

Exp. 2

Curva característica corrente-tensão

FSC5143 - Laboratório de Física III
FSC5123 - Física experimental II

lemo.ufsc.br
Versão de 13 de agosto de 2019

1 Objetivos

Curva característica corrente-tensão é um gráfico $i \times V$ que representa a relação entre a tensão aplicada e a corrente que flui por um componente. Nesta experiência, o objetivo é obter as curvas características dos seguintes componentes:

- Resistores metálicos de NiCr e de Tungstênio;
- Resistores não metálicos PTC e VDR;
- Diodo semicondutor.

2 Teoria Básica

O gráfico $i \times V$ de um componente elétrico, dispositivo, circuito ou material recebe o nome de *curva característica corrente-tensão*. Engenheiros eletrônicos podem usar esse gráfico para modelar os parâmetros básicos de um dispositivo e modelar seu comportamento num dado circuito.

2.1 Resistores

Quando se aplica uma diferença de potencial (tensão) V sobre um condutor, flui através dele uma corrente elétrica i . A resistência elétrica R do condutor é definida como a razão entre a tensão aplicada e corrente gerada:

$$R \equiv \frac{V}{i} \quad (1)$$

onde V é medida em volts (V), i é medida em ampères (A) e R , em ohms (Ω). A equação (1) é uma definição geral de resistência e pode ser utilizada para qualquer tipo de resistor, tenha ele uma resistência constante ou não.

2.1.1 Resistores Ôhmicos

Um resistor é dito *ôhmico* quando o valor numérico da sua resistência **não** depende da tensão aplicada. Se o valor numérico da resistência depender da tensão aplicada,

ele é dito *não-ôhmico*. Os resistores ôhmicos têm uma curva característica linear, ou seja, o gráfico $i \times V$ é uma linha reta (Figura 1). Por isso, os resistores ôhmicos são também chamados de resistores lineares. Diz-se também que os resistores ôhmicos são aqueles que obedecem à lei de Ohm: $V = Ri$, com R constante.

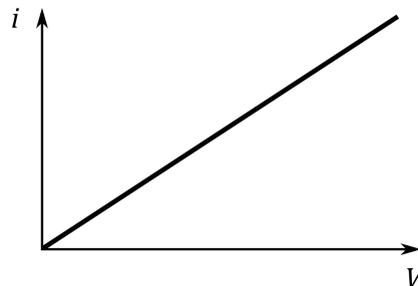


Figura 1 Curva característica de um resistor ôhmico.

Em determinados tipos de resistores metálicos, a resistência só é constante se a temperatura também for mantida constante.

2.1.2 Varistores

Um exemplo de resistor não-linear é o varistor ou VDR (*Voltage Dependent Resistor*). Sua resistência é altamente dependente da tensão aplicada, por causa da *resistência de contato* variável entre os cristais misturados que o compõem. Sua característica elétrica é determinada por complicadas redes em série e em paralelo de cristais de carbeto de silício pressionados entre si.

Para o VDR a dependência de V com a corrente i é dada pela equação:

$$V = Ci^\beta, \quad (2)$$

onde β depende da composição do material utilizado e do processo de fabricação, tendo valores que variam de 0,05 a 0,40. A constante C depende da temperatura e de características geométricas do VDR, com valores entre 15 e 1000 Ω . A constante C representa a resistência do VDR para uma corrente hipotética de 1,0 A. Hipotética, pois esta é uma corrente geralmente não suportada por este tipo de elemento, o que é o caso do varistor utilizado neste experimento.

