

Roteiro para aula experimental

4. Introdução aos circuitos de Corrente Contínua. Resistores lineares e não lineares. A lei de Ohm.

Resumo

Nesta aula prática vamos iniciar nosso estudo dos circuitos de corrente contínua. Vamos estudar como funciona o multímetro e como se comportam os resistores lineares e não lineares.

I. Introdução

Introdução aos circuitos de corrente contínua

Nesta prática vamos iniciar nosso estudo dos circuitos CC, seus componentes e instrumentos que serão utilizados ao longo das próximas aulas.

Nota bem: quando for trocar a função de um multímetro, desconnecte o multímetro do circuito, gire o botão e só depois conecte novamente. Lembre-se também que a entrada para medir voltagens/resistências é diferente da entrada para medir correntes.

1. Componentes e equipamentos

O material necessário para cada experimento estará disponível em cima da bancada. A seguir iremos descrever as características dos componentes e equipamentos usados em todas as aulas práticas.

1.1. Protoboard

As protoboards são placas onde serão montados os circuitos. As duas primeiras e as duas últimas fileiras de conectores estão ligados horizontalmente e servem para se ligar uma fonte de tensão. Normalmente se liga um dos polos em cima e o outro em baixo. As conexões no meio da placa estão ligadas na vertical. É aqui que vai ser montado o circuito. A Figura 1 mostra uma protoboard semelhante às que serão usadas na aula prática.

1.2 Fontes de tensão contínua.

Em todos os experimentos serão usadas fontes de tensão contínua para alimentar os circuitos. Estas poderão ser pilhas convencionais, de diferentes voltagens ou uma fonte de tensão que transforma a tensão alternada da rede para uma tensão contínua entre 0 a 25 V. A Figura 2 mostra uma fonte semelhante à fonte do laboratório. A fonte contém dois ajustes de tensão para a saída frontal e um

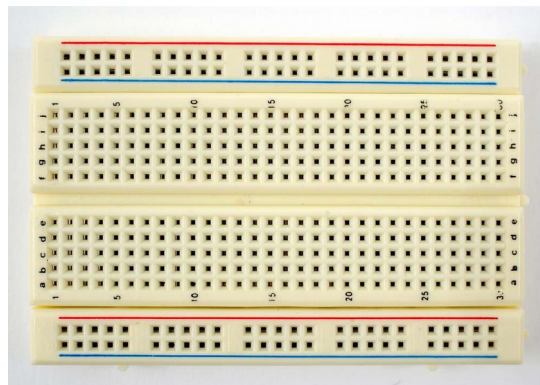


Figura 1: Protoboard padrão.



Figura 2: Fonte de tensão contínua CIDEPE

ajuste maior para controlar a tensão da saída traseira.

1.3. Multímetros

Os multímetros são instrumentos que permitem medir diferentes grandezas elétricas, como tensão, corrente e resistência. O multímetro apresenta normalmente três ou quatro entradas e uma chave seletora, que o permite operar como voltímetro, amperímetro e ohmímetro. É possível ainda escolher o modo DC (corrente contínua) e AC (corrente alternada) para as duas primeiras operações. A figura 3 mostra um multímetro semelhante aos que vamos usar no decurso das



Figura 3: Multímetro Padrão

próximas experiências. **Convém sempre lembrar que se deve escolher na chave a escala mais alta do valor da grandeza que se quer medir, e posteriormente reduzir-la para um valor mais compatível com o valor que está a ser medido. Atenção que a entrada para medição de corrente é diferente da entrada para medição de tensão/resistência. A entrada comum é denominada COM, e ela será o polo negativo das medições. Para evitar confusões deve-se usar um fio preto nesta entrada e um vermelho na outra.**

Na medição com o multímetro deve-se seguir escrupulosamente as seguintes indicações:

a) Modo voltímetro. Na função de voltímetro, a medição de um elemento do circuito CC é feita **em paralelo**, como mostra a Figura 4 .

