

## 4º experimento - Diodo semicondutor

Carlos Eduardo da S. Papa

232013390@aluno.unb.br

23/2013390

Turma 1A

Ronan Cunha Freitas

232013425@aluno.unb.br

23/2013425

Turma 2B

Rodrigo Cardoso da Silva

231031699@aluno.unb.br

23/1031699

Turma 2B

**Resumo** Este relatório apresenta a caracterização elétrica de um diodo semicondutor do tipo BY127 por meio do levantamento de suas curvas  $I_D \times V_D$  em polarização direta e reversa, bem como a análise funcional de múltiplas configurações de circuitos utilizando diodos retificadores sob sinal senoidal de 100 Hz e 8 Vpp. O trabalho investiga o comportamento dinâmico, a condução seletiva, a retificação e os efeitos de topologias como série, antissérie, antiparalelo e filtragem por capacitor. Todos os resultados são discutidos com base nos fundamentos teóricos da junção PN, leis de semicondutores e formas de onda obtidas experimentalmente.

### 1. Objetivos

Os objetivos deste experimento são estabelecer a caracterização elétrica do diodo semicondutor do tipo BY127 e analisar seu comportamento em diferentes condições de operação. De forma específica, o experimento visa:

- Levantar a curva característica  $I_D \times V_D$  do diodo em polarização direta, identificando a tensão limiar de condução e o comportamento exponencial previsto pela equação de Shockley;
- Determinar a característica  $I_D \times V_D$  em polarização reversa, verificando a ausência de condução e o regime de corrente de saturação abaixo da tensão de ruptura;
- Investigar a resposta dinâmica do diodo quando submetido a um sinal senoidal, analisando cinco configurações distintas de circuitos retificadores;
- Observar e interpretar as formas de onda medidas no resistor de carga por meio do osciloscópio, relacionando-as com o funcionamento das topologias de retificação;
- Desenvolver competências práticas de montagem de circuitos, operação de instrumentos de medição e análise crítica de dados experimentais.

Esses objetivos buscam integrar fundamentos teóricos

sobre junções PN, dispositivos semicondutores e retificação, com a prática laboratorial necessária para compreensão aprofundada do comportamento do diodo BY127.

### 2. Introdução

Os diodos semicondutores constituem dispositivos fundamentais na eletrônica, sendo amplamente aplicados em retificação, proteção, chaveamento e circuitos de filtragem. Sua operação se baseia na formação de uma junção PN, estrutura que estabelece uma região de depleção e uma barreira de potencial cuja modulação determina o fluxo de corrente no dispositivo. Quando diretamente polarizado, o diodo conduz corrente de forma exponencial em função da tensão aplicada; quando reversamente polarizado, a corrente é drasticamente reduzida, restringindo-se ao regime de saturação até a eventual ocorrência de ruptura em tensões elevadas [2].

O comportamento elétrico de um diodo ideal pode ser descrito pela equação de Shockley [1]:

$$I = I_0 \left( e^{\frac{V_D}{\eta V_T}} - 1 \right), \quad (1)$$

em que  $I$  é a corrente conduzida,  $I_0$  é a corrente de saturação reversa,  $\eta$  é o fator de idealidade ( $1 \leq \eta \leq 2$ ), e  $V_T = kT/q$  é a tensão térmica, aproximadamente 26 mV à temperatura ambiente.

O dispositivo estudado neste experimento é o diodo retificador BY127, caracterizado por alta tensão reversa máxima (800 V) e corrente direta de até 1 A, parâmetros que o tornam adequado para aplicações de retificação em baixa frequência [3]. A compreensão do comportamento de sua curva característica  $I_D \times V_D$  é essencial para o dimensionamento de circuitos com cargas reais e análise de eficiência em processos de conversão AC-DC.

Além da caracterização estática, o experimento abrange a análise dinâmica do diodo sob sinal senoidal de 100 Hz e 8 Vpp. Nesta etapa, são investigadas diferentes topologias de retificação, incluindo meia onda, uso de múltiplos diodos em série, configurações antissérie e antiparalelo, bem

como a inserção de filtro capacitivo. Essas montagens permitem observar fenômenos como condução unilateral, aumento da tensão mínima de condução, recorte de semiciclos, condução alternada e redução de ondulação (*ripple*) por ação do capacitor.

### 3. Materiais e equipamentos utilizados

- 2 diodos BY127;
- Fonte de tensão;
- Gerador de função;
- Osciloscópio;
- 2 multímetros;
- Resistor de  $1\text{ k}\Omega$ ;
- Capacitor de  $10\text{ }\mu\text{F}$
- Cabos para conexão e protoboard;

### 4. Procedimentos Experimentais

Esta seção descreve detalhadamente todos os procedimentos adotados na realização do experimento, de modo a permitir sua completa reprodutibilidade. As etapas foram divididas em duas partes: levantamento da curva característica do diodo (*Procedimento 2a*) e análise das respostas dinâmicas do dispositivo em diversas configurações sob excitação senoidal (*Procedimento 2b*).

