

Laboratório 1: Diodos Semicondutores

Larissa Kelmer de Menezes Silva

Centro de Tecnologia/CT

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

lariskelmer@gmail.com

Paulo Costa Braga

Escola de Ciências e Tecnologia/EsCT

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

paulo.braga.083@ufrn.edu.br

Rychardson Ribeiro de Souza

Escola de Ciências e Tecnologia/ECT

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

rychard.ribeiro.souza@hotmail.com

Andres Ortiz Salazar

Departamento de Engenharia de Computação e Automação/DCA

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Natal, Brasil

andres@dca.ufrn.br

I. INTRODUÇÃO

É indiscutível a relevância de diodos em aplicação eletrônicas. Computadores, celulares, televisores de todos os tamanhos e propósitos, estão cada vez mais presentes na vida da população, de forma que o uso desse componente seja cada vez mais exaustivo. Seu uso, entretanto, não se limita às aplicações citadas. O caráter essencial dos diodos garante sua utilização para os mais diversos fins, abarcando desde máquinas de lavar a lâmpadas de LED. O uso tão diversificado e a simplicidade desse dispositivo tornam seu estudo nas áreas citadas algo que beira o imperativo.

Nesse sentido, o presente relatório objetiva abordar sobre o conteúdo discutido na disciplina que motiva este projeto, “DCA0213.0 – Eletrônica – Laboratório”, sob orientação do professor Dr. Andres Ortiz Salazar. O foco, aqui, é fazer um estudo aplicado do funcionamento e aplicação de diodos semicondutores. O método utilizado para tanto será o software de simulação gráfica LTspice, da empresa Analog Devices, que permite a simulação e análise de circuitos analógicos.

Este relatório subdivide-se em cinco seções, começando pela presente, a “Introdução”, seguida da “Abordagem Teórica”, em que se discutirá o embasamento teórico para o estudo em questão. Em seguida, faz-se a descrição do experimento, “Experimento”, a análise do experimento, “Resultados” e, por fim, a conclusão em “Comentários e Conclusões”.

II. ABORDAGEM TEÓRICA

A. Semicondutores

É de interesse da Eletrônica classificar os materiais com base no seu comportamento elétrico. Assim, podem ser divididos em condutores, isolantes ou semicondutores. Condutores são aqueles materiais que, quando expostos a diferenças de potenciais, permitem a passagem de corrente elétrica por eles. Materiais isolantes, em contrapartida, são aqueles que possuem uma resistividade alta, de forma que bloqueiam a passagem de corrente elétrica por eles. Já os semicondutores são materiais que ocupam o meio-termo dessa condição.

Essa classificação se dá por organizações químicas internas e inerentes a cada material, a nível atômico [1]. No caso de semicondutores, esse estado demanda algumas características específicas, como a possibilidade de se obter um alto nível de pureza, a capacidade de se poder alterar as características do material a partir da dopagem¹, além de a possibilidade de se alterar muito as características iniciais pela aplicação de luz ou calor [1]. Nesses materiais, à medida que a temperatura aumenta, a resistência à passagem de corrente cai. Assim, os principais materiais que atendem essas premissas são o germânio (Ge), o silício (Si) e o arseneto de gálio (GaAs), em especial o Si e o GaAs.

Semicondutores podem ser formados por materiais dos tipo n ou p , uma vez tendo passado pelo processo de dopagem. Em ambos os casos, o material base pode ser o Si ou o Ge. O um semicondutor do tipo n é aquele que recebe elementos de impureza com 5 elétrons de valência, já tendo, o material base, 4 elétrons na sua camada de valência. Ao realizar a dopagem, o cristal n obtém-se átomos neutralizados, com 8 elétrons na camada de valência, por ligações covalentes, e um elétron excedente. O efeito final é o aumento da condutividade do material de forma significativa, ainda que ele permaneça eletricamente neutro. Já um cristal do tipo p é feito pela adição de impureza com 3 elétrons na camada de valência. Nesse caso, as ligações covalentes entre o elemento base e a impureza não são completadas, existindo uma lacuna entre uma das ligações. O resultado final é, ainda, um elemento neutro, porém com uma maior receptividade a elétrons.