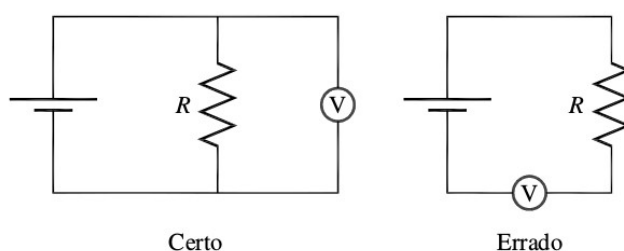


Figura 4. Medição da diferença de potencial aos terminais de uma resistência.

b) Modo amperímetro. Na função de amperímetro, a medição de um elemento do circuito CC é feita **em série**, como mostra a Figura 5.

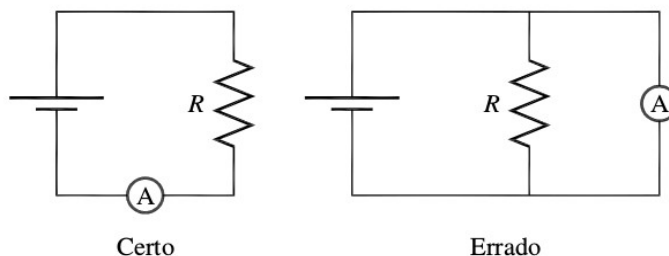


Figura 5. Medição da intensidade de corrente de um circuito com uma fonte de tensão e uma resistência.

c) Modo ohmímetro. Na função de ohmímetro, a medição de um elemento do circuito CC **não deve ser feita com a fonte de tensão ligada e a medição deve ser feita apenas com o elemento que se deseja medir**, como mostra a Figura 6.

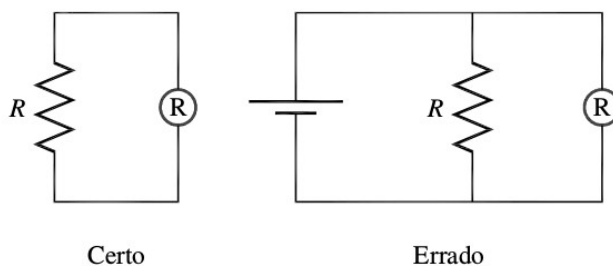


Figura 6. Medição da resistência de um resistor.

1.4 Resistores

Um resistor é um elemento do circuito elétrico que produz oposição à passagem de corrente elétrica. Estes podem ser feitos de diversos materiais, para diferentes aplicações, e apresentarem valores de

resistência fixos ou variáveis e precisões diversas, entre outras características. Os resistores usados nas práticas do laboratório são resistores de filme de carvão do tipo da Figura 7. As duas primeiras



Figura 7: Exemplo de um resistor de filme de carvão.

faixas de cor indicam os dois algarismos significativos do valor da resistência. A terceira faixa indica o fator multiplicador, em potência de 10. A quarta faixa corresponde à precisão do elemento dado pelo fabricante. No exemplo da Figura 7, a faixa marrom e negra correspondem, respectivamente aos dígitos 1 e 0. A terceira faixa é laranja, a que corresponde um fator multiplicador de 10^3 . O valor da resistência é então de $10\text{K}\Omega$. A última faixa é dourada, a que corresponde a uma tolerância de 5% no valor da resistência. A tabela 1 mostra as possíveis combinações de cores para se ler o valor da resistência.

Cor	1º Faixa	2º Faixa	3º Faixa	4º Faixa
Preto	-	0	x1	-
Marrom	1	1	x10	1%
Vermelho	2	2	x10 ²	2%
Laranja	3	3	x10 ³	-
Amarelo	4	4	x10 ⁴	-
Verde	5	5	x10 ⁵	-
Azul	6	6	x10 ⁶	-
Violeta	7	7	-	-
Cinza	8	8	-	-
Branco	9	9	-	-
Ouro	-	-	-	5%
Prata	-	-	-	10%

Tabela 1: Código de cores de um resistor.

1.5. Reóstatos e potenciômetros

Os reóstatos e potenciômetros são resistores cujo valor se pode variar. Eles apresentam três terminais, sendo que dois deles estão ligados às extremidades de um resistor fixo. A resistência do terceiro terminal pode ser variada usando um cursor. O valor indicado no potenciômetro é a maior resistência que pode ser ajustada por este elemento.

