

Experiência N° 1: Circuitos com diodos

Rubens S. Braz Filho - xxx
 Matheus Costa de Oliveira - xxx
 Departamento de Engenharia Elétrica - ENE
 Universidade de Brasília - UnB

Resumo—Nesse relatório, as experiências laboratoriais e seus resultados serão apresentadas sequencialmente a seguir; a fonte usada nelas foi $v(t) = 10\sin(120\pi t)$.

Logo após as experiências, serão respondidas as questões experimentais e discussões.

Adotamos os seguintes padrões de cores para os gráficos em função do tempo: tensão da fonte em amarelo; tensão medida em verde e em vermelho temos a tensão medida caso os diodos fossem ideais.

1. MATERIAL NECESSÁRIO

- 2 diodos 1N4007;
- 2 diodos Zener BZX75C2V4 ou equivalente;
- 1 resistor 1 k Ω / 0,25W;
- Equipamentos: osciloscópio de dois canais, gerador de sinais.

EXPERIÊNCIAS LABORATORIAIS:

2. EXPERIÊNCIA 1

O circuito montado no laboratório para a experiência 1 é mostrado na figura 1.

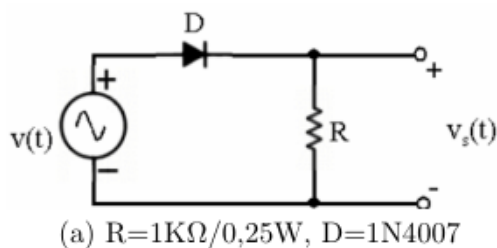


Figura 1: Circuito A
 retirada do Roteiro do Experimento 1

O gráfico para a tensão $v \times t$ (em amarelo) e $v_s \times t$ (em verde) é:

- O diodo 'D' está em polarização direta em todos os pontos do gráfico em verde que são maiores que zero. Em todos os que ele é igual a zero, o diodo está em polarização reversa. Como se trata de um diodo retificador, a região de ruptura, que é inclusive evitada, não é atingida nessa experiência!

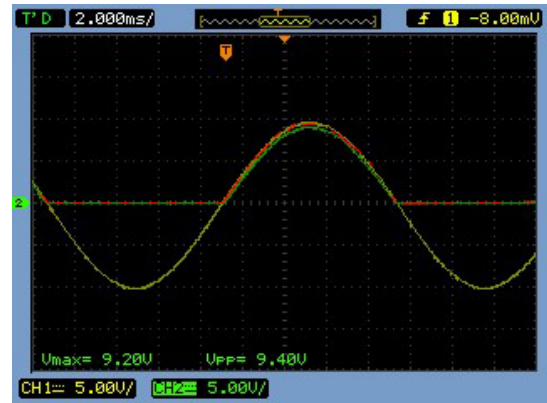


Figura 2: Gráfico de tensões pelo tempo - Circuito A
 Obtido com o auxílio do osciloscópio.

O Roteiro solicita a característica de transferência $v_0 \times v_I$. Essas grandezas se referem às tensões sobre o resistor (em verde em 2) e fornecida pela fonte (em amarelo em 2).

O gráfico para a característica de transferência, que pode ser portanto denotado como $V_s \times v$, foi obtido experimentalmente e está representado em 3.

O resistor tem a mesma tensão da fonte quando o diodo está em polarização direta. Nos pontos os quais a fonte é negativa, o diodo está em polarização reversa e a tensão no resistor é nula.

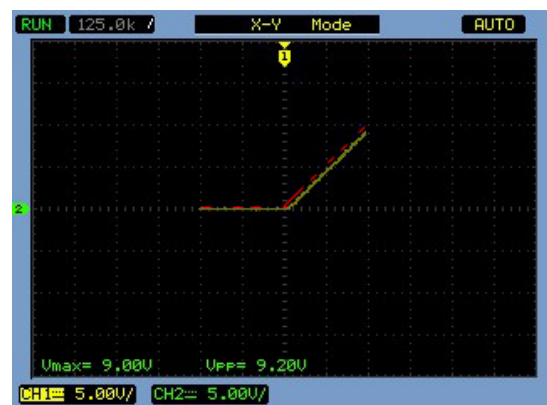


Figura 3: Gráfico da característica de transferência do circuito - Circuito A
 Obtido com o auxílio do osciloscópio

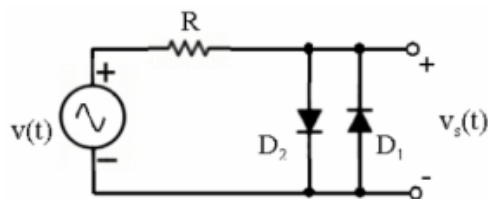
Podemos então perceber as diferenças entre os gráficos obtidos empiricamente com os esperados de acordo com o desenvolvimento teórico, que adotou um diodo ideal.