#### 4.1. Procedimento 2a: Levantamento da Curva Característica $I_D \times V_D$ do diodo BY127.

Após a montagem do circuito (Figura 1), procedeu-se à variação da queda de tensão sobre o diodo ( $V_D$ ) em incrementos de  $100\text{ mV}$ . Para cada incremento, foi registrada a respectiva corrente ( $I_D$ ) que atravessava o componente. Estabeleceu-se um limite máximo de corrente de  $40\text{ mA}$ , visando preservar a integridade física do diodo.

##### 4.1.1 a) Polarização direta

Inicialmente, foi montado um circuito composto por uma fonte de tensão contínua ajustável, um resistor de  $100\text{ }\Omega$  ( $\pm 5\%$ ) e um diodo BY127 conectado em série. O objetivo era aplicar diferentes tensões ao diodo e medir a corrente resultante no circuito.

1. Ajustou-se a fonte de tensão para o valor inicial de  $0,1\text{ V}$ .
2. Mediu-se a corrente total do circuito utilizando um amperímetro digital conectado em série.
3. Registrou-se também a tensão diretamente sobre o diodo por meio de um voltímetro digital conectado em paralelo ao componente.

4. A tensão aplicada foi aumentada em incrementos de  $0,1\text{ V}$ , repetindo-se as medições para cada valor, até que a corrente atingisse aproximadamente  $40\text{ mA}$ .
5. Todos os dados foram registrados para posterior construção da curva característica.

Essa etapa permitiu a identificação da tensão limiar de condução e da região exponencial da curva característica.

Para concluir esta etapa, os terminais da fonte de tensão foram invertidos, repetindo-se a metodologia para a condição de polarização reversa do diodo.

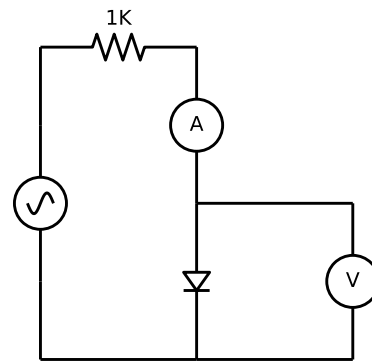


Figura 1: Circuito do procedimento A

##### 4.1.2 b) Polarização reversa

Para determinar a característica do diodo em polarização reversa, o sentido do diodo na montagem anterior foi invertido.

1. Com o diodo invertido, ajustou-se novamente a fonte DC para  $0,1\text{ V}$ .
2. Mediu-se a corrente reversa utilizando o amperímetro em série.
3. A tensão foi aumentada gradualmente, como na etapa anterior, observando-se o comportamento da corrente.
4. Os valores foram anotados até o limite operacional, equivalente ao máximo permitido pela fonte de alimentação (aprox.  $50\text{ V}$ , muito abaixo da tensão máxima reversa, que é de  $800\text{ V}$ ).

Esta etapa permitiu verificar a corrente de saturação reversa, bem como a ausência de condução significativa abaixo da tensão de ruptura.

#### 4.2. Procedimento 2b: Análise de Montagens sob Excitação Senoidal

Nesta etapa, realizou-se a montagem de cada circuito proposto na Figura 2. Em todas as configurações, a

fonte de alimentação forneceu um sinal senoidal com amplitude de  $8 V_{pp}$  (pico a pico) e frequência de  $100 \text{ Hz}$ .

Para cada montagem, foram registrados (fotografados) os sinais de entrada e de saída observados no osciloscópio. Foi dada especial atenção à mensuração da atenuação e da defasagem entre as respectivas formas de onda.

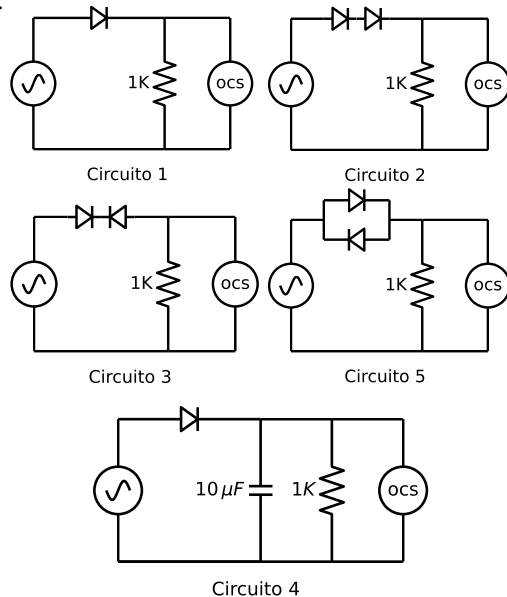


Figura 2: Circuitos do procedimento B

A segunda parte do experimento consistiu em analisar a resposta temporal de diferentes topologias de retificação utilizando o diodo BY127. Em todos os casos, aplicou-se ao circuito uma tensão senoidal de amplitude  $8 V_{pp}$  e frequência  $100 \text{ Hz}$ , proveniente de uma fonte CA ajustável.