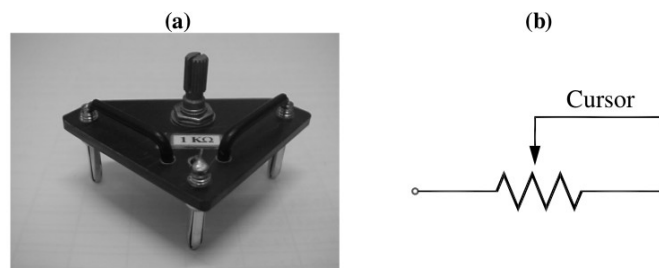


Figura 8: a) Potenciômetro padrão. b) Símbolo elétrico do potenciômetro.

1.6. Diodos

O diodo é um elemento do circuito que só deixa passar corrente em um único sentido. A corrente no diodo só pode circular do ânodo (terminal +) para o cátodo (terminal -). A Figura 9 mostra o símbolo elétrico do diodo, juntamente com a imagem de um diodo. O cátodo é marcado com uma faixa branca ou cinzenta.

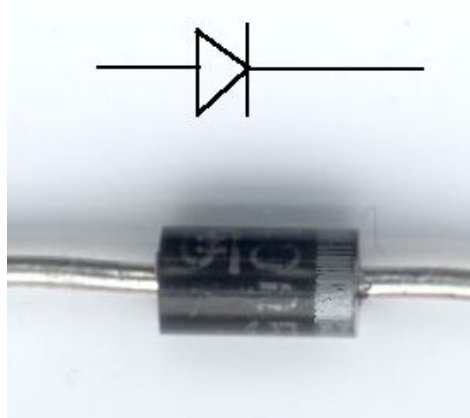


Figura 9: acima: símbolo elétrico do diodo. abaixo: diodo semiconductor.

Quando o potencial no cátodo é menor que no ânodo, o diodo está polarizado diretamente e pode conduzir. Caso contrário, o diodo está inversamente polarizado. A relação $I \times V$ é dada por

$$I = I_0(e^{V/V_0} - 1), \quad (1)$$

onde I_0 é a corrente de saturação, da ordem dos nA e V_0 é a tensão de limiar de condução, ou seja é a tensão mínima a partir da qual os portadores de carga superam a barreira de potencial do material semiconductor do diodo (ou seja, os elétrons passam da banda de valência para a banda de condução).

Para $V > 0,1$ V, podemos aproximar (1) pela seguinte expressão:

$$I = I_0(e^{V/V_0}). \quad (2)$$

1.7. Curvas $V \times I$ de um Resistor. Lei de Ohm.

Em geral, os componentes eletrônicos são caracterizados pela sua curva $V \times I$ (tensão vs corrente). Para obter a curva $V \times I$ de um componente, montamos um circuito com o da Figura 10, neste caso para um resistor. Um amperímetro ligado em série mede a corrente e um voltímetro ligado em paralelo mede a tensão do circuito.

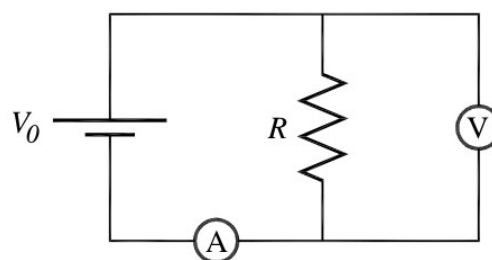


Figura 10: Circuito usado para obter a curva $V \times I$ de um resistor

Podemos escrever que a resistência de um material à passagem da corrente elétrica, devido à aplicação de uma diferença de potencial neste se pode escrever como

$$R = \frac{V}{I}. \quad (2)$$

Esta expressão é conhecida como a forma macroscópica da Lei de Ohm. Se um resistor for ôhmico, a resistência será independente de V e I . No caso de um resistor não ôhmico, a resistência irá variar.