No diodo ideal, a superposição dos gráficos $v(t) \times t$ com o $V_s(t) \times t$ fornece uma sinal idêntico no semi-plano positivo do eixo das ordenadas, além da inclinação da reta em $v(t) \times V_s(t)$ se iniciar exatamente na origem.

Entretanto, ao tratar dos diodos reais, observamos a presença de uma pequena queda de tensão V_D no diodo. Desse modo a função $V_s(t)$ estar visualmente um pouco abaixo de $v(t)$ no ponto máximo em 2 e a reta em 3 se iniciar um pouco depois da origem nos confirmam as hipóteses e projeções realizadas previamente.

3. EXPERIÊNCIA 2

O circuito montado no laboratório para a experiência 2 é mostrado na figura 4.



(b) $R=1K\Omega/0,25W$, $D=1N4007$

Figura 4: Circuito B
retirada do Roteiro do Experimento 1

Tratando de diodos ideais, a configuração de 4 nos forneceria uma tensão $V_s(t) = 0 \forall t$. Todavia, a tensão V_D citada anteriormente resulta em um intervalo no qual o diodo em questão não conduz mesmo em polarização direta.

O resultado prático disso é que, para $|v(t)| > V_D$, um dos dois diodos está na região de condução. Entretanto, para $|v(t)| < V_D$, ambos os diodos não permitem passagem de corrente e $V_s(t) = v(t)$.

Desse modo, temos que o diodo 'D1' está em polarização direta na região aproximadamente constante do gráfico em verde da figura 4 que tem valores maiores que zero. Como o diodo 'D2' tem polarização oposta ao diodo 'D1', ele está em polarização reversa.

Nos valores negativos e aproximadamente constantes do gráfico em verde, o diodo 'D1' tem polarização reversa e, 'D2', direta. Vale lembrar que a tensão de ruptura não é atingida nessa experiência.

O gráfico para a tensão $v \times t$ está em amarelo e $v_s \times t$, em verde.

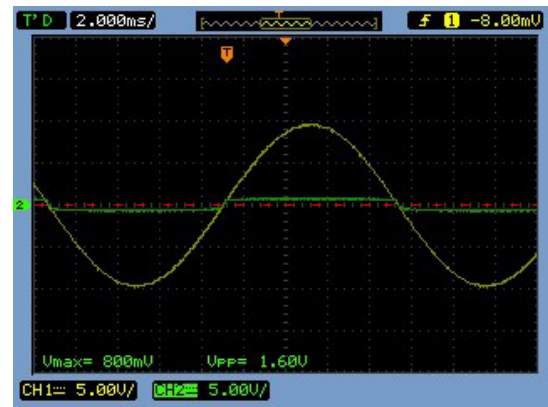


Figura 5: Gráfico de tensões pelo tempo - Circuito B
Obtido com o auxílio do osciloscópio.

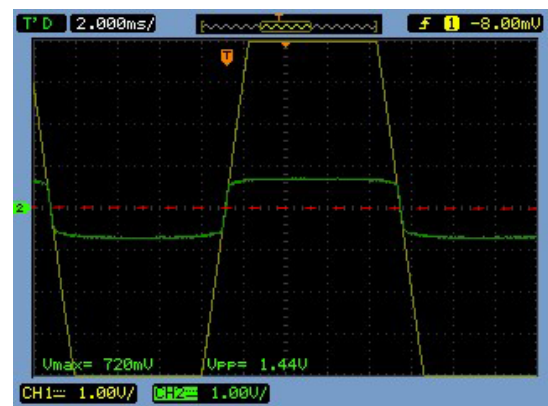


Figura 6: Zoom do gráfico de tensões pelo tempo - Circuito B
Obtido com o auxílio do osciloscópio.

O gráfico para a característica de transferência $v_o \times v_I$ deste circuito nos ilustra o que é observado em 6. Existe uma região central onde nenhum dos diodos está na região de condução, dessa forma, a tensão v_o varia aproximadamente linearmente com $v(t)$. Ao atingir a polarização direta que permite que o diodo 1N4007 conduza, seja 'D1' ou 'D2', observamos que V_s se restringe a esse valor V_D independente do valor da fonte.

