

Circuitos Elétricos e Leis de Kirchhoff

Este texto é uma sugestão de relatório. As partes em cinza (inclusive essa) devem ser apagadas e substituídas por um texto de sua autoria. O modelo pode ser baixado em formato word no site:

[HTTP://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex](http://www.dfn.if.usp.br/curso/LabFlex)

E clique em Notas de Aula

Relatório de atividades, FGE213, Exp. 1, agosto 2007.

Equipe:

Turma, horário:

Prof.:

1. RESUMO

Resumir o relatório em no máximo três blocos: objetivos e descrição do assunto relatado; metodologia utilizada e etapas executadas; principais resultados e conclusões.

2. OBJETIVOS

- Explorar o uso de um multímetro para medidas de resistências, correntes e tensões elétricas em bipolos simples e isolados.
- Determinar experimentalmente a curva característica de vários elementos: um resistor, uma lâmpada com filamento, um diodo, uma pilha e uma célula com uma solução salina de NaCl (em modo CC e CA).

3. INTRODUÇÃO

3.1. Instrumentos de medida elétrica

A corrente elétrica é o movimento de elétrons livres numa direção. A corrente elétrica não é visível e nem pode ser observada sem o auxílio de instrumentos adequados. Em nosso dia a dia, usamos fios elétricos para conduzir a eletricidade, em geral de cobre ou alumínio, que combinam boa condutividade com baixo custo. Uma lâmpada pode ser usada para indicar a existência de eletricidade e seu brilho pode ser usado como uma medida da corrente elétrica que percorre o filamento. Apesar de rudimentar, é muito usada por eletricitistas para testar uma instalação elétrica doméstica. A medida de grandezas elétricas tais como o potencial elétrico, a corrente elétrica e a resistência, entre outras, é feita com instrumentos que convertem a ação elétrica em alguma indicação sensível que pode ser observada pelos nossos sentidos. O voltímetro, o amperímetro e o ohmímetro são alguns desses instrumentos.

3.2. Curva Característica

A corrente elétrica é resultado do movimento de elétrons¹ submetidos a uma diferença de potencial elétrico. A função que descreve a corrente elétrica através de um dispositivo condutor em função do potencial elétrico aplicado é denominada curva característica. É possível que um dispositivo apresente uma coleção de curvas características em função de parâmetro qualquer,

¹ Em meios iônicos, a corrente elétrica pode também ser devida ao movimento de íons.

como, por exemplo, temperatura. A curva característica caracteriza totalmente o componente sob teste e é de fundamental importância no projeto e resolução de circuitos elétricos complexos.

4. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

4.1. O Multímetro

O voltímetro mede a diferença de potencial entre dois pontos num circuito. O amperímetro indica a corrente elétrica que atravessa o instrumento. O ohmímetro mede a resistência de um bipolo ligado em seus conectores. Na realidade, tanto o amperímetro como o ohmímetro são uma espécie de voltímetro, pois num amperímetro mede-se a diferença de potencial (tensão no jargão elétrico) nas extremidades de um resistor interno ao instrumento. Num ohmímetro, mede-se a corrente que passa num bipolo criada por uma fonte de tensão interna do aparelho. A título de exemplo, toma-se um circuito genérico ilustrado na Figura 1, em que se deseja determinar o valor de uma determinada resistência, R_X , sua corrente elétrica e a tensão

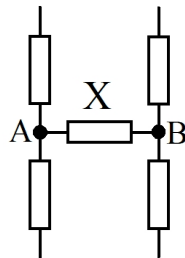


Figura 1. Circuito genérico em que se deseja medir a resistência, a corrente elétrica e a tensão num elemento X.

