

EXPERIÊNCIA 3

PONTE DE WHEATSTONE

I - OBJETIVO:

Utilizar a ponte de Wheatstone como instrumento de medida de resistência de extrema precisão e discutir o conceito de resistência elétrica.

II - PARTE TEÓRICA:

INTRODUÇÃO:

Muitas vezes, encontramos resistências de valores tão baixos quanto 10^{-5} Ohm (Ω) e tão altas quanto 10^{15} Ohm. Assim, não devemos esperar que um único instrumento seja adequado para realizar medidas precisas em uma faixa tão ampla de valores de resistências. O método que utiliza como instrumento de medida de resistência o amperímetro / voltímetro (MEDIDAS DE RESISTÊNCIAS) possui limitações que dependem da faixa de valores que desejamos medir. Vamos supor, por exemplo, que podemos medir com precisão, tensões na faixa de 100 Volt (V). Ficamos limitados portanto ao resultado do produto $I \cdot R$. Assim, pequenos valores de R podem ser medidos se I for muito grande. Entretanto, altos valores de corrente introduzem uma dificuldade; grande quantidade de calor será dissipada nos resistores e conseqüentemente haverá uma mudança nos valores da resistência.

Caso seja possível dissipar seguramente P Watt (W) de potência, a menor resistência que podemos medir com segurança, sem que ela se queime, aplicando uma tensão V será:

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (1)$$

Resistências menores causariam correntes elevadas que produziram mais calor do que seria possível dissipar com uma potência P . Isso nos dá um limite inferior para a medida de R .

O limite superior para a medida de R no qual o método do voltímetro / amperímetro pode ser utilizado é de certo modo mais flexível. Caso a corrente seja medida por um miliamperímetro com resistência interna baixa, o limite V / R será da ordem de grandeza do medidor de corrente. A resistência a ser medida pode ter a mesma ordem de grandeza da voltagem aplicada. No entanto, limites práticos para a grandeza da voltagem aplicada são estabelecidos, já que para voltagens muito altas há o risco de rupturas ou

vazamentos devido ao faiscamento que pode ocorrer no elemento que se deseja medir.

A ponte de Wheatstone fornece um dos meios mais precisos para medidas de resistência dentro de uma ampla faixa de valores. Por exemplo: $(0,1 \text{ a } 10^7) \Omega$.

MÉTODOS DE ZERO:

Todas as medidas em que são utilizados voltímetro, amperímetro etc., dependem da deflexão de um sistema conjugado que se move. Qualquer falha nesse sistema, de modo que não seja reproduzido exatamente o seu comportamento de calibração, falha esta devida ao atrito, mola restauradora, não-balanceamento dos pesos etc., podem causar erros em tais medidas. Por essa razão, **métodos de zero**, nos quais um circuito formado de resistores fixos, capacitores, ou outros elementos estáveis que são ajustados até que a diferença de potencial sobre um par de terminais é reduzida a zero, são usualmente preferidos aos métodos de deflexão, quando fazemos medidas precisas.

A PONTE DE WHEATSTONE:

O mais simples, e um dos mais utilizados instrumentos de método de zero é a ponte de Wheatstone inventada por Samuel Henrique Christie (1784 - 1865), em 1833 e popularizada por Charles Wheatstone.

A ponte de Wheatstone consiste basicamente de dois circuitos em paralelo através dos quais se divide uma corrente. Esses circuitos são formados por quatro resistores, montados de modo a formar um quadrilátero. Três dos quais são conhecidos e o quarto desconhecido (R_4), figura 1.

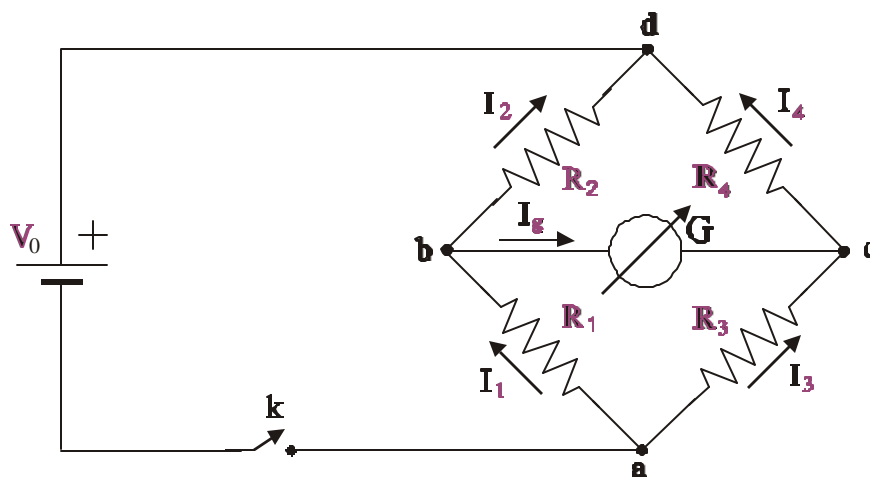


Fig. 1

Suponhamos que não passe corrente pelo galvanômetro, $I_g=0$; ou seja, não exista diferença de potencial entre os pontos **b** e **c**. Teremos então as seguintes equações.