Após a dopagem, cada material, n e p , possuem características opostas no tocante à tendência de recepção/doação de elétrons. A junção de uma camada de semicondutor do tipo n com uma do tipo p resulta num diodo semicondutor. No processo de junção, os elétrons excedentes do n unem-se aos buracos do p . A região que conta com os elétrons livres e as lacunas é a região de depleção e essa vai perdendo esses

¹Dopagem é a adição de impurezas em um material de forma controlada, que pode alterar totalmente as propriedades elétricas de um material.

componentes à medida em que eles vão se ligando. Ela está próxima à região de junção dos materiais e é criada, nela, uma região de equilíbrio, que não é replicada às demais áreas do diodo.

B. Diodos

Diodos semicondutores são, então, dispositivos formados por um material semicondutor com duas partes, separadas por uma camada de depleção, cada uma tendo sofrido sua respectiva dopagem. A parte referente ao material *p* representa a polaridade positiva, o ânodo, e a parte *n* representa a polaridade negativa, cátodo.

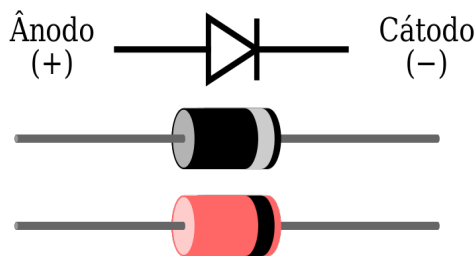


Fig. 1. Representação de um diodo alinhada ao desenho de sua imagem real.

É o tipo mais simples de componente eletrônico. Assim, a forma como esse dispositivo vai conduzir corrente elétrica depende da forma com que ele vai ser polarizado, seja de forma reversa ou direta. A polarização, então, será reversa se o polo positivo da fonte estiver em contato com o material do tipo *n* do diodo e o polo negativo for ligado ao material do tipo *p*. Invertendo-se essa configuração, tem-se uma polarização direta. Na prática, uma polarização reversa significa um bloqueio quase total da corrente elétrica; e a polarização direta significa o desbloqueio da passagem de corrente de forma demasiada.

Tendo em vista o funcionamento desse dispositivo, pode-se concluir que ele comporta-se de maneira semelhante a uma chave mecânica, no sentido de permitir ou não a passagem de corrente. Entretanto, o que os diferencia é que uma chave permite um único sentido de corrente (quando o chaveamento está fechado), enquanto o diodo permite um fluxo nos dois sentidos.

C. Curva característica

A curva característica é o nome que se dá à representação gráfica da relação entre tensão aplicada ao diodo à corrente que o percorre.

Ainda que o gráfico² seja ilustrativo, ele segue um padrão para representar a relação citada do dispositivo em questão. Sendo assim, tem-se a medida da corrente que percorre o diodo no eixo das ordenadas e a medida da tensão nos terminais do diodo no eixo das abscissas. Há de se notar que existe uma diferença de escala entre o lado positivo e negativo tanto horizontal quanto verticalmente. Vê-se que, na região de polarização direta, quando o diodo é alimentado com tensão positiva e crescente, surge uma corrente que aumenta até que

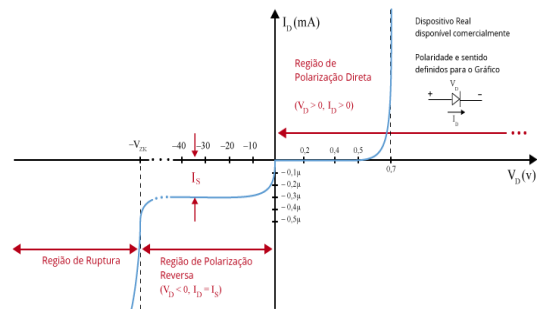


Fig. 2. Ilustração da curva característica de um diodo de Si²

o diodo se torne imensamente condutivo. Já na região de polarização reversa, o diodo é alimentado com tensão negativa e deixa de conduzir quase totalmente - no caso ideal, é de forma total - permitindo a passagem apenas de uma "corrente de fuga". Além de essas duas regiões, há, ainda, a região de ruptura. Ela é obtida ao se aplicar uma tensão reversa nos terminais do diodo cujo valor é maior que um certo valor de tensão (ou valor de tensão de ruptura). Nessa região, qualquer acréscimo na tensão acima do valor citado acarreta no aumento abrupto da corrente inversa, de forma análoga ao que ocorre com a tensão direta.