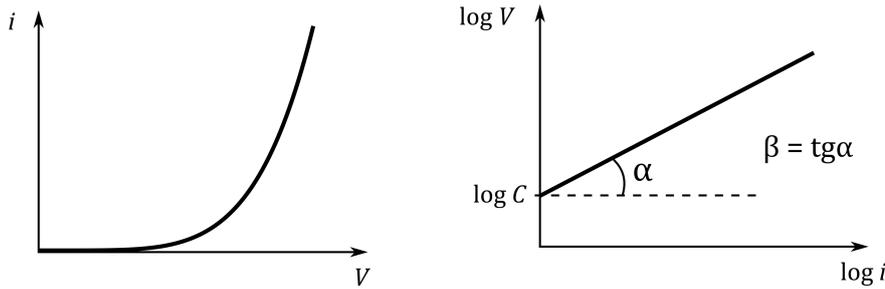
Uma curva característica típica de um VDR é representada na figura 2(a).

As constantes C e β podem ser determinadas diretamente a partir de um gráfico de $\log V$ em função de $\log i$, como na figura 2(b). De fato, ao aplicar o logaritmo aos dois membros da equação (2), obtém-se uma equação análoga à equação de uma reta:

$$\log V = \log C + \beta \log i, \quad (3)$$

$$y = a + b x. \quad (4)$$

A regressão linear pelo método dos mínimos quadrados funciona neste caso com $\log V$ e $\log i$ desempenhando os papéis de y e x , respectivamente. O coeficiente angular da reta fornece diretamente o valor de β e o seu coeficiente linear é igual a $\log C$.



(a) Gráfico em escala linear ($i \times V$)

(b) Gráfico em escala dilog ($\log V \times \log i$)

Figura 2 Curva característica do VDR

2.1.3 Termistores

Termistores são materiais cuja resistência varia com a temperatura. Há, basicamente, dois tipos de termistores:

- NTC (*Negative Temperature Coefficient*): resistor com coeficiente de temperatura negativo, ou seja, cuja resistência diminui com o aumento da temperatura;
- PTC (*Positive Temperature Coefficient*): resistor com coeficiente de temperatura positivo, ou seja, cuja resistência aumenta com o aumento da temperatura.

A maioria das cerâmicas apresenta coeficiente negativo de temperatura (NTC). Muitas destas são feitas de materiais semicondutores. A sua resistência se reduz acentuadamente com o aumento de temperatura e, por este motivo, são comumente utilizados como sensores de temperatura.

Os termistores são fabricados com várias misturas de óxidos, tais como: manganês, níquel, cobalto, ferro, zinco, titânio e magnésio. Podem ter a forma de contas, cilindros ou discos. Estes óxidos são misturados em proporções devidas, para apresentar a resistividade e o coeficiente de variação da resistência com a temperatura desejados.

As medidas de tensão e corrente dos termistores são interessantes quando a sua temperatura for maior que a do ambiente. Se a corrente é pequena, o calor produzido no resistor é desprezível, mantendo a temperatura e a resistência constantes. Com o posterior acréscimo de corrente, há um aumento na temperatura do termistor em relação à temperatura ambiente. A resistência diminui, embora a corrente continue aumentando.

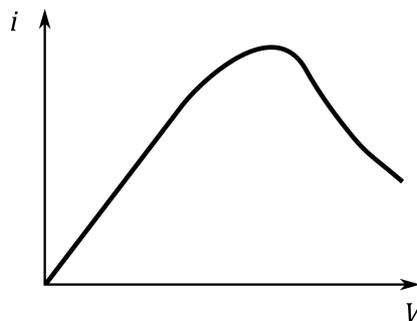


Figura 3 Curva característica de um termistor PTC.

Quando a corrente estabiliza, a tensão também estabiliza e a temperatura do resistor é alta, podendo queimá-lo se não houver dissipação eficiente de calor.

Há resistores que apresentam elevado coeficiente positivo de variação da resistência com a temperatura (PTC). Tais resistores têm uma curva característica tal como a da figura 3. São conhecidos como condutores frios, pois sua condutividade é muito maior em baixas que em altas temperaturas. Os termistores PTC são geralmente feitos de BaTiO_3 ou soluções sólidas de BaTiO_3 e SrTiO_3 .