1.8 Leis de Kirchhoff

As leis de Kirchhoff são princípios empíricos derivados das leis de conservação de carga e energia em circuitos elétricos. Elas podem ser descritas da seguinte forma:

- Lei dos nós (1ª Lei de Kirchhoff): em qualquer junção, a soma das correntes deve ser igual a zero

$$\sum_{\text{nó}} I = 0 \quad (3)$$

- Lei das malhas (2ª Lei de Kirchhoff): em uma malha fechada, a soma das diferenças potenciais de todos os elementos do circuito deve ser zero.

$$\sum_{\text{malha}} \Delta V = 0 \quad (4)$$

No uso prático destas regras, precisamos de definir um sentido para a corrente. O sentido da força eletromotriz deve ser do + para o -.

No caso da lei das malhas:

- se um resistor for percorrido no mesmo sentido que a corrente que o atravessa, então a variação do potencial será $-iR$, sendo $+iR$ se for percorrido no sentido contrário.
- se uma fonte de tensão for percorrida no mesmo sentido que a sua força eletromotriz, a variação do potencial será $+\varepsilon$ e $-\varepsilon$ se for percorrida no sentido contrário.

Por exemplo, se tivermos um circuito do tipo da Figura 11, começamos por aplicar a lei dos nós em A, onde

$$i_1 = i_2 + i_3 \quad (5)$$

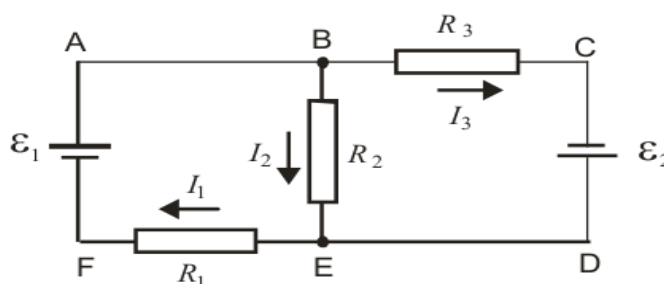


Figura 11: Circuito de duas malhas

Depois, usamos a lei das malhas, para analisar o circuito ABEFA e o circuito BCDEB.

para o lado esquerdo, no sentido horário, começando em F fica,

$$\varepsilon_1 - i_2 R_2 - i_1 R_1 = 0, \quad (6)$$

e para o lado direito, também no sentido horário começando em C,

$$\varepsilon_2 + i_2 R_2 - i_3 R_3 = 0. \quad (7)$$

Laboratório de Eletricidade e Eletromagnetismo

Professor Vasco Neves

Finalmente resolvemos o sistema de três equações e três incógnitas, calculando o valor da corrente.

II. Parte experimental

1. Objetivos

- Introdução ao multímetro e suas características
- Medição do valor de resistência de resistores com o multímetro
- Medição das curvas V-I de um resistor, uma lâmpada e um diodo LED.

2. Material

- Fonte de tensão
- Multímetro
- Resistores com valores distintos
- Potenciômetro
- Lâmpada
- Diodo LED

3. Procedimento

Nota: todas as medições devem ser apresentadas preferencialmente em uma tabela com todas as incertezas associadas.

Medidas com o ohmímetro

- a) Sobre a bancada estão 8 resistores com valores distintos. Anote as cores e use o código da Tabela 1 para determinar o valor nominal desses resistores.
- b) Conecte cada resistor (um de cada vez) na protoboard e meça os valores de resistência com o multímetro em modo ohmímetro. Compare os valores obtidos e verifique se a medida está dentro do intervalo de tolerância fornecido pelo fabricante.
- c) Conecte o potenciômetro na protoboard. Ligue um dos terminais extremos ao pólo + e os outros dois ao polo -. Gire o seu cursor totalmente para um dos lados e meça a resistência. Agora gire para o lado oposto e meça novamente. Anote os valores extremos do potenciômetro. Gire novamente o cursor para um valor intermédio e meça o valor da resistência. Como varia a resistência?

Medidas com o voltímetro

- a) Ajuste o multímetro para o modo voltímetro para uma escala superior a 30V. Conecte-o à fonte de tensão e meça os valores para 10 posições do botão de tensão. Verifique se o valor lido no multímetro confere com o valor mostrado pela fonte de tensão. Comente.

