

# Laboratório 2: Circuitos com Diodos

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/ECT  
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. Diodos

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.

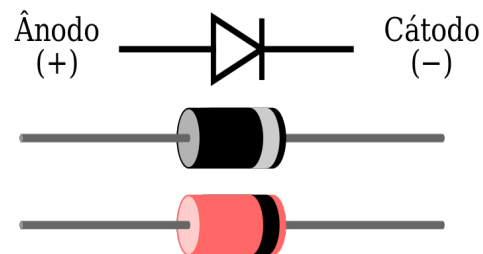


Fig. 1. Representação de um diodo alinhada ao desenho de sua imagem real.

### B. Diodos Retificadores

Dentre as mais diversas aplicações e os mais diversos tipos de diodos existentes, o diodo retificador é o mais utilizado na eletrônica atual, por ele atender as demandas de um bom conjunto de aplicações. Assim, o diodo retificador é um dispositivo semicondutor capaz de converter sinais de corrente alternada em sinais de corrente contínua, processo conhecido como retificação. Normalmente, diodos retificadores possuem maiores potência e valor máximo de corrente do que diodos em outras funções. Um diodo retificador pode ser de meia onda ou de onda completa:

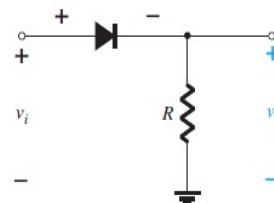


Fig. 2. Representação de um retificador de meia onda. Figura retirada de [1]

1) *Retificador de Meia Onda:* Como um retificador de meia onda, o diodo, ao ser polarizado diretamente (pela área positiva do sinal que representa a corrente alternada), permite

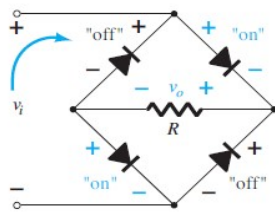


Fig. 3. Representação de um retificador de onda completa. Figura retirada de [1]

a passagem da corrente e age como um curto-circuito. O sinal de saída é igual ao de entrada. Quando esse mesmo diodo é polarizado inversamente (pela área negativa do sinal que representa a corrente alternada), ele age como um circuito aberto e não permite a passagem da corrente.

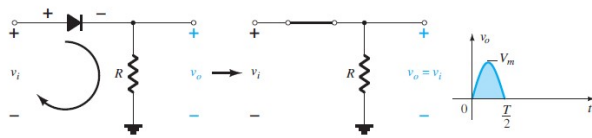


Fig. 4. Representação de um retificador de meia onda a partir da polarização direta e a expressão gráfica de sua saída. Figura retirada de [1]

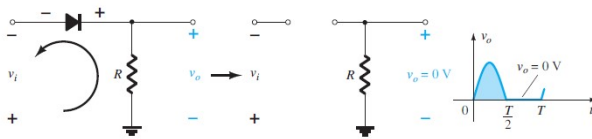


Fig. 5. Representação de um retificador de meia onda a partir da polarização inversa e a expressão gráfica de sua saída. Figura retirada de [1]

Como indicado nas figuras 7 e 5, o resultado desse processo é a a remoção de metade do sinal de entrada, sobre cada período  $T$ , toda a parte negativa desse, para que se estabeleça um valor médio de tensão. Idealmente, esse valor é representado por:

$$V_{CC} = V_m \times 0.318 \quad (1)$$

Com essa equação, fica nítida a perda de eficiência do retificador em questão. Na realidade, esse valor é representado por:

$$V_{CC} = V_m \times 0.318 \times (V_m - V_K) \quad (2)$$

Em que  $V_K$  é inerente ao material utilizado no diodo retificador: vale 0.7 para diodos de silício e 0.3 para diodos de germânio.