O gráfico corrente \times tensão de um PTC mostra nitidamente sua propriedade limitadora de corrente, daí a sua utilidade em muitos circuitos de proteção. Ele obedece à Lei de Ohm para tensões suficientemente baixas, porém, com o aumento gradativo da tensão, a corrente decresce devido ao aumento da resistência causada pelo aquecimento. É válido observar que a temperatura de um PTC é naturalmente influenciada pela temperatura ambiente e pela condutividade térmica do meio que o envolve.

O filamento de uma lâmpada incandescente apresenta também uma resistência não-linear. Para correntes pequenas, a resistência é menor do que para correntes elevadas. Entretanto, neste caso, o aumento da resistência é devido ao efeito Joule produzido pela própria alimentação da lâmpada.

2.2 Diodos semicondutores

Do ponto de vista funcional, um diodo é um dispositivo que bloqueia a passagem de corrente em um sentido e libera a passagem de corrente no outro. Por ter uma condutância assimétrica, é um componente elétrico que com *polaridade*, ou seja, em que há uma distinção entre polo positivo e polo negativo. A título de comparação, o resistor não tem polaridade, por exemplo.

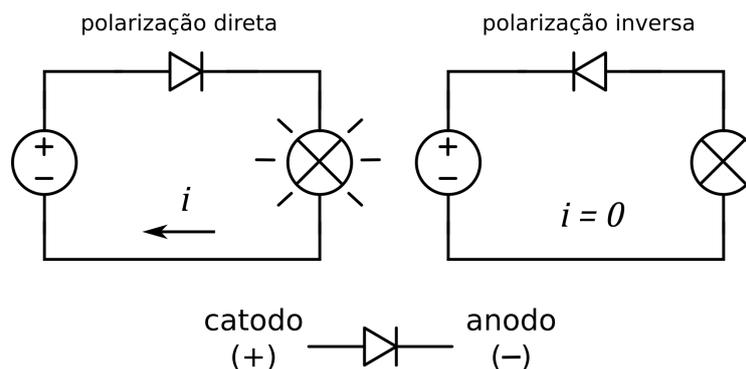


Figura 4 Diodo em polarização direta e em polarização inversa. O símbolo contendo uma cruz representa uma lâmpada, que acende com a passagem de corrente quando o diodo está em polarização direta.

Um diodo *ideal* tem resistência nula num sentido e resistência infinita no outro. Num circuito composto por uma bateria e uma lâmpada, como o da figura 4, a maneira como o diodo está conectado à malha determina se a lâmpada acenderá ou não. Quando o polo positivo do diodo está conectado ao polo positivo da bateria, a

corrente flui, acendendo a lâmpada. Dizemos que o diodo está montado em *polarização direta*. No caso contrário (polos opostos conectados), a corrente não flui e o diodo está em *polarização inversa*.

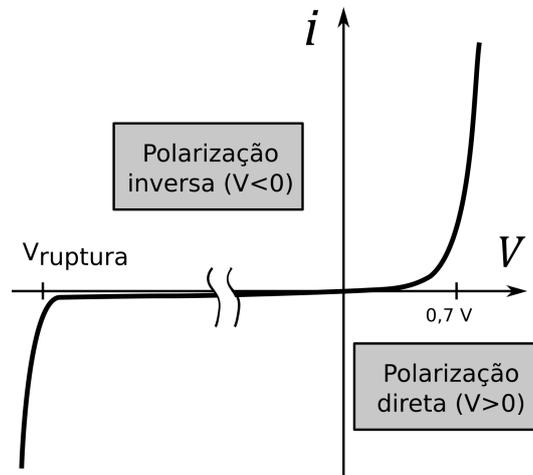


Figura 5 Curva característica de um diodo de silício, com queda de tensão de 0,7 V em polarização direta. Para uma dada tensão inversa muito alta, muito superior a 0,7 V, ocorre a ruptura da junção p-n.