$$V_b - V_c = 0$$

ou seja

$$V_b = V_c$$

$$V_b - V_a = R_1 \cdot I_1$$

$$V_d - V_b = R_2 \cdot I_2 \quad (2)$$

$$V_c - V_a = R_3 \cdot I_3$$

$$V_d - V_c = R_4 \cdot I_4$$

Como $I_1=I_2$ e $I_3=I_4$, pois fizemos a hipótese de que não havia passagem de corrente pelo galvanômetro, podemos escrever:

$$V_b - V_a = R_1 \cdot I_1 \quad (3)$$

$$V_d - V_b = R_2 \cdot I_1 \quad (4)$$

$$V_c - V_a = R_3 \cdot I_3 \quad (5)$$

$$V_d - V_c = R_4 \cdot I_3 \quad (6)$$

De 3 e 5, notando que no equilíbrio $V_b = V_c$ ficamos com:

$$R_1 \cdot I_1 = R_3 \cdot I_3 \quad (7)$$

De maneira análoga de 4 e 6, obtemos:

$$R_2 \cdot I_1 = R_4 \cdot I_3 \quad (8)$$

Dividindo membro a membro 7 por 8 teremos:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \quad (9)$$

Assim, no equilíbrio (corrente no galvanômetro zero) a relação 9 deverá ser satisfeita. Essa relação permite calcular uma das resistências em função das outras três, por exemplo:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (9.a)$$

A precisão com que se consegue o equilíbrio da ponte dependerá das características do galvanômetro e da ddp utilizada.

FATORES QUE DETERMINAM A RESISTÊNCIA DE UM CONDUTOR:

A resistência de um fio condutor, depende dos seguintes fatores:

- Do material de que é constituído o fio. Cada material é caracterizado por uma propriedade chamada de resistividade, representada pela letra grega ρ . Vide anexo.
- Do comprimento. Um fio de 20 cm de comprimento tem uma resistência 4 vezes maior do que um fio de 5 cm do mesmo material e com o mesmo diâmetro.
- Do diâmetro do fio. Quanto maior a área da seção transversal de um fio, menor a sua resistência. Um fio com diâmetro de 2 mm tem 1/4 da resistência de um fio de 1 mm de diâmetro.
- Da temperatura. Quando aquecemos um fio de cobre de 0° a 100° C a sua resistência aumenta cerca de 40 %.

PONTE DE FIO:

O método da ponte de Wheatstone pode ser notavelmente simplificado de forma a exigir apenas uma resistência calibrada de comparação;

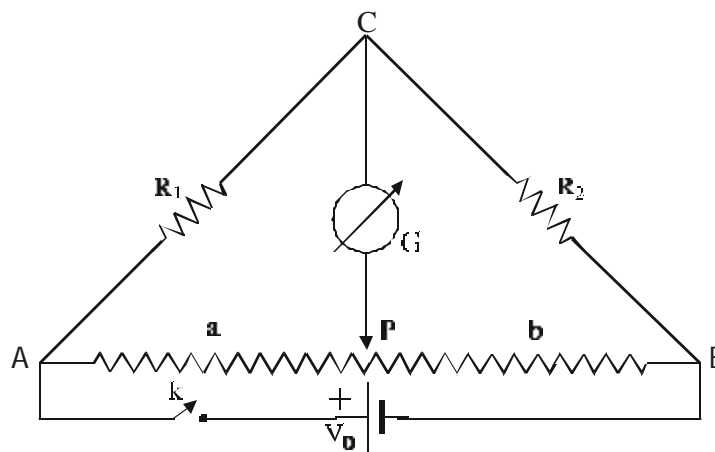


Fig. 2

Com efeito, na situação onde o galvanômetro está no zero, vale a relação:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{R_3}{R_4} \quad (9.a)$$

Ou seja, R_1 é dada como o produto de uma resistência conhecida (medida em Ohm) e da razão de outras duas (que podem ser eventualmente medidas em unidades diferentes que a de R_1).