2) *Retificador de Onda Completa*: Já o retificador de onda completa é aquele utilizado para a melhoria dos valores obtidos em 3. Uma das configurações possíveis para um retificador de onda completa é a ??, em que os diodos assumem uma configuração de ponte. Essa configuração de

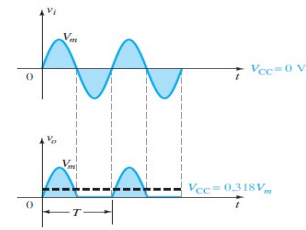


Fig. 6. Comparação gráfica entre os sinais de entrada e saída de um retificador de meia onda. Figura retirada de [1]

retificador trabalha em dois semiciclos: um positivo, quando os diodos  $D_2$  e  $D_3$  estão no modo *on* e os demais no modo *off*; e o semiciclo negativo, quando os diodos em *on* são os  $D_1$  e o  $D_4$ . No positivo, a corrente é conduzida de  $D_2$  para  $D_3$ , que estão polarizados positivamente, e, no negativo, a corrente flui de  $D_4$  para  $D_1$ .

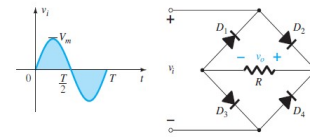


Fig. 7. Representação de um retificador de onda completa, durante o semiciclo positivo. Figura retirada de [1]

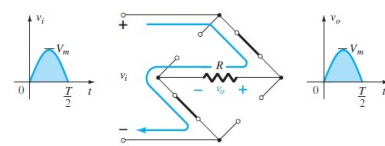


Fig. 8. Representação de um retificador de onda completa, durante o semiciclo positivo e a expressão gráfica de sua saída. Figura retirada de [1]

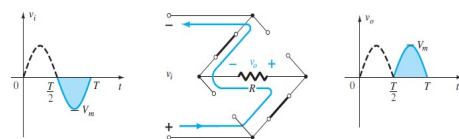


Fig. 9. Representação de um retificador de onda completa, durante o semiciclo negativo e a expressão gráfica de sua saída. Figura retirada de [1]

Neste caso, a equação da área sobre o eixo é duas vezes a equação 3:

$$V_{CC} = 2 \times (V_m \times 0.318) \quad (3)$$

Para diodos não ideais, tem-se:

$$V_{CC} = 0.636 \times (V_m - 2 \times V_K) \quad (4)$$

Esse feito só é possível pela forma como os diodos são organizados.

### C. Grampeadores

Um grampeador é um circuito formado por um diodo, um resistor e um capacitor. Esse último é responsável por deslocar uma forma de onda para um nível CC diferente, sem que esse deslocamento altere o sinal inicialmente aplicado.

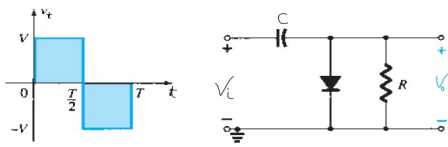


Fig. 10. Representação de um circuito grampeador. Figura retirada de [1]

## III. EXPERIMENTOS

Os experimentos realizados foram feitos por meio de simulações no software LTSpice, a fim de analisar o comportamento de diodos em circuitos.

- Assim, a primeira prática pedia uma análise do circuito da 11, que é composta por um retificador de onda completa, na configuração ponte. Além disso, propõe a construção desse via LTSpice, a fim de se verificar qual capacitor seria necessário para que fosse obtido um 8Vcc na saída com um ripple de 5% como máximo.

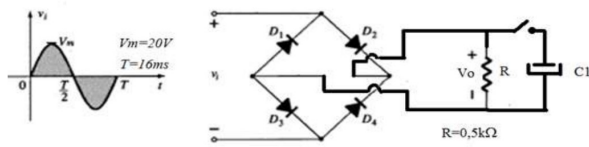


Fig. 11. Imagem 1 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

A partir do circuito 11, também foram pedidos: a corrente média nos diodos, com e sem capacitor; a forma de corrente na fonte  $v_i$ , D2, na saída do retificador, com e sem capacitor; e a eficiência deste circuito (considerando-se a eficiência,  $\eta = \text{potência de entrada} / \text{potência na saída}$ ).