A tensão observada no resistor de carga foi monitorada por meio de um osciloscópio digital, configurado para medir a forma de onda resultante da condução do diodo.

As montagens realizadas foram:

1. **Um diodo em série com o resistor:** configuração clássica de retificação de meia onda.
2. **Dois diodos em série:** aumento da queda direta total, modificando o limiar de condução.
3. **Dois diodos em antissérie:** bloqueio mútuo dos semiciclos, resultando em condução mínima.
4. **Dois diodos em antiparalelo:** cada diodo conduz em um semiciclo, permitindo passagem alternada.
5. **Um diodo em série com um filtro capacitivo (capacitor em paralelo com o resistor):** implementação de um retificador de meia onda com suavização da tensão.

Para cada uma das cinco montagens, adotou-se o seguinte procedimento:

1. Conectou-se o circuito correspondente na protoboard, verificando a polaridade dos diodos.
2. Ajustou-se a fonte CA para fornecer  $8 V_{pp}$  a  $100 \text{ Hz}$ .
3. Configurou-se o osciloscópio para registrar a tensão sobre o resistor de carga.
4. Observou-se a forma de onda resultante, anotando suas características gerais, incluindo recortes, distorções, níveis de pico e presença de ripple (quando aplicável).
5. Fotografou-se a tela do osciloscópio para posterior inclusão no relatório.
6. Mediu-se o atraso de condução (*delay*) associado a cada configuração.

Esses procedimentos possibilitaram a análise comparativa entre o comportamento ideal e o comportamento real dos circuitos retificadores, fornecendo subsídios para a discussão apresentada na seção de resultados.

## 5. Resultados e Análise dos Resultados

Esta seção apresenta os resultados obtidos experimentalmente no levantamento das curvas características do diodo BY127 (Procedimento 2a) e na análise temporal das cinco montagens retificadoras submetidas a sinal senoidal (Procedimento 2b). São discutidos tanto os aspectos quantitativos quanto qualitativos, relacionando-se os fenômenos observados com os modelos teóricos estudados.

### 5.1. Procedimento 2a: Curvas Características $I_D \times V_D$

A Figura 3 apresenta o arranjo experimental utilizado para o levantamento da curva característica do diodo BY127, incluindo a fonte DC, multímetros e conexões sobre a protoboard. A Figura 4 mostra a protoboard após conclusão da montagem.

Os dados experimentais foram obtidos em incrementos de tensão de aproximadamente  $0,1 \text{ V}$ , sendo a corrente medida diretamente no circuito.

#### 5.1.1 a) Polarização direta (2a1)

A Tabela 1 apresenta os valores experimentais de tensão e corrente obtidos no levantamento da curva característica do diodo BY127.

A Figura 5 mostra a relação exponencial entre a corrente e a tensão direta, evidenciando o início da condução aproximadamente em  $0,5 \text{ V}$ .

A análise da Tabela 1 revela que o diodo inicia sua condução significativa a partir de aproximadamente:

$$V_{TH} \approx 0,5 \text{ V}, \quad (2)$$

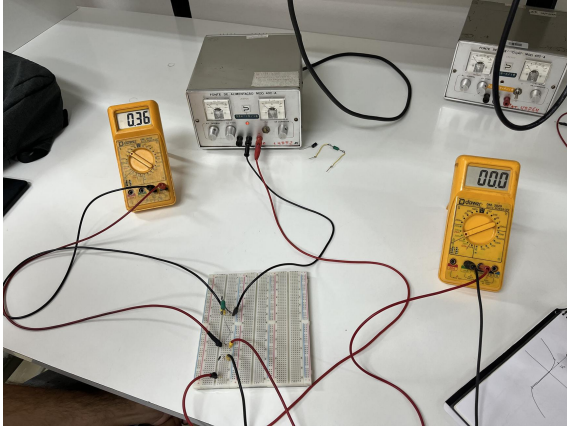


Figura 3: Arranjo experimental utilizado no Procedimento 2a.

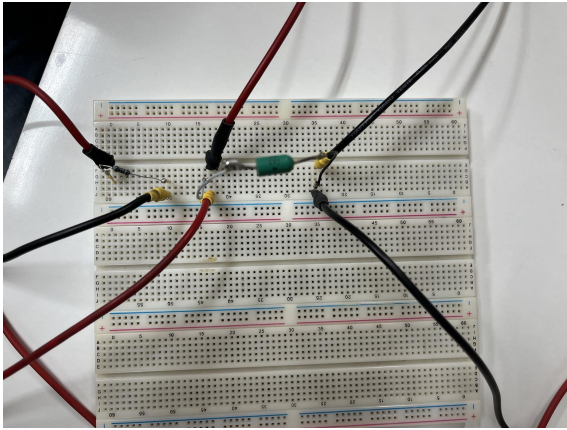


Figura 4: Vista da protoboard após montagem do arranjo do Procedimento 2a.

