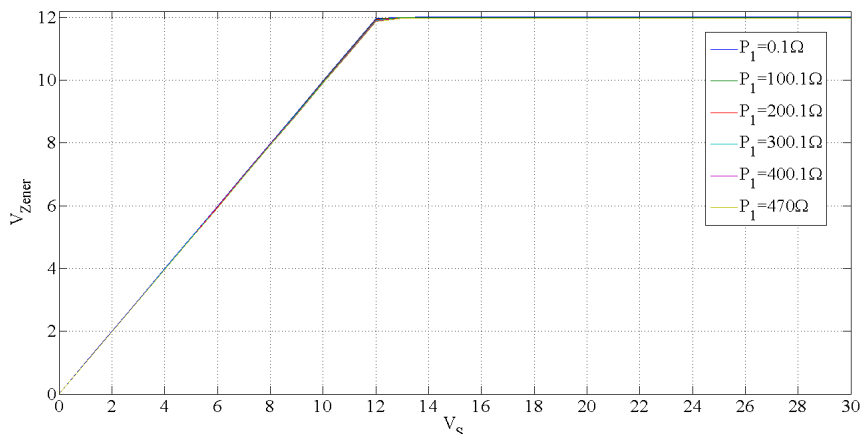
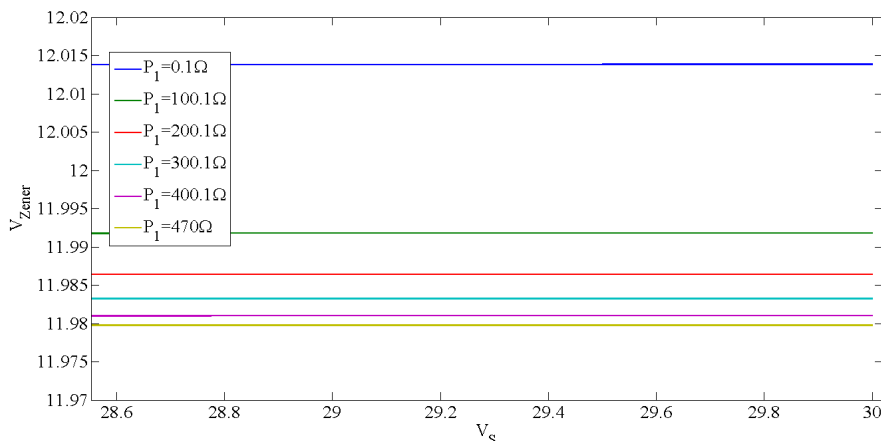


Figura 4 – Variação de tensão de Zener com a resistência do potenciômetro (Método 1).





As Figuras 5 e 6 apresentam os gráficos de simulação referentes aos métodos de teste 2 e 3, respectivamente. Como mencionado anteriormente, o funcionamento desses dois métodos é semelhante. A tensão Zener varia linearmente com a fonte de alimentação até atingir seu valor nominal. A partir desse ponto, a tensão de Zener estabiliza e não varia com o aumento da tensão de alimentação.

Figura 5 – Gráfico de simulação referente ao método de teste 2.