- A segunda prática pedia a montagem do circuito *b* de 12, considerando, inicialmente, o capacitor  $C_1$  descarregado. Deve-se considerar, também, que a onda de entrada no circuito é  $V_1$ , segunda *a* da 12.

Por fim, seria necessário plotar a onda  $V_0$  sobre o resistor  $R_1$  em  $R_1 = 1k\Omega$  e em  $R_1 = 200k\Omega$ , a fim de comparar esses resultados; e comentar a influência de constantes de tempo nas formas de onda obtidas.

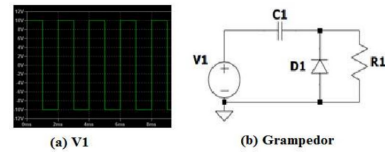


Fig. 12. Imagem 2 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

- O terceiro experimento trabalhava com multiplicadores de tensão e dividia-se em duas partes: na primeira, deveria-se montar o circuito dobrador de tensão de onda completa, 13, no LTSpice e verificar qual seria a forma de onda de saída, dada uma  $V_m = 5V$ , uma entrada no primário com uma tensão senoidal de 60Hz e 220 Vrms, e na saída 10 V<sub>CC</sub>. A segunda parte da atividade pedia a comparação dos valores de tempo para a carga de capacitores com 60Hz na entrada e com 600Hz na mesma entrada. Nesse caso, os capacitores deveriam ter  $C_1 = C_2 = 10\mu F$ .

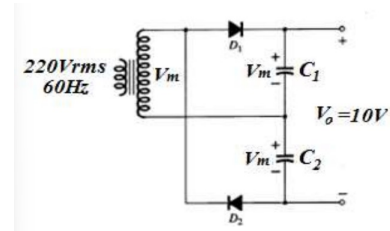


Fig. 13. Imagem 3 das instruções experimentais do professor Andrés Ortiz.

## IV. RESULTADOS

Para a parte 1 tem-se:

Primeiramente, simulou-se o circuito 11 com e sem filtros, que podem ser observados a seguir:

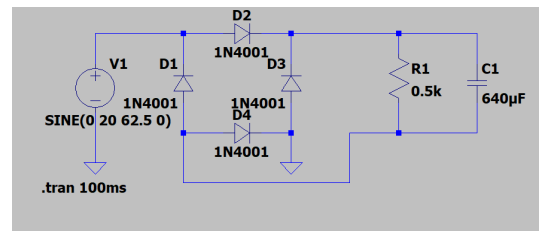


Fig. 14. Circuito11 com filtro simulado no LTSpice.

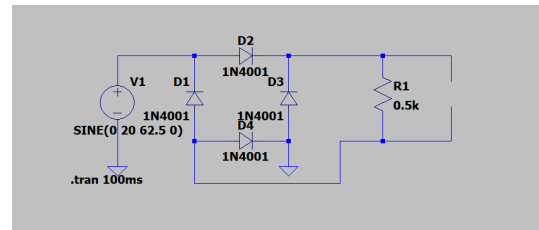


Fig. 15. Circuito11 sem filtro simulado no LTSpice.

Na sequência, buscou-se responder o primeiro ponto acerca do circuito em questão, em que se indagava sobre qual o capacitor deveria ser usado, considerando-se 18 Vcc e *ripple* com 5% de máxima. Para isso, objetivando a objetividade deste estudo, observou-se que os diodos D2 e D4 de 11 eram iguais, assim como D1 e D3, e que, por isso, um diodo de cada dupla seria o suficiente para a representação do comportamento da dupla.

$$V_{ripple} = 0.05 \times 18 = 0.9V \quad (7)$$

$$V_{ripple} = \frac{(0.036 \times 16 \times 10^{-3})}{C} \therefore C = 640\mu F \quad (8)$$

Para verificar a forma da corrente na fonte  $V_i$ , no D2 e na saída do retificador com e sem capacitor em todos os casos, tem-se:

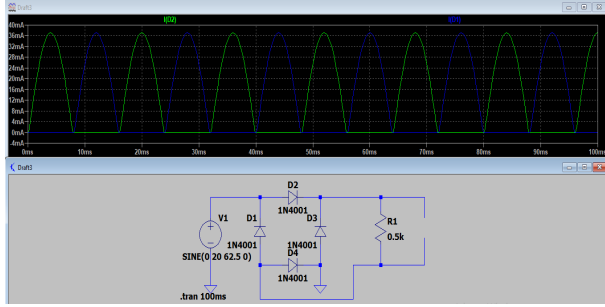


Fig. 16. Circuito e gráfico 15 sem filtro simulado no LTspice.

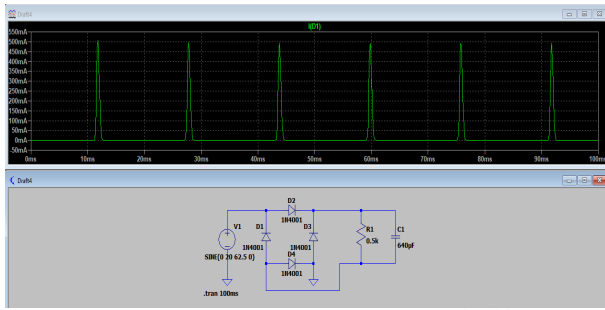


Fig. 17. Circuito e gráfico de D1 com filtro simulado no LTspice.

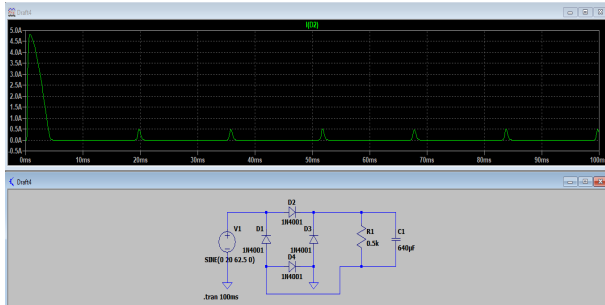


Fig. 18. Circuito e gráfico de D2 com filtro simulado no LTspice.

Dadas as equações para as quais foram fornecidos:  
 $T = 16\text{ms}$ ,  $V = 18\text{V}$ ,  $R = 500\Omega$

$$V_{ripple} = \frac{I \times T}{C}, \quad (5)$$

$$I = \frac{V}{R} \therefore I = 0.036A \quad (6)$$

Para um *ripple* máximo de 5% de um  $V_{CC} = 18\text{V}$ , faz-se:

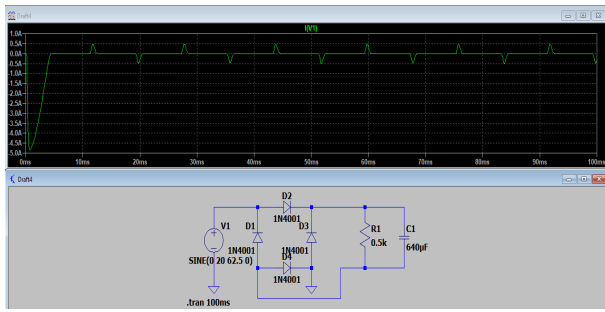


Fig. 19. Forma de corrente na fonte  $V_i$  com filtro simulado no LTspice.

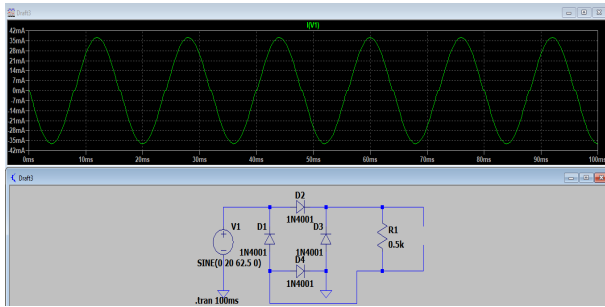


Fig. 20. Forma de corrente na fonte  $V_i$  sem filtro simulado no LTspice.