Table 1: Medidas Realizadas para Levantar a Curva

$V_D$ [V]	$I_D$ [mA]
-0.8	0
0	0
0.1	0
0.2	0
0.3	0
0.4	0
0.5	0.7
0.6	3.3
0.7	29.7
0.71	30.0

valor compatível com diodos de silício de junção retificadora. Acima desse ponto, observa-se crescimento exponencial da corrente, conforme descrito pela equação de Shockley.

A curva resultante apresenta a região não condutora, a região de transição e a região condutora, reproduzindo adequadamente o comportamento teórico esperado.

### 5.1.2 b) Polarização reversa (2a2)

A Tabela 2 apresenta os dados medidos com o diodo invertido.

Table 2: Dados experimentais da polarização reversa (Procedimento 2a2).

$V_D$ (V)	$I_D$ (mA)
0.1	0.0
0.2	0.0
0.5	0.0
1.0	0.0
2.0	0.0
3.0	0.0
5.0	0.0
10.0	0.0
20.0	0.0
30.0	0.0
40.0	0.0
50.0	0.0

Em todos os pontos medidos, a corrente reversa permaneceu essencialmente nula, indicando que o diodo operou muito abaixo da tensão máxima reversa permitida (800 V).

## 5.2. Procedimento 2b: Análise Temporal das Montagens Senoidais

Nesta etapa, analisou-se a forma de onda sobre o resistor de carga para cada uma das cinco configurações de circuitos. A tensão aplicada foi senoidal, com amplitude de 8 V<sub>pp</sub> e frequência de 100 Hz. As figuras abaixo apresentam as formas de onda obtidas no osciloscópio.

### 5.2.1 Circuito 1: Diodo em série (Retificação de meia onda)

A saída corresponde apenas ao semiciclo positivo da senoide, sendo o semiciclo negativo completamente bloqueado. A forma de onda apresenta valor de pico reduzido devido à queda direta do diodo.

**Atraso de condução medido:**

$$t_{\text{delay},1} = 116 \text{ us} \quad (3)$$

### 5.2.2 Circuito 2: Dois diodos em série

Com dois diodos em série, a queda total de condução é aproximadamente:

$$V_\gamma \approx 2 \times 0,7 \text{ V} \approx 1,4 \text{ V}. \quad (4)$$

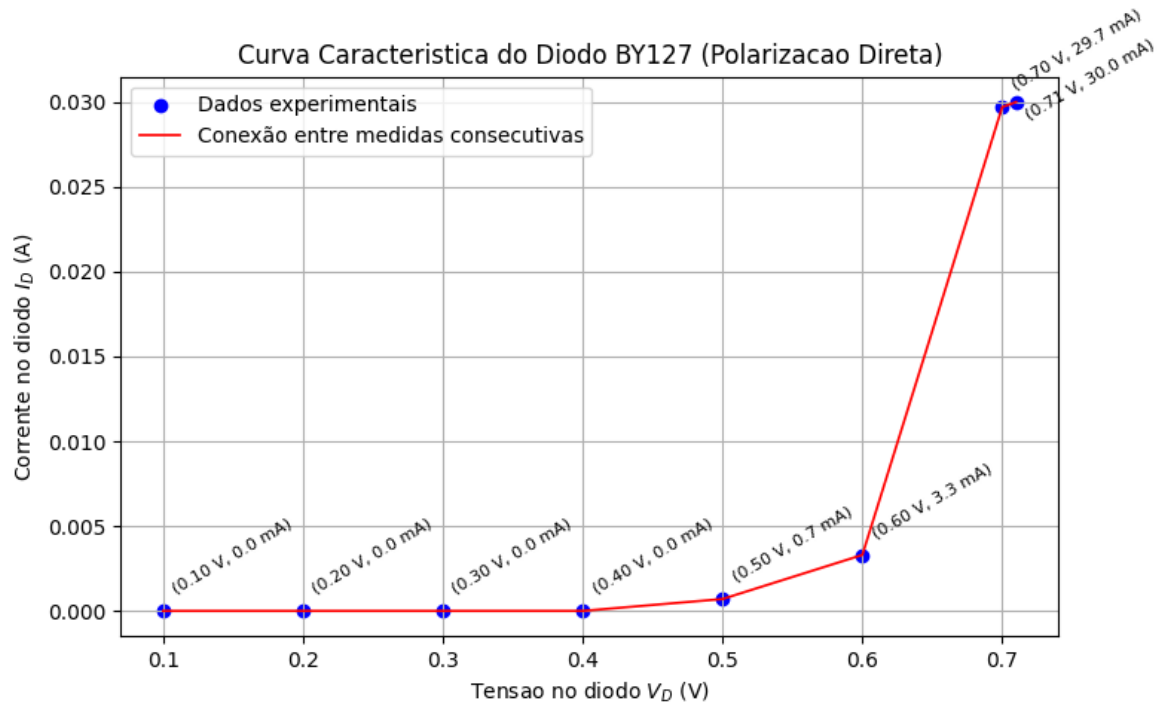


Figura 5: Curva característica experimental  $I_D \times V_D$  do diodo BY127.