Curva tensão corrente de um resistor. Lei de Ohm.

Curva $V \times I$ de um resistor

- Monte o circuito da Figura 10 com um resistor de $1\text{K}\Omega$. Use o voltímetro na escala de 20 V e o amperímetro na escala de 20 mA.
- Varie a fonte de tensão entre 0 a 10 V obtendo 10 pontos de corrente e tensão. Faça o gráfico. A partir do gráfico determine a resistência com sua incerteza e compare-a ao obtido usando o ohmímetro. Apresente o resultado com as respectivas incertezas e calcule a precisão e a exatidão. Use como referência o valor nominal do fabricante mais a incerteza dada por este.
- O resistor é um dispositivo ohmico?

Curva $V \times I$ de uma lâmpada incandescente

- Monte um circuito semelhante ao da Figura 10, mas substitua o resistor por uma lâmpada incandescente. **Não aplique mais de 1,5 V sobre a lâmpada! Antes de conectar, coloque a fonte de tensão a zero e use apenas o ajuste fino!**
- Faça o gráfico $V \times I$ com 10 medições e faça um ajuste à curva. Linearize o gráfico e obtenha uma expressão para a resistência em função de V e I. A lâmpada é um dispositivo ohmico?

Curva $V \times I$ de um díodo

- Monte o circuito com um resistor e um díodo LED usando $R = 100 \Omega$, como mostrado na Figura 12. O resistor serve para limitar a corrente que passa no circuito. **Não se esqueça de colocar o díodo no sentido correto.**

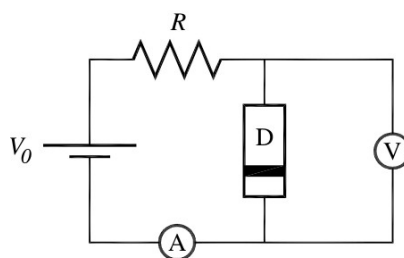


Figura 12: Circuito com um resistor e um díodo (diretamente polarizado). A faixa escura representa a faixa branca/cinzenta no díodo

- Varie a tensão na fonte de 0 a 10 V e meça a corrente e a tensão sobre o díodo. Experimente diferentes medidas para conseguir descrever perfeitamente a curva V-I. Não faça menos de 15 medidas.
- Faça um gráfico I em função de V. Como I varia em função de V?
- Obtenha uma expressão linearizada usando a equação (2). Faça o gráfico e obtenha o valor de I_0 e V_0 . Para que material o valor de V_0 obtido corresponde?
- Calcule o valor da constante de Boltzmann (k), sabendo que $V_0 = kT/q$. Considere que $q = 1.602176565(35) \times 10^{-19} \text{ C}$ e T a temperatura ambiente da sala, em Kelvin. Compare o valor obtido com o valor de referência de $k = 1.38064852(79) \times 10^{-23} \text{ J/K}$.



Laboratório de Eletricidade e Eletromagnetismo

Professor Vasco Neves

- f) Inverta o díodo e faça mais 10 medições, variando a tensão de 0 a 10V. Este resultado é consistente com a equação (1)? Explique o resultado obtido.

Leis de Kirchoff

- a) Faça o circuito da figura 11 com 3 resistores diferentes e duas baterias de 1,5V e 3,0V e meça o valor das tensões e das correntes nos terminais dos resistores com as obtidas pelas leis de Kirchoff.

4. Referências

- AZEVEDO, E.R.; NUNES, L.A.O., Roteiros do Laboratório de Física III. Instituto de Física de São Paulo. Disponível em: <http://www.ifsc.usp.br/~strontium/Teaching/Material2010-2%20FFI0106%20LabFisicaIII/TeachingMainFFI0106.htm>
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de Física III: Eletromagnetismo. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- JEWETT, J. W., SERWAY, R. A., Física para Cientistas e Engenheiros. 8. ed., Cengage Learning, 2011.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B.. Física – Volume Único. 2. ed. São Paulo: Scipione, 2010. (ISBN: 8526265865).
- SEARS, Francis; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A.; ZEMANSKY, Mark W. Física 3 – Eletromagnetismo. 12a ed. Addison Wesley, 2009