Como trata-se do mesmo modelo de diodo, percebe-se a simetria do gráfico da figura 7.

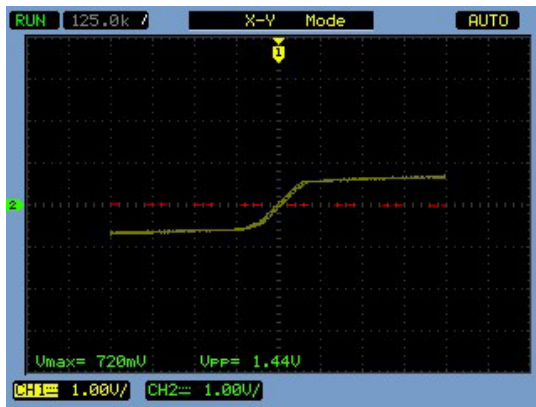
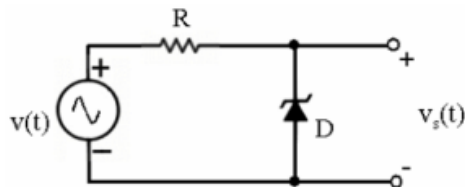


Figura 7: Gráfico da característica de transferência do circuito - Circuito B
Obtido com o auxílio do osciloscópio.

4. EXPERIÊNCIA 3

O circuito montado no laboratório para a experiência 3 é mostrado na figura 8.



(c) $R=1K\Omega/0,25W$, $D=BZX75C2V4$

Figura 8: Circuito C
retirada do Roteiro do Experimento 1

O gráfico para a tensão $v \times t$ (em amarelo) e $v_s \times t$ (em verde) obtido está exposto em 9 e 10.

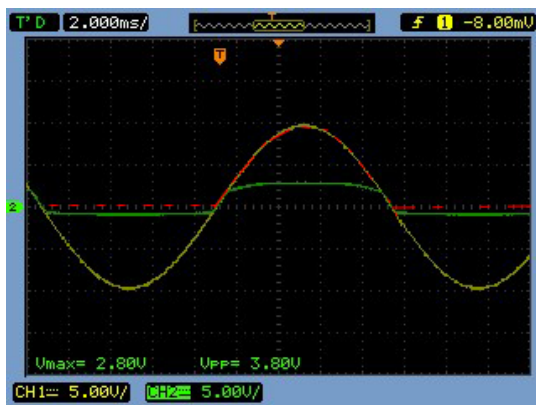


Figura 9: Gráfico de tensões pelo tempo - Circuito C
Obtido com o auxílio do osciloscópio

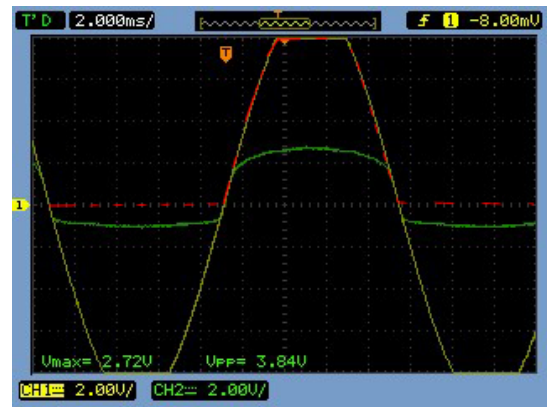


Figura 10: Zoom do gráfico de tensões pelo tempo - Circuito C
Obtido com o auxílio do osciloscópio

Diferentemente da figura 1, o diodo em questão sofre polarização direta quando $v(t) < 0$. Para um diodo ideal, teríamos $V_S(t) = v(t)$ na polarização reversa, como ilustrado no gráfico tracejado.

Entretanto, trataremos agora de um diodo Zener. A região de ruptura não foi abordada e nem influenciou os resultados até aqui, entretanto, a funcionalidade do diodo BZX está intimamente atrelada à região de ruptura.

Diferentemente do indicado pelo Roteiro 1, o diodo Zener utilizado no laboratório foi o BZX55C2V4, o qual tem a tensão de ruptura pertencente ao intervalo $2.28 < V_Z < 2.56$.

Analogamente ao discutido na Experiência 1, o diodo em série com o resistor, quando polarizado diretamente, permitirá que a corrente flua no circuito e a tensão sobre o diodo será teoricamente nula. O diodo Zener, entretanto, também possui um V_D e, como a polarização direta no circuito em 8 é realizado para valores negativos de $v(t)$, observamos na figura 6 que aparece uma tensão em $V_s(t)$ para tais valores da fonte.