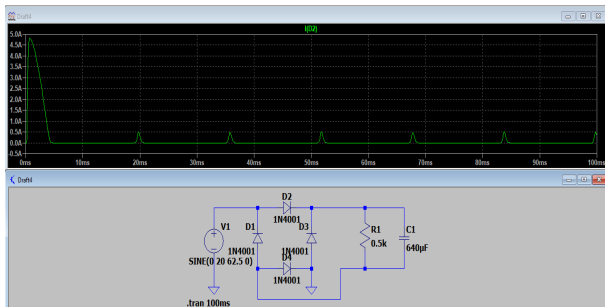


Fig. 21. Forma de corrente no diodo  $D_2$  com filtro simulado no LTspice.

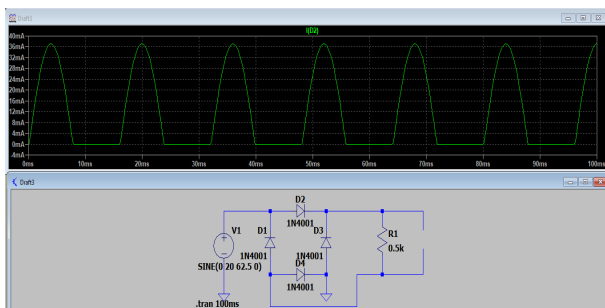


Fig. 22. Forma de corrente no diodo  $D_2$  sem filtro simulado no LTspice.

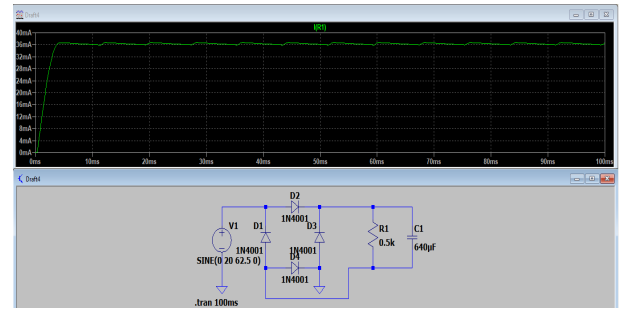


Fig. 23. Forma de corrente no retificador  $R_1$  com filtro simulado no LTspice.

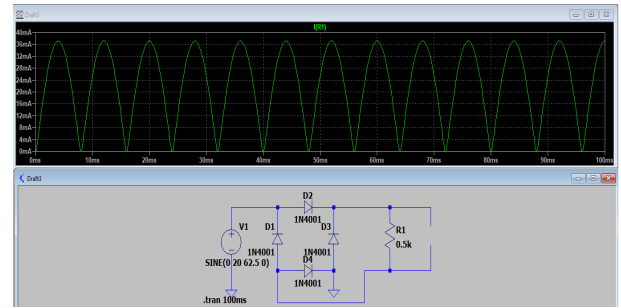


Fig. 24. Forma de corrente no retificador  $R_1$  sem filtro simulado no LTspice.

Para o último tópico da primeira questão, tem-se que o cálculo da eficiência deve ser dado por:

$$\eta = \frac{Potência-de-Saída}{Potência-de-Entrada}$$

Para tanto, vai-se usar a tensão média no resistor, que será a de saída dele, e dividir pela tensão de entrada, a da fonte. Esse resultado está representado nas figuras 25 26 27 28, como *average*.

Seguindo ao experimento 2, tem-se que o comportamento do circuito 29, à medida que se aumenta a resistência, vai apresentar uma queda de tensão - naturalmente esperado pela Lei de Ohm.

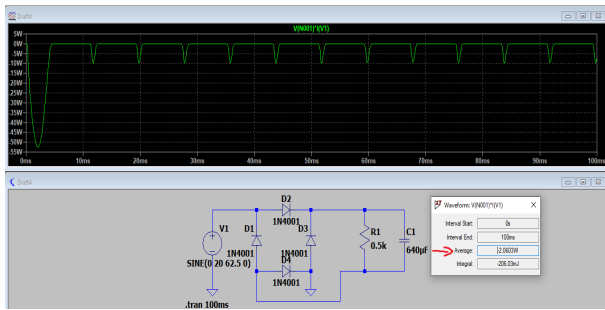


Fig. 25. Circuito com filtro - tensão de entrada na fonte simulado no LTspice.