O tipo de diodo mais comumente usado hoje é o diodo semicondutor, que consiste em uma junção p-n conectada a dois terminais elétricos. A maioria dos diodos semicondutores é feita de silício e possui uma queda de tensão de cerca de 0,7 V em polarização direta (conforme a figura 5). Outros diodos feitos de germânio, por exemplo, apresentam uma queda de tensão de 0,3 V.

3 Referências Bibliográficas

- Halliday, Resnick & Walker, *Fundamentos de Física*, Vol. 3, Ed. LTC
- Moysés Nussenzveig, *Curso de Física Básica*, Vol. 3, Ed. Blucher
- Piacentini, Grandi, Hofmann, de Lima & Zimmerman, *Introdução ao Laboratório de Física*, Ed. da UFSC.
- Helene & Vanin, *Tratamento estatístico de dados em física experimental*, Ed. Blucher

4 Relação do material

- 01 fonte de tensão e corrente contínuas (0-30V/0-3A);
- 02 multímetros;
- 01 resistor metálico de resistência entre 100 e 300 Ω ;
- 01 lâmpada incandescente;
- 01 varistor (VDR) com suporte;
- 01 termistor PTC com suporte;
- 01 diodo semicondutor;
- 01 resistor de proteção de 150 Ω ;
- 02 béqueres de 250 ml com óleo de transformador;
- 01 aquecedor elétrico;
- 01 termômetro;
- cabos para conexões elétricas.

5 Esquema Experimental

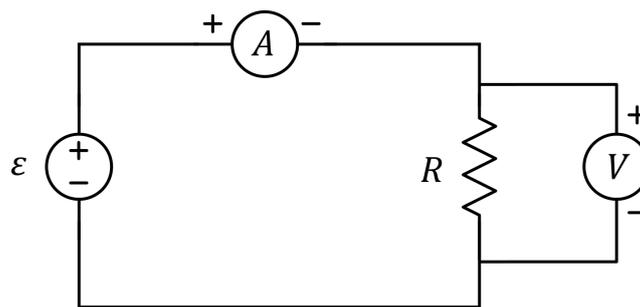


Figura 6 Esquema de montagem com fonte de tensão contínua, resistor, voltímetro e amperímetro.

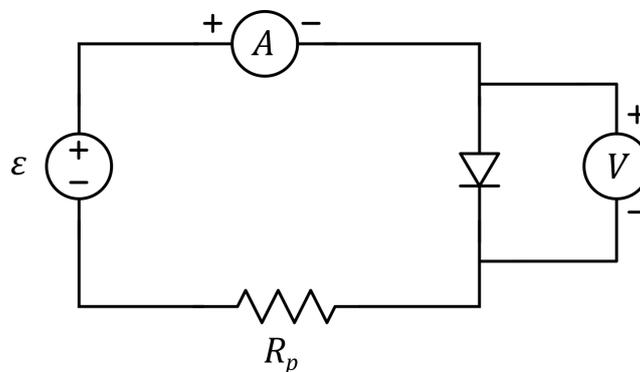


Figura 7 Esquema de montagem com fonte de tensão contínua, diodo, resistor de proteção, voltímetro e amperímetro.

6 Procedimento Experimental

PRIMEIRA PARTE - Resistores metálicos (NiCr e lâmpada incandescente)

1. Monte o circuito conforme o esquema da figura 6, utilizando o resistor R (NiCr), ainda sem ligar a fonte de tensão. **Observação:** *O amperímetro deve ser ligado sempre em série ao circuito, enquanto que o voltímetro conecta-se sempre em paralelo. O terminal "COM" do multímetro corresponde ao terminal (-).*
2. Coloque o amperímetro na escala de 200 mA e o voltímetro na escala de 200 V. Antes de ligar a fonte, certifique-se de que o botão de controle de tensão está no mínimo e o de corrente no máximo. Agora, ligue a fonte.
3. Selecione a tensão inicial a ser aplicada ao resistor metálico (lida no voltímetro!) conforme a tabela de dados. Com o amperímetro, leia o valor da corrente e anote na tabela.
4. Eleve a tensão, seguindo os valores da tabela e efetuando as medidas de corrente, até completá-la, alterando a escala do amperímetro sempre que necessário.
5. Repita os procedimentos anteriores, utilizando agora como resistor a lâmpada incandescente com filamento de Tungstênio (W).