Para $v(t) > 0$, temos que o diodo está em polarização reversa. Todavia, observa-se nos gráficos do osciloscópio que para valores um pouco acima de 2V da fonte, o diodo permite a condução e a tensão sobre tal elemento tende a se manter constante. Nessa situação o diodo atingiu a região de ruptura, prevista pelo valor de V_Z descrito acima.

O gráfico para a característica de transferência $v_0 \times v_I$ está na figura 11.

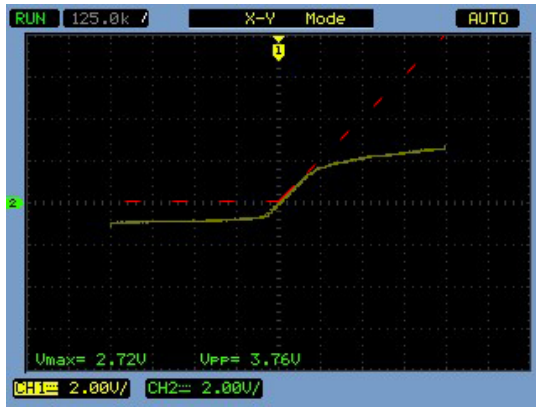


Figura 11: Gráfico da característica de transferência do circuito - Circuito C
Obtido com o auxílio do osciloscópio

O gráfico de transferência do circuito em questão, embora tenha similaridade com o da figura 7, não é simétrico em relação ao eixo das abscissas. Nesse caso, o valor que $V_S(t)$ se aproxima quando $v(t) \rightarrow -\infty$ está atrelado ao valor V_D do diodo Zener, já o valor que $V_S(t)$ tende quando $v(t) \rightarrow \infty$ é controlado pelo V_Z .

5. EXPERIÊNCIA 4

O circuito montado no laboratório para a experiência 4 está ilustrado na figura 12.

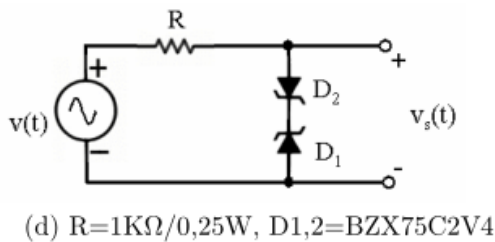


Figura 12: Circuito D
retirada do Roteiro do Experimento 1

O circuito descrito na figura 8 é bastante semelhante ao atual, porém agora, foi acrescentado um diodo em série com polaridade invertida.

A análise feita anteriormente nos apontou que existem duas possibilidades para que um diodo Zener conduza: ultrapassar seus valores característicos de tensão V_D e V_Z , os quais tem sinais opostos na análise de circuito.

Para o caso de diodos Zener em polarizações opostas, a corrente flui no circuito quando a tensão no trecho supera V_Z de um e V_D do outro simultaneamente. Na situação em questão, como $V_Z > V_D$, basta que a tensão no ramo seja superior ao valor de V_Z .

Para diodos ideais, um dos diodos sempre estará em polarização reversa para todo t e, portanto, a tensão de saída ideal seria a própria tensão da fonte.

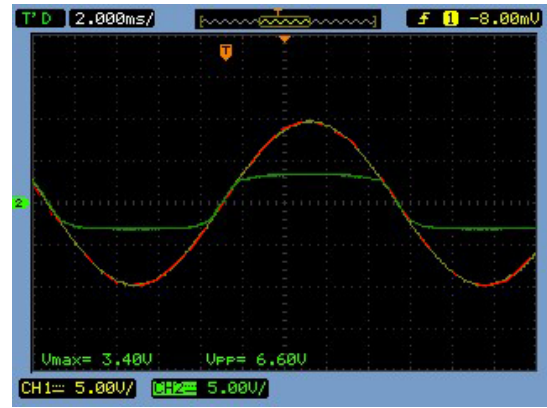


Figura 13: Gráfico de tensões pelo tempo - Circuito D
Obtido com o auxílio do osciloscópio