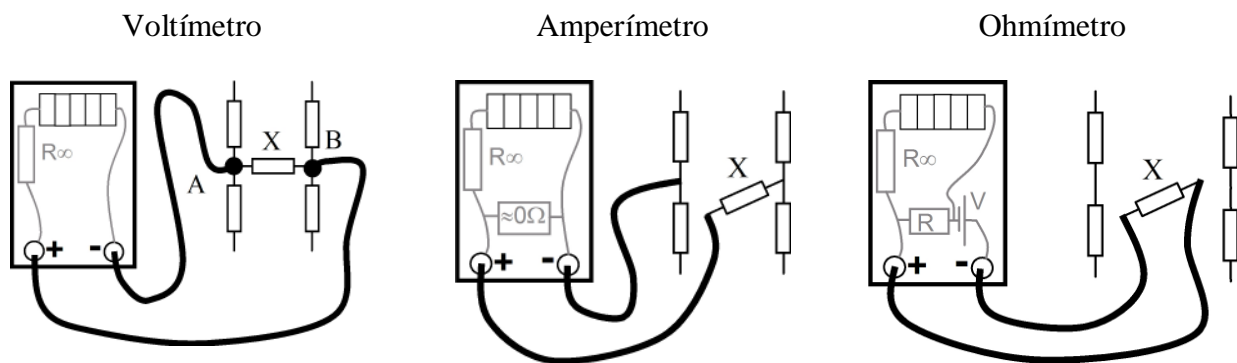


Figura 2a. Diagrama para ligação de um voltímetro num circuito. Mede-se $V_X = V_B - V_A$. Parte da corrente entre A e B é conduzida através do voltímetro e usada para medida da tensão.

Figura 2b. Diagrama para ligação de um amperímetro num circuito e medida da corrente I_X . O circuito é aberto para inserir o amperímetro. O valor de R, interno, depende da escala. Uma bateria interna alimenta em série no circuito

Figura 2c. Diagrama para medida da resistência de um bipolo X. O bipolo deve ser desligado do circuito. O valor de R, interno, depende da escala. Uma bateria interna alimenta o circuito.

As figuras 2a, 2b e 2c mostram um voltímetro, um amperímetro e um ohmímetro conectados ao circuito genérico da Figura 1, para a medida de V_X , I_X e R_X . Nessas figuras pode se observar também a construção interna do amperímetro e do ohmímetro, a partir de um voltímetro.

O instrumento que agrega esses três aparelhos é denominado multímetro. A mudança do circuito interno num multímetro é obtida ao chavear (ou selecionar) a função desejada no painel do instrumento. Na prática, a resistência interna associada ao voltímetro é da ordem de $M\Omega$, a resistência interna do amperímetro varia tipicamente de 1 a $100\ \Omega$ e a fonte de tensão interna de um ohmímetro comercial pode alcançar 30V. Dependendo do caso, a resistência interna pode interferir seriamente na medida realizada.

4.2. Lei de Ohm

A relação entre a tensão aplicada, U , a corrente elétrica I , e a resistência R , de um bipolo pode ser obtida a partir da Lei de Ohm², conforme equação (1)

$$U = R.I \quad (1)$$

Em corrente contínua, a potência elétrica, P , transferida a um bipolo é dada por

$$P = U.I \quad (2)$$

No SI, a potência é medida em watt, cujo símbolo é W . As equações (1) e (2) podem ser combinadas para escrever a potência em função da resistência do bipolo num circuito em corrente contínua:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

$$P = R.I^2 \quad (4)$$

4.3. Curva característica

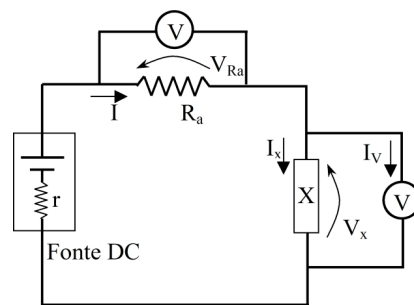


Figura 3. Circuito genérico para determinar a curva característica de um bipolo X . O resistor R_a serve para limitar a corrente da fonte (e proteger o bipolo) e ao mesmo tempo, para determinar a corrente no circuito, convertendo a medida da tensão V_{Ra} em seus extremos. A fonte DC pode ser substituída por uma fonte AC para ensaio do componente em corrente alternada.

A curva característica de um dispositivo elétrico é o gráfico da corrente I em função da tensão V . A curva característica mais simples é a de um resistor linear, em que $V = R.I$, uma reta com R constante. Para determinar a curva característica de um elemento pode-se usar o circuito da

² A Lei de Ohm requer que o valor da resistência, R , não dependa da corrente e tensão aplicada sobre o elemento.

Figura 3. A seguir, descreveremos alguns elementos simples cujas curvas características foram estudadas neste experimento.