SEGUNDA PARTE - Varistor (VDR)

1. Retire do circuito anterior a lâmpada e substitua-o pelo VDR, que estará devidamente mergulhado com seu suporte no óleo de transformador dentro de um béquer à temperatura ambiente (anote a temperatura lida no termômetro).
2. Seguindo os procedimentos 3 e 4 da primeira parte, complete a tabela de dados com as medidas de corrente. **Observação:** *Note que, para este resistor, as tensões devem ser maiores que 15 V. Utilize o amperímetro na escala mais adequada.*
3. Para observar como a curva característica de um VDR depende da temperatura, coloque o béquer dentro do aquecedor, levando o óleo a uma temperatura em torno de 60° , agitando periodicamente o óleo com a vareta de vidro para homogeneizar a temperatura. Mantenha os cabos elétricos afastados do aquecedor. Ao retirar o béquer do aquecedor, leia a temperatura e inicie as medidas rapidamente. Caso a temperatura varie durante as medidas, convém anotar as temperaturas inicial e final.

TERCEIRA PARTE - Termistor (PTC)

1. Retire do circuito anterior o VDR e substitua-o pelo PTC, com seu suporte mergulhado no óleo de transformador à temperatura ambiente.
2. Complete a tabela III com as medidas de corrente e tensão.

QUARTA PARTE - Diodo

1. Monte o circuito esquematizado na figura 7, que contém um diodo e um resistor de proteção R_p .
2. Efetue as medidas de tensão entre os terminais do diodo para levantar sua curva característica. Preencha a tabela IV, começando por tensões positivas e depois aplicando tensões negativas (para impor tensão negativa no diodo, basta intercalar as conexões na fonte ou inverter a polaridade do diodo).

7 Questionário

1. (a) Faça os gráficos de i em função de V com os dados da Tabela I para os dois resistores metálicos: NiCr e lâmpada.
(b) O que é um *resistor ôhmico*? Indique qual dos resistores nesta primeira parte é ôhmico, justificando a resposta.
(c) Determine a resistência R (em ohms) do resistor de NiCr.
(d) Calcule o valor da resistência da lâmpada de Tungstênio nos casos em que a tensão aplicada vale 3 V e 30 V e compare com a resistência do resistor de NiCr.
2. (a) Faça o gráfico i em função de V com os dados da Tabela II, para o VDR à temperatura ambiente.
(b) Descreva como varia a resistência deste VDR à medida que a tensão varia entre os limites medidos.
(c) Num mesmo sistema de eixos $\log V$ (eixo y) versus $\log i$ (eixo x), plote os gráficos do VDR às diferentes temperaturas. Os dados seguem tendência linear? Calcule os coeficientes das retas via regressão e, a partir deles, determine β e C para cada temperatura.
(d) O que é possível afirmar sobre os valores de resistência do VDR quando há uma mudança de temperatura?
3. (a) Construa a curva característica do PTC a partir dos dados experimentais.
(b) É possível identificar uma região do gráfico em que o PTC se comporta como um resistor ôhmico? Se sim, indique o intervalo de tensões em que isso ocorre e determine a sua resistência em ohms.
(c) Explique como o gráfico mostra que a resistência do PTC aumenta com a temperatura.
4. (a) Construa a curva característica do diodo semicondutor para $V > 0$ a partir dos dados experimentais.
(b) Comente qualitativamente o gráfico. O mesmo ocorre para $V < 0$?
(c) Tendo em vista como o circuito foi montado, explique por que a tensão na fonte difere significativamente da tensão no diodo.