D. Retas de carga

Retas de carga são uma forma menos complexa de se obter os valores de tensão e corrente no diodo, dado a curva característica ser uma relação não-linear. Elas permitem, ainda, a predição de valores de tensão e corrente sobre o diodo sob determinadas condições.

III. EXPERIMENTO

Os experimentos realizados foram feitos por meio de simulações no software LTspice, a fim de analisar o comportamento de diodos sob condições distintas.

- Assim, a primeira prática pedia a curva característica de um diodo, conforme o circuito:

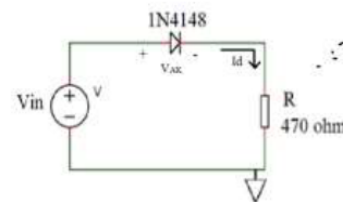


Fig. 3. Imagem 1 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

Cujos valores de tensão contínua de entrada fossem escolhidos a fim de impôr os valores de tensão no diodo esperados pelas regiões de polarização reversa e direta.

²Imagem retirada de <https://materialpublic.imd.ufrn.br/curso/disciplina/1/47/3/5>. Acesso em 11 de abril de 2022.

- A segunda prática pedia que a curva característica do diodo fosse plotada, tomando como base a figura 33, porém substituindo a fonte de tensão de corrente contínua por uma fonte de tensão dente de serra com valor máximo de 5V e valor mínimo de 0V com o oscilograma.
- O terceiro experimento pedia as retas de carga o do circuito3 e uma análise quanto à adequação ou não do diodo em questão (1N4148) ao circuito.
- A quarta e última prática pedia a substituição do circuito3 pelo circuito4, em que a tensão, agora, é gerada por um transformador (com tensão no primário de 220V e no secundário de 5V). Sob essas condições, deveria-se repetir, então, os procedimentos da segunda prática.

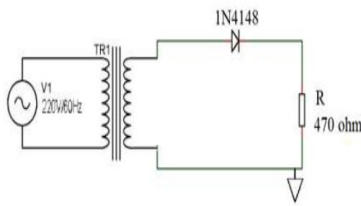


Fig. 4. Imagem 2 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

IV. RESULTADOS

Primeiramente, simulou-se o circuito 13, que é formado por uma fonte de tensão DC V1. Utilizou-se o software LTspice para sua confecção. Objetivando mostrar a curva característica do diodo do tipo 1N4148, precisou-se arbitrar um valor de tensão contínua para a fonte V1, além de determinar uma região de variação de tensão e um incremento. O resultado pode ser observado a seguir:

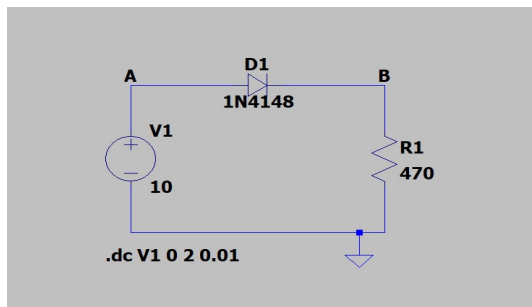


Fig. 5. Circuito com fonte DC V1 simulado no LTspice.

Tem-se, assim, um resistor de 470 ohms, com uma tensão V1 de 10V. A fonte de tensão DC V1 tem uma região de variação de 0 a 2V com um incremento de 0,01V. Com esses dados em mãos, pôde-se plotar um gráfico da variação da corrente em função da tensão, conforme 6.