4.3.1 O resistor

Na figura 4a é mostrada a curva característica de um resistor. Nesse caso, a resistência elétrica é constante e a resistência elétrica o é o inverso do coeficiente angular. Na Figura 4.b é mostrada a curva característica de um bipolo não linear. A resistência elétrica varia de ponto a ponto. A resistência diferencial é ... completar

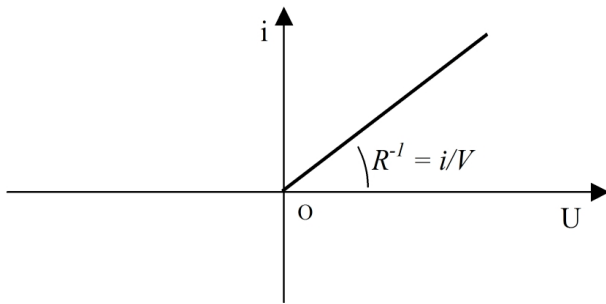


Figura 4.a. Curva característica de um resistor.

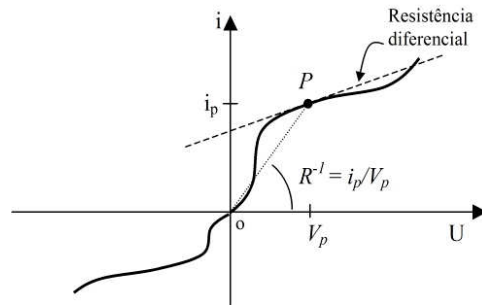


Figura 4.b. Curva característica de um elemento não linear e a determinação da resistência elétrica num ponto P.

4.3.2 A lâmpada comum

Fazer uma descrição teórica da lâmpada comum, deixando claro como a temperatura influi na resistência do filamento de tungstênio e enfatizar que, caso a potência seja transformada totalmente em calor, podemos estabelecer a relação $P = cte \cdot T^4$

4.3.3 O diodo simples

Fazer a descrição teórica do diodo, comentando como ele é construído e descrevendo a polarização direta e reversa do elemento.

4.3.4 A pilha seca

Fazer a descrição teórica da pilha

4.3.5 Uma cuba contendo uma solução salina

Fazer a descrição teórica da solução salina, comparando-a com um resistor simples. Mostrar como a resistência depende do comprimento e da área do objeto. Definir resistividade.

4.4. Leis de Kirchhoff

Num circuito elétrico com vários elementos define-se *malha* qualquer percurso fechado e *nó* qualquer ponto com interligação de três ou mais fios. Dessa forma as leis de Kirchhoff podem ser enunciadas:

Lei das tensões: A soma algébrica das tensões ao longo de uma malha fechada é nula.

$$\sum_{malha} V_i = 0 \tag{5}$$

Lei das correntes: A soma algébrica das correntes que convergem para um nó qualquer de um circuito é nula.

$$\sum_{nó} I_n = 0 \quad (6)$$

Uma vez num circuito com várias malhas alguns componentes são comuns a duas ou mais malhas, as equações (5) e (6) fornecem um conjunto de equações que podem ser resolvidas para determinar as correntes e tensões em todos os elementos do circuito.

4.5. Voltímetro ideal x voltímetro real

Conforme mostrado na Figura 2a, um voltímetro conectado a um circuito externo na realidade conecta seu resistor interno R_{∞} em paralelo com o bipolo X a ser medido. O voltímetro altera o circuito sob teste. Nesse caso, a resistência equivalente é dada pela equação (7) (ver apêndice I, a ser feito pelo grupo)

completar (7)

onde R_{eq} é a resistência resultante da associação do voltímetro com o resistor X. Da equação (7) pode-se inferir que para $R_{\infty} \gg R_X$ a adição do voltímetro pouco interfere com a medida. Caso contrário, a tensão medida deve ser corrigida para se obter a tensão real no circuito em funcionamento:

completar (8)

onde V_{cor} é a tensão elétrica corrigida sem a interferência do voltímetro.

4.6. Corrente alternada

Conceituar corrente alternada em 60 Hz. Definir tensão e corrente eficaz.

5. Procedimento experimental

Dependendo do caso, esse capítulo pode ser combinado com o de resultados, especialmente se o procedimento for relativamente simples e não desqualificar o capítulo de resultados. Por outro lado, se o procedimento for complexo e merecedor de destaque, poderá ocupar um capítulo próprio. O detalhamento deve ser suficiente (mas não demasiado) para facilitar a compreensão dos resultados obtidos e deverá permitir que outra pessoa repita sua experiência (visando obter os mesmos resultados). Descreva as várias etapas do seu trabalho. Quais os dispositivos testados. Como foram feitos os testes. Que circuito(s) foi(ram) usado(s). Que equipamentos foram usados.