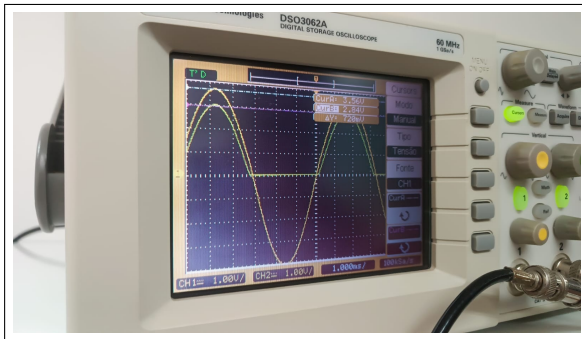


Figura 6: Forma de onda do Circuito 1 (meia onda).

A forma de onda é similar à do circuito 1, porém a condução inicia apenas quando a tensão da fonte supera o valor acima.

$$t_{\text{delay},2} = 240 \text{ us} \quad (5)$$

### 5.2.3 Circuito 3: Dois diodos em antissérie

Nesta configuração, cada semiciclo é bloqueado por um dos diodos, resultando em praticamente nenhuma condução. Apenas pequenos pulsos podem ser observados devido à capacitância de junção.

$$t_{\text{delay},3} = 0 \quad (6)$$

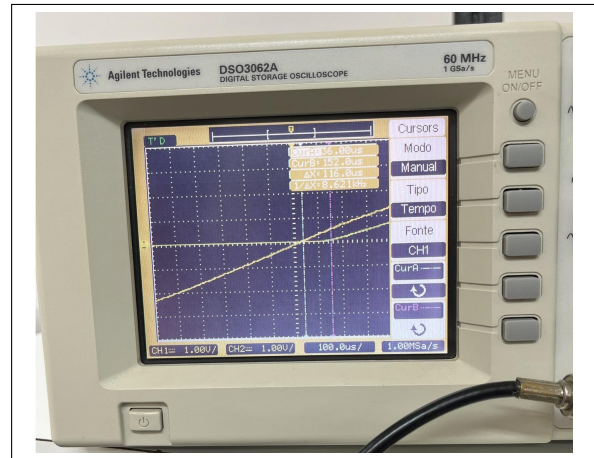


Figura 7: Forma de onda do Circuito 1 (medição da defasagem).

### 5.2.4 Circuito 4: Dois diodos em antiparalelo

Um diodo conduz no semiciclo positivo e o outro conduz no semiciclo negativo. A forma de onda resultante apresenta ambos os semiciclos, porém recortados no início devido à queda  $V_\gamma$ .

$$t_{\text{delay},4} = 148 \text{ us} \quad (7)$$

Observação: a defasagem foi medida do ponto de cruza-

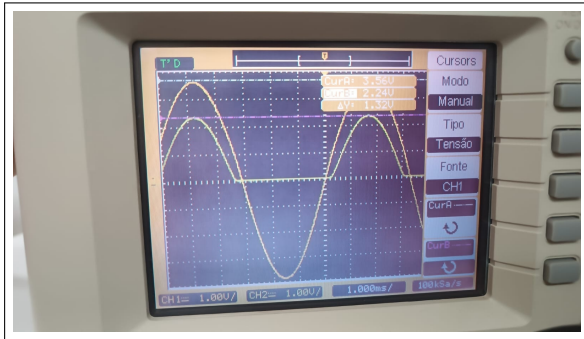


Figura 8: Forma de onda do Circuito 2.

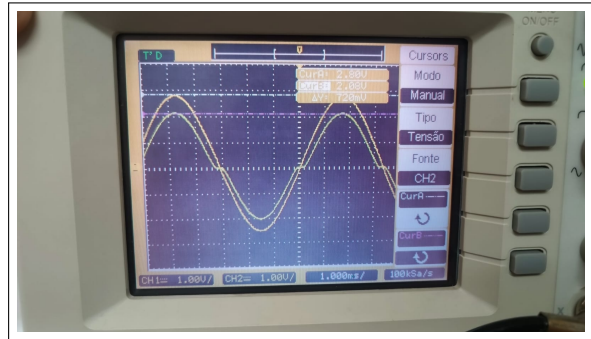


Figura 11: Forma de onda do Circuito 4.