Na figura 2, pode-se perceber que a região de polarização reversa se caracteriza pelo 0mV. Após essa delimitação, tem-se a região de operação direta, com o diodo começando a conduzir em, aproximadamente, 370mV(0,37V).

Para saber o comportamento do diodo com uma fonte de tensão diferente, utilizou-se o mesmo circuito da figura 3, mas

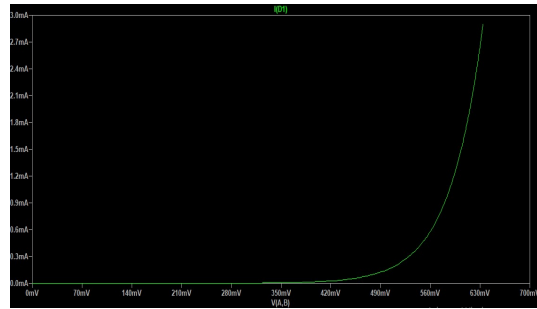


Fig. 6. Gráfico da variação da corrente do diodo.

com uma fonte do tipo dente de serra. O resultado está exibido em 7.

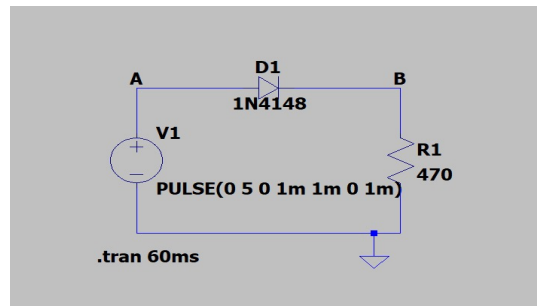


Fig. 7. Circuito com fonte dente de serra simulado no LTspice.

No circuito da figura 8, usou-se um transiente de 60ms, com uma voltagem mínima de 0V e máxima de 5V:

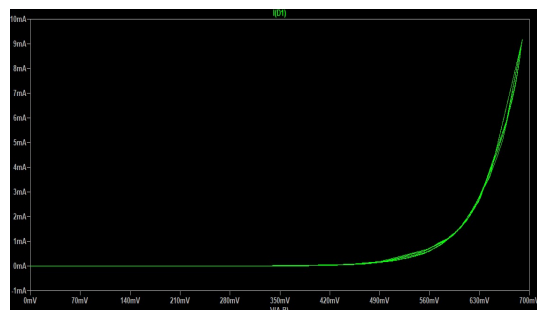


Fig. 8. Gráfico para fonte dente de serra simulado no LTspice.

Na figura 9, nota-se que, em alguns pontos da curva, a tensão varia. Durante a experimentação, foi-se observado que o uso de valores menores para o transiente, iria gerar uma variação também menor. Portanto, essa foi a estratégia utilizada.

Com o gráfico de cargas do diodo da figura 8, pode-se fazer o esboço do gráfico com as retas de carga, para, assim, observar-se a região de operação do diodo. Em sequência, é possível averiguar se ele, o diodo, está adequado para o circuito.

Pelo *datasheet* do diodo, vê-se que sua potência máxima de operação é de 500mW. Logo, o diodo está adequado para o circuito, pois, durante a experimentação, sua potência de

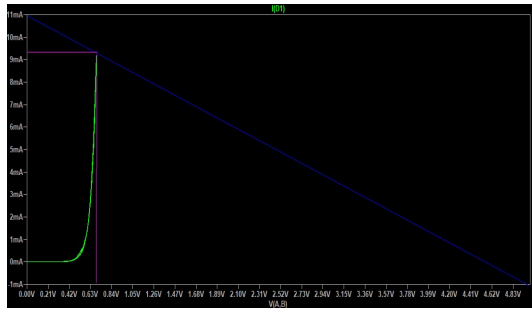


Fig. 9. Gráfico com retas de carga.

operação máxima ficou em torno de 6,32mW, que é abaixo da potência máxima, conforme a figura 10.