6. Resultados

6.1. Resistência e voltagem de bipolos simples.

Antes de discutir as curvas características dos elementos estudados neste trabalho apresentamos medidas simples de resistência elétrica de alguns componentes. O quadro 1 contém os resultados destas medidas e de voltagem realizadas. Algumas grandezas derivadas, usando as

equações (1) a (4) e os valores medidos ou os valores nominais estão relacionados na coluna “grandezas derivadas”, foram usadas para comparação com os valores medidos.

Quadro 1. Resistência de alguns bipolos simples.

Ensaio n ^o	Descrição do elemento	Valores elétricos nominais	Medidas realizadas	Grandezas derivadas.
1	Resistor	$R_n =$	$R =$	
2	Lâmpada 60W	$P_n = 60 \text{ W}$ $U_n = 110 \text{ V}$	$R =$	$R_n =$
3	Pilha tipo A	$U_n = 1,5 \text{ V}$	$U =$	
4	Chuveiro elétrico	$P_n = 3800 \text{ W}$ $U_n = 220 \text{ V}$		
5	¹⁾ Resistência entre as mãos		R	

7

1) Resistência medida entre as mãos de um voluntário, mantendo os conectores do voltímetro fortemente presos entre os dedos polegar e indicador. Medida feita com as mãos secas.

6.2. Circuitos para determinação da Curva característica

Para avaliar qual o impacto de instrumentos de medidas não-ideais no nosso experimento realizamos medidas de curvas características de um resistor utilizando dois circuitos distintos. No primeiro a medi-se a corrente elétrica em R e a soma das tensões em R e no amperímetro. No segundo, medi-se a tensão elétrica em R e a corrente total que circula por R e pelo voltímetro. As figuras 5a e 5b mostram os circuitos utilizados. As características dos instrumentos utilizados estão no quadro 2.

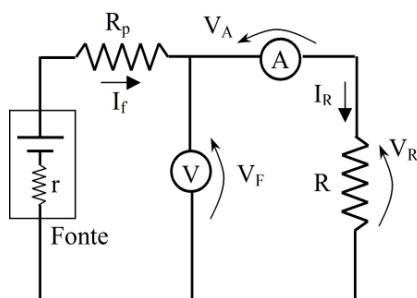


Figura 5a. Medida da curva característica de um resistor. O voltímetro mede a tensão elétrica da fonte e o amperímetro a corrente no resistor. R_p é a resistência limitadora de corrente.

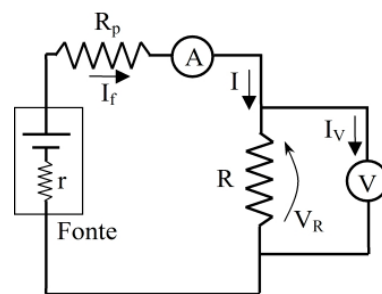


Figura 5b. Medida da curva característica de um resistor. O voltímetro mede a tensão elétrica no resistor e o amperímetro a corrente fornecida pela fonte. R_p é a resistência limitadora de corrente.

Foram ensaiados dois resistores: $R1 =$ (valor baixo) e $R2 =$ (valor alto). Usando a resistência limitadora $R_p = 220\Omega$, a corrente da fonte com $U_{max} = 10V$ foi limitada em $I_{max} = 45 \text{ mA}$. Os resultados estão na tabela 2 e nas figuras 6 e 7.

Tabela 2, e Figuras 6 e 7

6.3. Determinação da resistência elétrica interna do voltímetro

Sabendo-se que os instrumentos utilizados não são ideais, realizamos medidas para obter resistência elétrica interna do voltímetro (V_V) (marca modelo, escala de 20V, etc.). Montamos o circuito da figura 8, no qual R_P é um resistor variável.