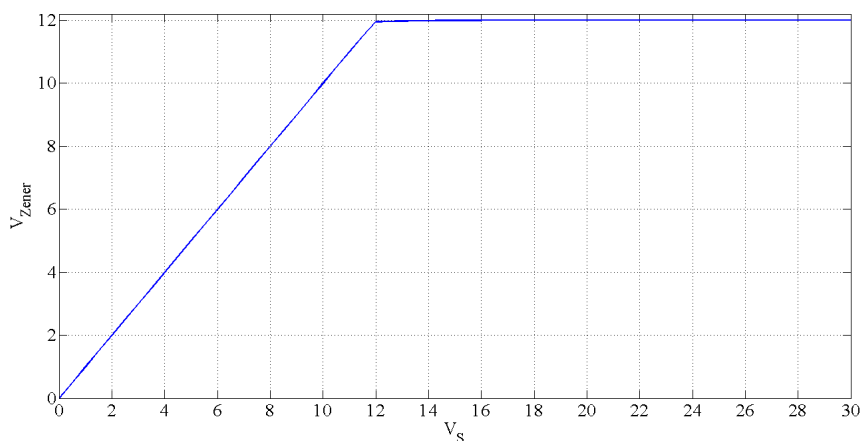
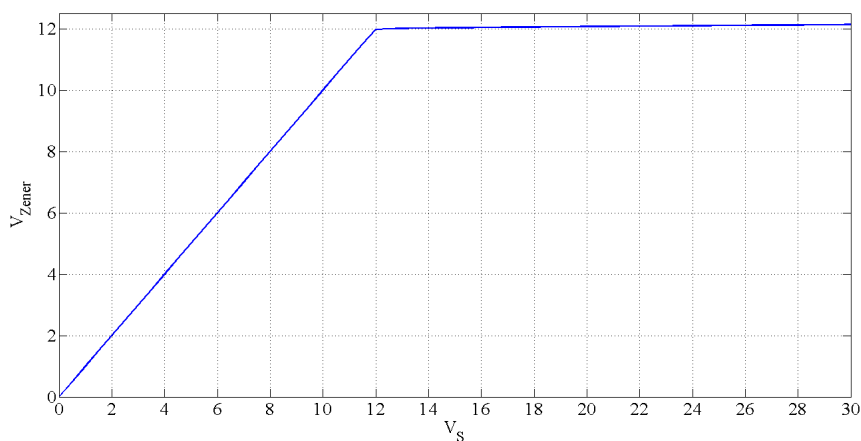


Figura 6 – Gráfico de simulação referente ao método de teste 3.



Na Tabela 1 estão descritos os resultados obtidos nas simulações elétricas com os diodos Zener 1N4743A, 1N4737A e 1N4742A.

No experimento realizado com o Método 2, o CI LM317 (contido na Figura 2(b)) foi substituído no ambiente de simulação, pelo CI LT317, devido a sua ausência no programa LT Spice.



Tabela 1 – Resultados das simulações com os três métodos propostos.

Diodo	<i>Datasheet</i> (V)	Método 1 (V)	Método 2 (V)	Método 3 (V)
1N4743A	13	13,19	13,2	13,33
1N4737A	7,5	7,43	7,44	7,6
1N4742A	12	11,98	11,99	12,13

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos com o módulo didático propriamente dito, já com os circuitos devidamente montados na prática, sendo comparado com os valores de referência disponibilizados pela folha de dados dos componentes. Os limites máximos e mínimos de tolerância adotados para as tensões de Zener dos diodos testados nos experimentos foi de 5% (variação fornecida pelo fabricante).

Tabela 2 – Resultados obtidos com o módulo didático proposto.

Diodo	Margem 5%+	Margem 5%-	Método 1 (V)	Método 2 (V)	Método 3
1N4743A	13,65	12,35	13,26	13,41	13,76
1N4737A	7,875	7,125	7,39	7,43	7,63
1N4733AP	5,355	4,845	4,35	4,79	5,08
1N4742A	12,6	11,4	11,82	11,93	12,97

De acordo com a análise da Tabela 2 pode-se inferir que os resultados experimentais obtidos com os circuitos propostos para o módulo didático foram satisfatórios, respeitando as margens de erro estabelecidas para medição da tensão de Zener de cada componente testado, exceto nos seguintes casos: o diodo 1N4743A, que ficou 0,11 V acima da margem de erro no Método 3; e o diodo 1N4733AP, que ficou 0,49 V abaixo da margem de erro no Método 1 e 0,05 V no Método 2.

Observando as Tabelas 1 e 2, é possível afirmar que os métodos propostos apresentaram bom desempenho com relação à tarefa de realizar a medição da tensão de Zener dos componentes testados. No entanto, os Métodos 1 e 2 apresentam os melhores resultados, pois os valores alcançados são mais aproximados em relação aos fornecidos nas folhas de dados dos componentes. O Método 1, porém, apresenta uma quantidade maior de componentes para sua construção, e, portanto, uma complexidade maior, o que pode trazer um nível de dificuldade maior quanto à compreensão de seu funcionamento por parte dos alunos que o utilizarão.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesse artigo foi apresentado o desenvolvimento de um módulo didático para medir a tensão nominal de um diodo Zener utilizando três métodos com diferentes níveis de complexidade, tanto na implementação quanto na aplicação prática pelos alunos que farão uso do módulo proposto.