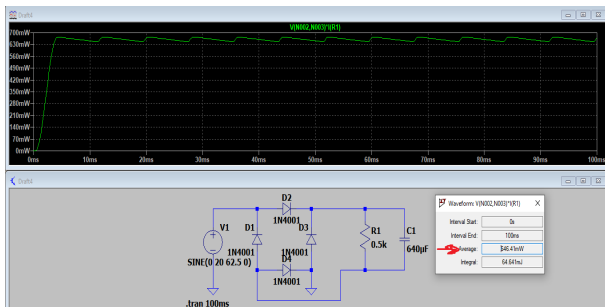


Fig. 26. Circuito com filtro - tensão média no resistor (tensão de saída) simulado no LTspice.

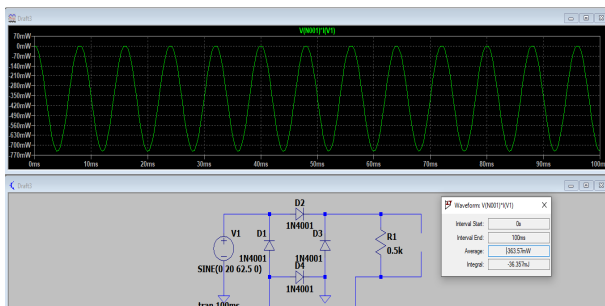


Fig. 27. Circuito sem filtro - tensão de entrada na fonte simulado no LTspice.

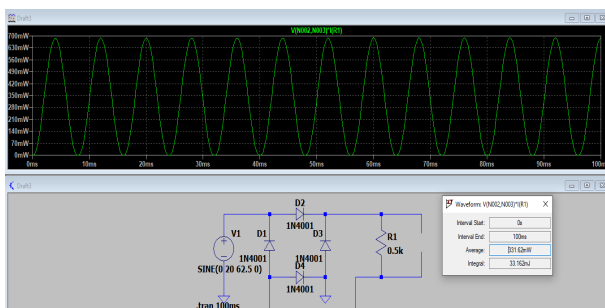


Fig. 28. Circuito sem filtro - tensão média no resistor (tensão de saída) simulado no LTspice.

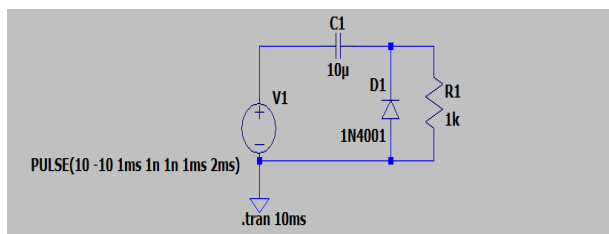


Fig. 29. circuito montado simulado no LTspice.

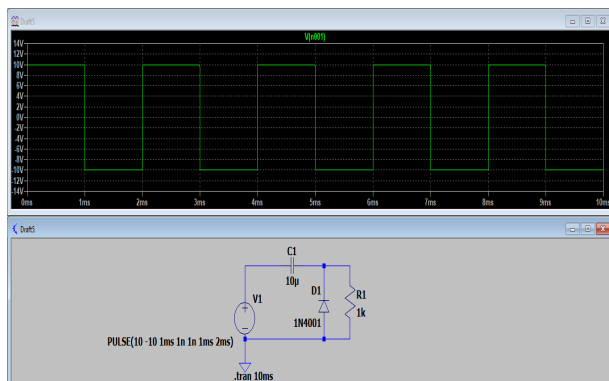


Fig. 30. Circuito 29 com gráfico da fonte  $V_1$  simulado no LTspice.