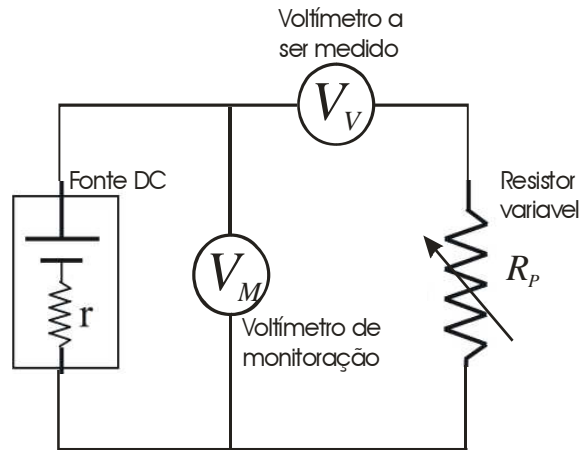


Figura 8. Circuito para medida da resistência elétrica interna do voltímetro.

O voltímetro V_M é montado no circuito de forma a monitorar a tensão aplicada na fonte. Esta tensão pode variar caso a sua resistência interna não seja desprezível em relação aos voltímetros. Resolvendo a o circuito acima (ver apêndice II, que deve ser feito pelo grupo) , podemos escrever que:

$$R_P = R_V \left(\frac{V_M}{V_V} \right) - R_V \quad (9)$$

Onde R_P é medida com um ohmímetro. Realizamos várias medidas variando-se R_P e fizemos o gráfico do valor de R_P como função da razão V_M/V_V , mostrando na figura 9. Completar a análise dos dados, obter o valor de R_V e discutir.

6.4. Curvas características.

Usando o circuito da figura (completar), foram determinadas as curvas características dos seguintes bipolos:

- Resistor, com resistência nominal, $R = \text{xxxx } \Omega$, potência nominal $P_R = \text{xxx W}$.
- Lâmpada de filamento, modelo, etc..
- Diodo, modelo...
- Pilha tipo...
- Uma solução salina de NaCl (~50 mg/l). Nesse caso, a curva característica foi obtida em modo CC (corrente contínua) e CA (corrente alternada).

Organizar os resultados na forma de tabelas e gráficos $I \times V$. Explorar as curvas características de cada elemento. Em especial, explorar os seguintes aspectos:

- O resistor comercial é ôhmico? Qual a sua resistência experimental?
- A lâmpada de filamento é ôhmica? Determinar, para cada medida efetuada, a temperatura da lâmpada. Fazer o gráfico em escalas apropriadas da potência em função da temperatura e extrair os coeficientes relevantes.

- Comentar a curva característica do diodo
- Mostrar as curvas características da solução salina nos regimes DC e AC. Caso a cuba seja ôhmica, determinar a sua resistividade

7. Discussão

7.1. Resistência e voltagem de bipolos simples.

O Texto abaixo é apenas um modelo. Deve-se adaptá-lo de acordo com os resultados.

Nem todos os valores da resistência elétrica nominal, concordam com os valores medidos no Quadro 1. Os elementos xxxx, yyyy por exemplo, apresentam divergência de zzzz%. Todavia as resistências de cccc, dddd e vvvv concordam dentro da incerteza experimental. Algumas hipóteses podem ser aventadas para as discordâncias observadas:

- a)
- b)

O mais provável é que tenha ocorrido..... Um cálculo simples, supondo..... e permite corrigir os valores medidos para xxxx e yyyy. O Quadro 3 apresenta os valores corrigidos....

Quadro n. Valores corrigidos para a resistência elétrica dos elementos no Quadro 1.

Um resultado interessante e com imediata aplicação prática é a resistência elétrica entre-mãos de uma pessoa, que resultou em $R = nnn \Omega$. Isto significa que, caso uma pessoa tome um choque elétrico de 100V entre as mãos, uma corrente $I = nnn \text{ mA}$ percorreria o circuito, inclusive através do coração. Em trabalho de (referência1, referência 2) foram medidos os tempo s de choque elétrico e seus efeitos em seres humanos. Podemos observar que essa corrente é (não é) mortal nas condições medidas e tempo inferior a zz s.. Todavia se as mãos estiverem úmidas, a resistência elétrica valeráo que é mortal para a maioria das pessoas caso o tempo de choque se estenda por mais de zz ms.

7.2. Circuitos para determinação da Curva característica

Comentar os vários circuitos e sua utilização.

7.3. Curvas características.

Discutir a forma e parâmetros das curvas características em função de seus vários modelos físicos. Buscar referências que expliquem o comportamento dos vários dispositivos sob teste e comparar com seus resultados.

8. Apêndice I (Influência do voltímetro e do amperímetro no circuito)

9. Apêndice II (determinação da resistência interna de um voltímetro)

10. Referências

(buscar na biblioteca normas para citações e referências)