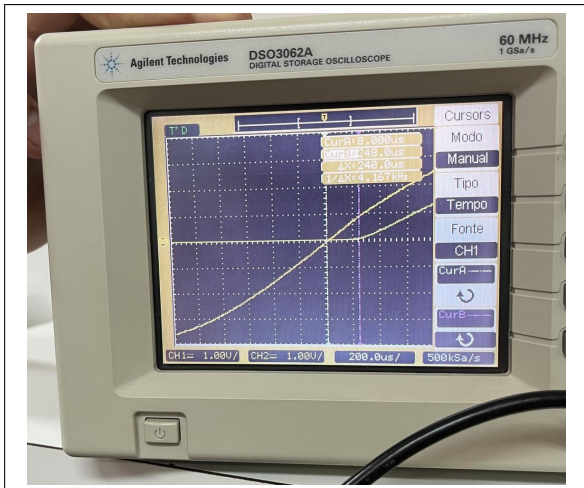


Figura 9: Forma de onda do Circuito 2 (medição da defasagem).

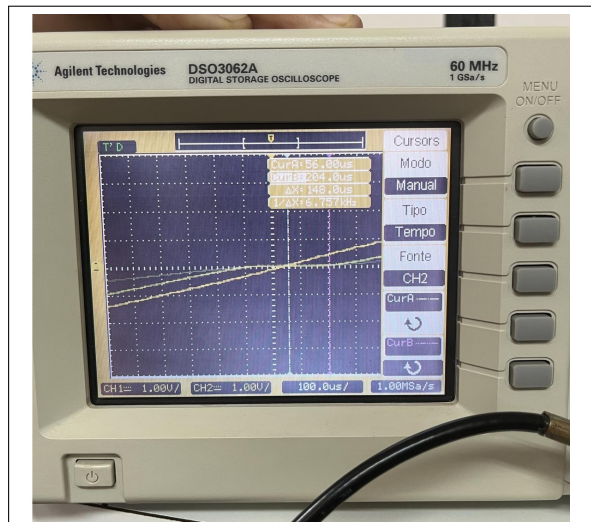


Figura 12: Forma de onda do Circuito 4 (medição da defasagem).

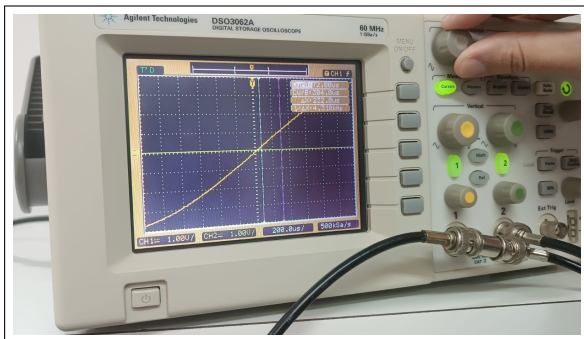


Figura 10: Forma de onda do Circuito 3.

mento da onda de entrada até o início da condução na saída. Para contabilizar o tempo total sem condução, deve-se considerar também o intervalo sem condução do semiciclo negativo anterior, ou seja, espera-se algo em torno de  $120 \cdot 2 \text{ us} = 240 \text{ us}$  (o dobro do atraso obtido no circuito 1, com apenas um diodo em série)

### 5.2.5 Circuito 5: Diodo com filtro capacitivo (meia onda filtrada)

Com a inclusão de um capacitor em paralelo ao resistor, observa-se um processo de carga rápida durante a condução e descarga lenta entre os picos, produzindo tensão suavizada e ondulação (*ripple*) reduzida.

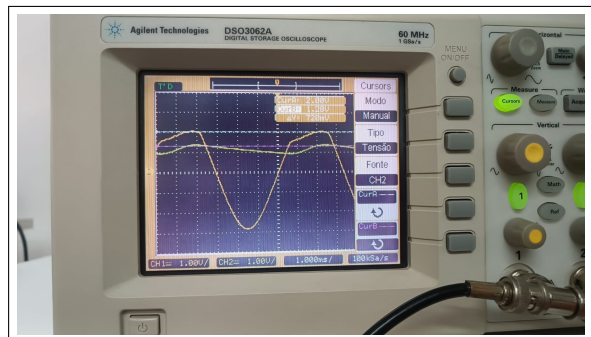


Figura 13: Forma de onda do Circuito 5.

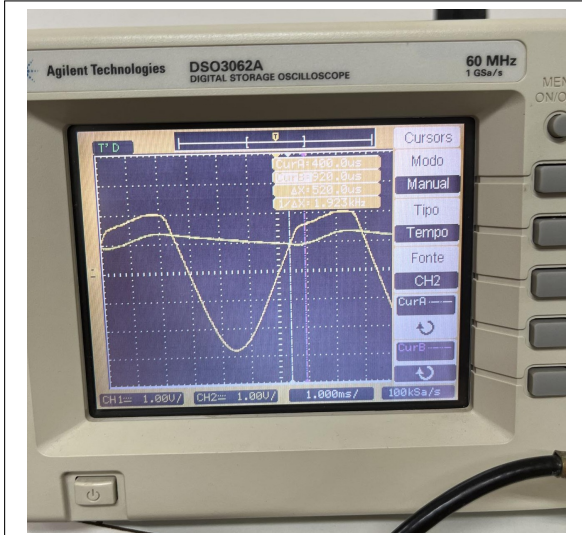


Figura 14: Forma de onda do Circuito 5 (medição da defasagem).