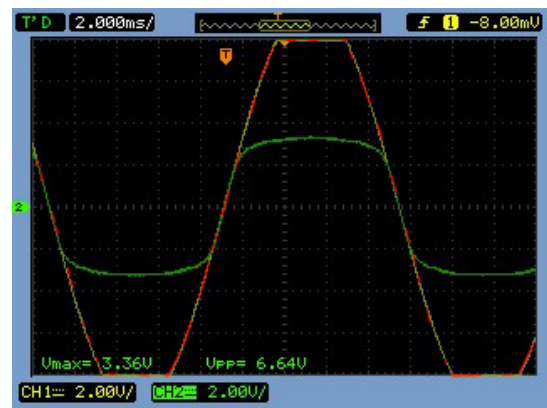


Figura 14: Zoom do gráfico de tensões pelo tempo - Circuito D
Obtido com o auxílio do osciloscópio

As figuras 13 e 14 nos ilustram que para o circuito atingir uma região de condutividade plena, $v(t) > |V_Z|$. Desse modo, obtemos que o gráfico para a característica de transferência $v_0 \times v_I$ deste circuito é simétrico, assim como o da figura 7.

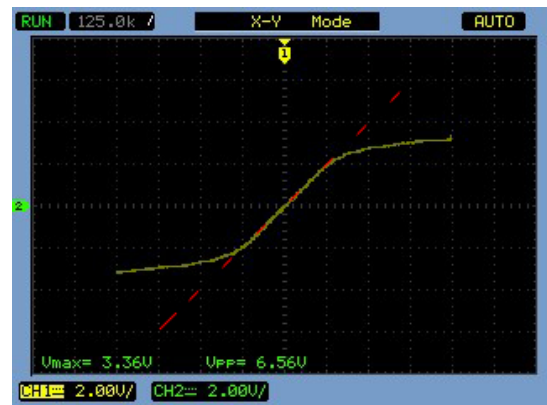


Figura 15: Gráfico da característica de transferência do circuito - Circuito D
Obtido com o auxílio do osciloscópio

6. QUESTÕES EXPERIMENTAIS E DISCUSSÃO

- 1) As semelhanças e distinções entre os dados empíricos e os previstos teoricamente foram discutidas ao longo das seções anteriores durante a apresentação dos resultados.
- 2) A medição da tensão $V_S(t)$ sobre o resistor no circuito da figura 1 é denominado retificador pelo fato do circuito transformar um sinal de entrada fornecido pela fonte, que possui valores positivos e negativos, apenas em seus valores apenas positivos.

Entretanto, se o sinal de entrada do sistema for positivo e tender ao infinito, $V_s \approx v(t) \approx \infty$, o que evidencia que o circuito não limita a variável de entrada. Além disso, a limitação para regiões negativas é feita de forma completa, ou seja, torna a saída nula para todos os valores negativos de entrada. Isso caracteriza o circuito retificador.

Todavia, se analisarmos a tensão no diodo para valores positivos de $v(t)$, a análise é realizada na região de polarização direta. Por não se tratar de um diodo ideal, a região de condução só é alcançada quando $v(t) = V_D$, dessa forma, temos que, enquanto $v(t) < V_D$, o diodo funciona como um aberto e a tensão no diodo é igual à tensão da fonte. Porém, quando o diodo passa a conduzir corrente, a tensão medida é limitada em V_D .

Se analisarmos os valores negativos de $v(t)$, temos que a tensão no diodo será sempre igual à tensão da fonte. Por conta das características de limitação apenas para valores positivos de entrada, esse circuito é denominado como limitador simples.

- 3) Pela descrição acima e baseado nas variáveis de entrada e saída, podemos classificar todos os outros 3 circuitos como limitadores duplos. Perceba que o gráfico de transferência de todos apresenta um limite para valores tanto positivos quanto negativos da entrada $v(t)$. Esses limites são proporcionados pelos valores de V_D e/ou V_Z , dependendo da disposição e dos diodos utilizados.

REFERÊNCIAS

- [1] Roteiro do Experimento 1 da Disciplina Laboratório de Eletrônica. Departamento de Engenharia Elétrica - Universidade de Brasília. Brasília, Brasil.
- [2] SEDRA; Adel S. e SMITH, Kenneth C. Microelectronics Circuits, 7th Edition. Copyright © 2015, 2010, 2004, 1998 by Oxford University Press;
- [3] KOERICH, Alessandro. *Diodos Eletrônica*. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/professor/36/TE214/Diodos-Eletronica-P1-four.pdf>>. Acesso em 28 Mar. 2019.
- [4] CIPELLI, Antonio Marco V. *Teoria de Projetos de Circuitos Eletrônicos*, 23ª edição – São Paulo: Érica, 2007.