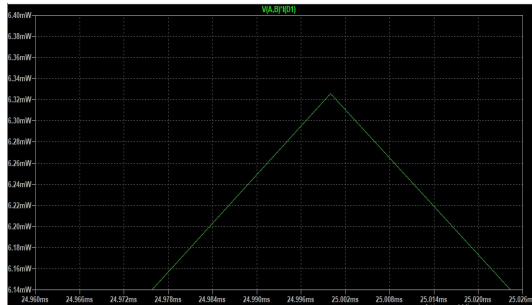


Fig. 10. Gráfico com potência máxima de operação do circuito.

No circuito da figura 4, tem-se um circuito com transformador, que para poder simular utilizando o LTspice, é necessária a utilização de indutores acoplados, como na figura 11.

Na figura 11, tem-se o circuito montado, o qual transforma uma tensão de 220V, a uma frequência de 60Hz, em uma tensão de 5V AC. Foi utilizada, para isso, a relação de indutância

$$(V1/V2) = (L1/L2)$$

para a tensão do primário e do secundário que foram fornecidas, em que

$$V1 = 220V$$

$$V2 = 5V$$

. Foi, então, arbitrado o valor de

$$L1 = 1200\mu H$$

e, com isso, chegamos a um resultado para

$$L2 = 0.6198\mu H$$

Após encontrar-se os valores necessários para o funcionamento do circuito, conseguiu-se gerar o gráfico da corrente do diodo para o circuito da figura 11.

Na figura 12, é possível notar uma certa instabilidade no momento que a curva cresce, isso se dá pelo uso de indutores no circuito. Essa oscilação na curva do gráfico, apesar de ser mínima, deu-se pela utilização de um transiente de 0,05 no

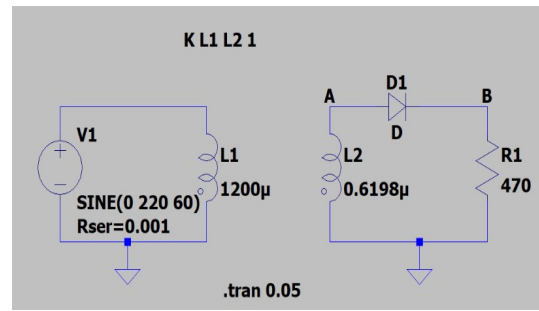


Fig. 11. Circuito com indutores.

circuito da figura 11. Esse valor é justificado pela percepção de que o uso de um transiente com maiores valores ocasionaria em maiores interferências.

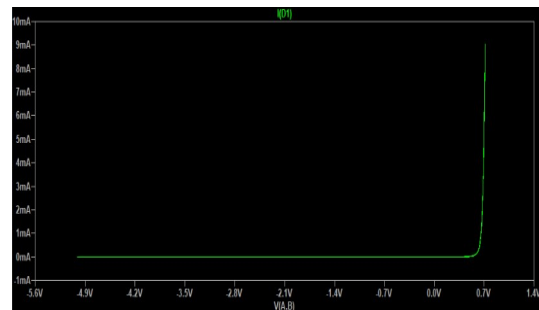


Fig. 12. Circuito com indutores.

V. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Tendo em vista tudo o que fora desenvolvido no trabalho, ficam nítidas as infinitas de aplicações possíveis para um diodo e como esse se configura quanto um dos principais e mais simples componentes eletrônicos.

REFERENCES

- [1] BOYLESTAD, Roberto. **Dispositivos eletrônicos e teoria de circuitos**. PHB, Rio de Janeiro, 1999.
- [2] SILVA, Ítalo B. da, et al. **Circuitos Eletrônicos: Diodo. Curso de Automação Industrial**. SEDIS-UFRN, Natal, 2016.
- [3] GALDINO, Jean Carlos da Silva. **Eletrônica Analógica. Curso de Eletrônica**. IFRN, 2012.
- [4] ALVES, Pedro. **Diodo – O que é e qual a sua aplicação?**. Disponível em <https://www.manualdaeletronica.com.br/diodo-o-que-e-qual-a-sua-aplicacao/>. Acesso em 10 de abril de 2022.