Table 3: Defasagem e Atenuação dos Circuitos

Circuito	Defasagem [ $\mu s$ ]	Atenuação [V]
1	116	0.720
2	240	1.32
3	$\infty$ <sup>[1]</sup>	$\approx 4.0$ <sup>[2]</sup>
4	148 <sup>[3]</sup>	0.720
5	520	0.720

<sup>[1]</sup> Atraso infinito, pois o diodo não conduz.

<sup>[2]</sup> Valor aproximado equivalente à totalidade da tensão de pico  $V_p$ , pois o diodo não conduz (atenuação total).

<sup>[3]</sup> Atraso entre tensão nula e início da condução no semiciclo positivo. Considerar o dobro do valor para o atraso total, incluindo semiciclo negativo.

$$t_{\text{delay},5} = 520 \mu s \quad (8)$$

Para esse circuito, cabe observação quanto à tensão do pico superior, que apresenta uma distorção, quando, na verdade, esperava-se um espelhamento do semi-ciclo inferior. Conforme discutido em laboratório, isso ocorre devido ao descasamento de impedância entre o osciloscópio e a carga representada pelo circuito medido, o que propicia reflexões de ondas eletromagnéticas no circuito e, conseqüentemente, a distorção observada.

De forma resumida, a Tabela 3 apresenta os valores de defasagem e atenuação medidos para cada circuito analisado.

### 5.3. Análise dos Resultados Experimentais

#### A. Curva característica do diodo BY127.

A análise dos valores apresentados na Tabela 1 e da curva mostrada na Figura 5 evidencia o comporta-

mento típico do diodo BY127 sob diferentes condições de polarização.

Observa-se que, quando submetido à polarização direta, o dispositivo inicia a condução de corrente de forma significativa apenas para tensões superiores a aproximadamente 0.6 V. Por outro lado, para valores de  $V_D$  inferiores a zero, correspondentes à polarização reversa, não foi registrada condução apreciável, mantendo-se a corrente praticamente nula.

Esse comportamento está em consonância com as especificações presentes no datasheet do BY127, que indicam tensão de limiar entre 0.6 V e 0.8 V e corrente desprezível na região de polarização reversa. Assim, os resultados obtidos confirmam o regime de operação esperado para esse tipo de diodo retificador.

#### B. Análise de Circuitos com diodos BY127.

Os resultados referentes à segunda parte do experimento, sintetizados na Tabela 3, permitem observar que o diodo real pode ser interpretado como um diodo ideal acrescido de uma queda de tensão em série. Essa característica manifesta-se diretamente na atenuação verificada entre as tensões de entrada e saída, evidenciando o comportamento não ideal do componente.

A Figura 6 ilustra o funcionamento típico de um retificador de meia onda: a condução ocorre apenas durante a semiciclo positivo, enquanto a polarização reversa do diodo bloqueia a passagem de corrente no semiciclo negativo. Já a Figura 8 apresenta maior atenuação relativa, resultado da utilização de dois diodos em série, cada um contribuindo com sua respectiva queda de tensão.

Na configuração ilustrada na Figura 10, os diodos encontram-se polarizados de forma oposta, o que impede a condução em ambos os semiciclos e faz com que o circuito se comporte como um circuito aberto, independentemente da tensão aplicada. Em contraste, no caso mostrado na Figura 8, os diodos estão dispostos em paralelo, de modo que o caminho de condução depende da polaridade da fonte: o diodo superior conduz na polarização direta e o inferior conduz na polarização reversa.

Por fim, o circuito correspondente à Figura 11 representa um retificador com capacitor de filtro, também conhecido como retificador de pico. Nesse arranjo, considerando  $V_{in}$ ,  $V_{out}$  e  $V_t$  como as tensões de entrada, saída e queda no diodo, respectivamente, observam-se dois regimes distintos. Inicialmente, quando  $V_{in} > V_{out}$ , o diodo conduz e o capacitor carrega até o valor máximo da onda de entrada. Em seguida, com o diodo despolarizado, o capacitor passa a fornecer energia à carga, produzindo uma descarga exponencial dada por  $V_{out} = V_{in} e^{-t/RC}$ . Quando a tensão de entrada volta a superar a tensão no capacitor, o ciclo de carga se reinicia.

Em síntese, os resultados experimentais confirmam o comportamento teórico do diodo semiconductor. A curva di-

reta apresentou limiar próximo de 0,5 V, enquanto a curva reversa manteve corrente praticamente nula, evidenciando o adequado bloqueio reverso. Nos circuitos retificadores, cada topologia apresentou características condizentes com sua função prevista, validando os conceitos de condução seletiva, recorte de semiciclo, e filtragem capacitiva.