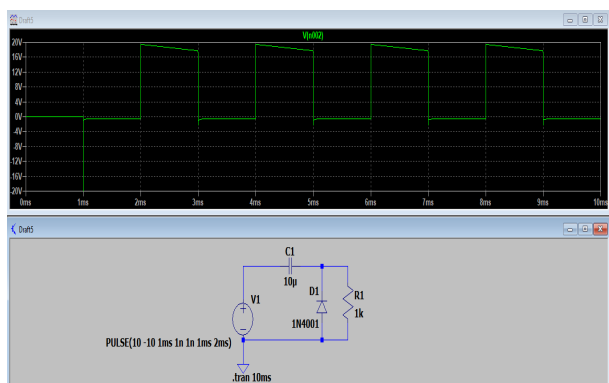


Fig. 31. Comportamento para resistor de  $1k\Omega$  simulado no LTspice.

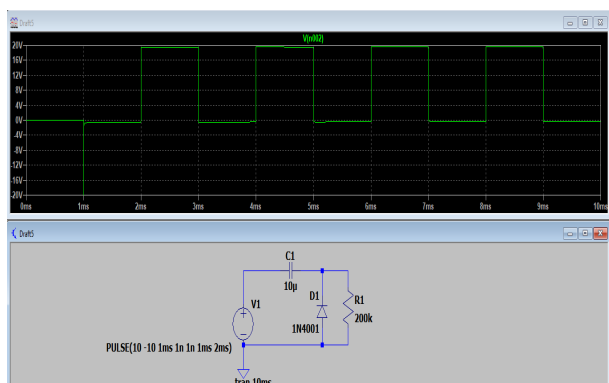


Fig. 32. Comportamento para resistor de  $200k\Omega$  simulado no LTspice.

Seguindo ao experimento 3, tem-se:

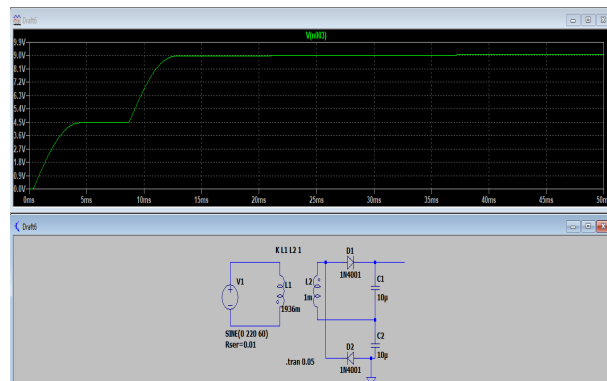


Fig. 33. Forma de onda da tensão no primário para 60Hz simulada no LTspice.

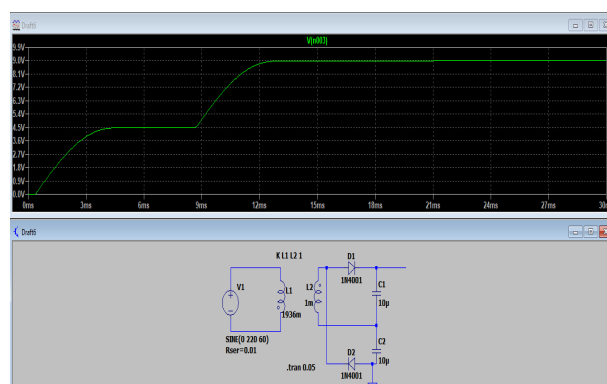


Fig. 34. Tempo do capacitor para 60Hz simulado no LTspice.

## V. COMENTÁRIOS E CONCLUSÕES

Tendo em vista tudo o que fora desenvolvido no trabalho, ficam nítidas as infinitudes de aplicações possíveis para um diodo e como esse se configura quanto um dos principais e mais simples componentes eletrônicos. É de se observar, ainda, o quanto a representação do circuito pode auxiliar no entendimento dos fenômenos, ainda que esses fenômenos não sejam tão graficamente palpáveis.

## 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.