Com o desenvolvimento deste módulo, procurou-se convergir conceitos importantes, como baixo custo, fácil construção por parte dos alunos e êxito na determinação da tensão destes tipos de diodos.

Resultados de simulação e experimentais foram obtidos e analisados com o objetivo de constatar a eficácia dos métodos propostos para construção do módulo didático apre-



sentado, tais resultados, principalmente os experimentais, serão melhorados para a versão final do trabalho.

Do ponto de vista didático-pedagógico, outro resultado importante, é a integração de conhecimentos, de forma que os alunos possam consolidar os conhecimentos vistos de forma teórica sobre diodos Zener através da observação prática do seu funcionamento, ou seja, o aluno pode observar as diferenças entre o funcionamento teórico e ideal com o funcionamento prático e real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BATISTA, F. A. et al. Didactic system for digital control of power electronics applications. In: IEEE. *Power Electronics Conference, 2009. COBEP'09. Brazilian*. [S.l.], 2009. p. 1093–1098.

COSTA, Y. D. et al. A buck and boost didactic plant with electro-mechanical selection of the operation mode. In: IEEE. *Power Electronics Conference (COBEP), 2011 Brazilian*. [S.l.], 2011. p. 1056–1061.

IBARRA, C. A.; MEDINA, S.; BERNAL, Á. Implementación de un laboratorio virtual para el estudio de dispositivos electrónicos. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, n. 2, p. 62–70, 2007.

MALVINO, A.; BATES, D. *Eletrônica: Diodos, Transistores e Amplificadores–Série Tekne*. [S.l.]: McGraw Hill Brasil, 2011.

MARTINAND, J.-L.; ASTOLFI, J.-P.; DEVELAY, M. *La didactique des sciences*. [S.l.]: JSTOR, 1990.

MENEGOLLA, M.; SANT'ANNA, I. M. *Didática-Aprender a ensinar*. [S.l.]: Edicoes Loyola, 1997.

NASCIMENTO, C. F. et al. Uma abordagem multidisciplinar no ensino de eletrônica de potência. In: USP. *Anais: XXXVI – Congresso Brasileiro de Ensino de Engenharia*. São Paulo, 2008.

PAVÃO, A. C.; PINHEIRO, D. M.; NETO, O. M. Uma reflexão sobre laboratórios didáticos nos cursos de engenharia. In: UNICEP. *Anais: XXXV - Congresso Brasileiro para Ensino de Engenharia*. Curitiba, 2007.

PEDRINI, M.; KLIMACH, H. Circuito de teste para caracterização de variabilidade de diodos schottky. In: UFRGS. *Resumo publicado em evento: XXVIII – Salão de Iniciação Científica*. [S.l.], 2016.

SEDRA, A.; SMITH, K. *Microeletrônica* (vol. 5ª edição). Editora Prentice Hall, 2007.

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção



ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia



A DIDACTIC MODULE FOR SUPPORT IN DIODES ZENER TEACHING

Resumo: *This paper describes a tool that aims to support in teaching process on Zener diode voltage. The work presents a theoretical and experimental study in which three different methods are proposed for the characterization of Zener diodes. Moreover, the results obtained in the experiments are presented, whose goal is to propose a solution capable of achieving reliable results, equivalent to those provided by the manufacturers, and, mainly, to solidify the theoretical and practical knowledge of the students by using a didactic module for the study of this semiconductor device.*

Palavras-chave: *Electronics, Teaching-learning, Didactic module, Zener diode, Testing circuit.*

Organização



UDESC
UNIVERSIDADE
DO ESTADO DE
SANTA CATARINA



UNISOCIESC
Educação e Tecnologia

Promoção



ABENGE
Associação Brasileira de Educação em Engenharia