## 6. Conclusões

O experimento permitiu a análise detalhada do comportamento elétrico do diodo semicondutor BY127, tanto no regime estático (*curva característica*  $I_D \times V_D$ ) quanto no regime dinâmico, quando submetido a sinal senoidal em diversas configurações de retificação. Os resultados obtidos na polarização direta evidenciaram uma tensão limiar de condução próxima de 0,5 V, valor típico para diodos de silício, enquanto a polarização reversa apresentou corrente praticamente nula em toda a faixa de tensões aplicada, confirmando a elevada capacidade de bloqueio reverso do dispositivo.

A análise das cinco montagens retificadoras demonstrou com clareza as funcionalidades individuais de cada topologia. O circuito de meia onda (Circuito 1) confirmou o comportamento de condução unilateral, enquanto a inclusão de dois diodos em série (Circuito 2) evidenciou o aumento da tensão mínima necessária para início da condução. A configuração antissérie (Circuito 3) mostrou-se eficaz no bloqueio mútuo dos semiciclos, resultando em condução mínima. Por outro lado, o circuito em antiparalelo (Circuito 4) permitiu a condução alternada, produzindo uma forma de onda bidirecional limitada pela queda direta de cada diodo. Finalmente, a configuração com filtro capacitivo (Circuito 5) demonstrou uma significativa redução da ondulação (*ripple*), evidenciando o processo de carga e descarga do capacitor e sua importância na suavização da tensão retificada.

De forma geral, os objetivos propostos foram plenamente alcançados. Os resultados experimentais mostraram-se coerentes com os modelos teóricos estudados, e permitiram observar fenômenos essenciais à eletrônica de potência e à conversão AC-DC. A atividade também contribuiu para o desenvolvimento de habilidades práticas, incluindo a montagem de circuitos, uso de instrumentos de medição e análise crítica de dados.

Como sugestões para aprimoramentos futuros, recomenda-se: (i) investigar o comportamento do diodo sob sinais de diferentes frequências; (ii) comparar o desempenho de diferentes tipos de diodos (retificadores, zener, Schottky); (iii) utilizar capacitores de distintos valores para análise quantitativa do *ripple*; e (iv) explorar medições adicionais, como tempo de recuperação reversa e potência dissipada.

Os conhecimentos adquiridos neste experimento constituem uma base sólida para estudos avançados envolvendo dispositivos semicondutores e circuitos retificadores, evi-

denciando a relevância prática e teórica do tema no contexto da engenharia eletrônica.

## Referências bibliográficas

- [1] Artemis M. Ceschin. *Apostila de Materiais Elétricos e Magnéticos*. 2000. Apostila.
- [2] Sérgio M. Rezende. *A Física de Materiais e Dispositivos Eletrônicos*. Editora da Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.
- [3] Vishay. Miniature glass passivated junction rectifier, by127mgs datasheet, mar 2012. Datasheet, 12/03/2012.

## A. Script Python de plotagem dos dados da tabela

Código 1: Levantamento dos pontos da curva característica do diodo

```

1 import numpy as np
2 import matplotlib.pyplot as plt
3
4 # Dados experimentais do procedimento 2a1 (
5   polarizacao direta)
6 # Tensao aplicada (V)
7 Vd = np.array([0.10, 0.20, 0.30, 0.40,
8               0.50, 0.60, 0.70, 0.71])
9
10 # Corrente medida (mA) -> conversao para A
11 Id_mA = np.array([0.0, 0.0, 0.0, 0.0,
12                  0.7, 3.3, 29.7, 30.0])
13 Id = Id_mA / 1000.0 # Converte de mA para
14   A
15
16 # Plot da curva I x V
17 plt.figure(figsize=(8,5))
18
19 # Pontos experimentais
20 plt.scatter(Vd, Id, color='blue', label='
21   Dados_experimentais')
22
23 # Linhas conectando os pontos
24 plt.plot(Vd, Id, color='red', linestyle='-'
25   , linewidth=1.2, label='Conexao_entre_
26   medidas_consecutivas')
27
28 # Rotulos junto aos pontos
29 for x, y in zip(Vd, Id):
30     if y==0.03:
31         break;
32     plt.text(x + 0.005, y+0.001, f'({x:.2f}
33   _V, {y*1000:.1f}_mA)',
34             fontsize=8, color='black',
35             rotation=30)
36 plt.text(x + 0.005, y-0.001, f'({0.71:.2f}_
37   V, {0.03*1000:.1f}_mA)',
38          fontsize=8, color='black',
39          rotation=30)

```

```

31
32 plt.xlabel('Tensao_no_diodo,$V_D$(V)')
33 plt.ylabel('Corrente_no_diodo,$I_D$(A)')
34 plt.title('Curva_Caracteristica_do_Diodo_
    BY127_(Polarizacao_Direta)')
35 plt.grid(True)
36 plt.legend()
37 plt.tight_layout()
38 plt.show()
39
40 # Exibir valores no terminal
41 print("Dados_experimentais_utilizados_(V_D,
    I_D):")
42 for x, y in zip(Vd, Id):
43     print(f"{x:.2f}_V_{y*1000:.1f}_mA")

```