Esta é a simplificação na qual se baseia a ponte de fio. Nela, as resistências R_3 e R_4 são substituídas por dois trechos **a** e **b** de comprimento variável. A resistência deste fio metálico, homogêneo, de comprimento ℓ (m), resistividade ρ ($\Omega \cdot \text{cm}$) a temperatura constante e área da seção transversal S (m^2) é dada por:

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{S} \quad (10)$$

A equação (9.a) pode ser reescrita como:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{\rho \cdot \frac{a}{S}}{\rho \cdot \frac{b}{S}}$$

ou finalmente:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{a}{b} \quad (11)$$

Onde **a** e **b** são respectivamente os comprimentos dos fios resistivos R_3 e R_4 .

Note que, para que a resistência seja proporcional ao comprimento do fio, é necessário que a temperatura do fio permaneça uniforme de ponta a ponta; em particular, considerando-se o efeito Joule, somente no equilíbrio final tem-se a mesma corrente de aquecimento para os dois trechos **a** e **b**.

III - TEORIA DA MEDIDA:

Processos de Utilização da Ponte de Fio

i) Leitura simples

Consideremos o circuito da figura 2. Variando-se a posição do ponto P até equilibrar a ponte, a medida dos comprimentos **a** e **b** é suficiente para determinar R_1 .

Sendo **c** o comprimento total do fio temos:

$$c = a + b \quad (12)$$

logo:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{a}{c-a} \quad (13)$$

ii) Leitura dupla

Consideremos o mesmo circuito da figura 2. Neste caso, execute-se a medida exatamente como no caso da leitura simples.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{a}{c-a} \quad (13.a)$$

Em seguida, trocam-se as posições de R_1 com R_2 e reequilibra-se a ponte,

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{a}{c-a'} \quad (14)$$

ou:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{c-a'}{a'} \quad (14.a)$$

Igualando 13.a e 14.a temos:

$$\frac{a}{c-a} = \frac{c-a'}{a'} \quad (15)$$

NOTE BEM:

O lado escolhido para medir a e b deve permanecer sempre o mesmo.

Como temos uma proporção, equação 15, vale a propriedade:

$$\frac{a'}{c-a} = \frac{c-a'}{a}$$

ou:

$$\frac{a'}{c-a} + 1 = \frac{c-a'}{a} + 1$$

$$\frac{a' + c - a}{c - a} = \frac{c - a' + a}{a}$$

$$\frac{a}{c-a} = \frac{c-a'+a}{a'+c-a} = \frac{c+(a-a')}{c-(a-a')}$$

logo a equação 13 fica:

$$R_1 = R_2 \cdot \frac{c + (a - a')}{c - (a - a')} \quad (16)$$

OBSERVAÇÃO IMPORTANTE:




Nesta expressão, não intervêm nem a nem a' , porém sua diferença; portanto o zero da escala do reostato linear de fio, não tem importância alguma para a medida.

IV - PARTE EXPERIMENTAL:

LISTA DE MATERIAL:

- conjunto de resistores numerados, desconhecido
- fonte de tensão
- década de resistores - (padrão)
- reostato
- voltímetro
- galvanômetro de zero central
- reostato linear de fio sobre uma régua com garra jacaré deslizante (ponte)
- chave liga - desliga - (duas)
- placa de ligação
- fios

MEDIDAS:

-  Anote a cor do seu conjunto de resistores.
-  Anote os desvios de todos os instrumentos utilizados.
-  Monte o circuito de acordo com a figura 3.

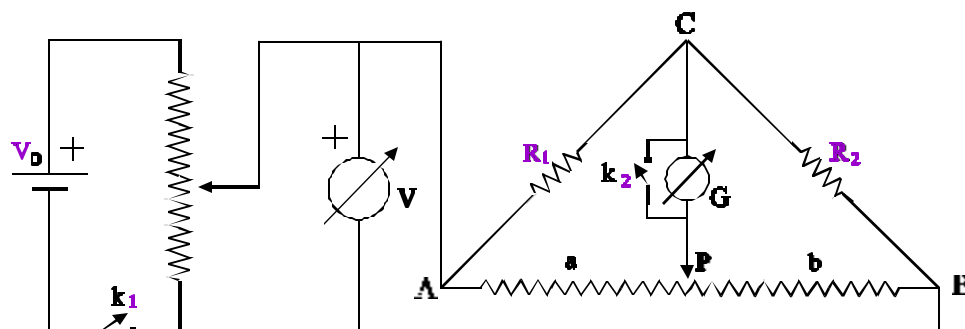


Fig. 3

ATENÇÃO:

Verifique se o galvanômetro está zerado.

A chave k_2 é para proteção do galvanômetro, mantenha ela sempre fechada quando não estiver fazendo uma medida.

Você dispõe de um conjunto de resistores desconhecidos e numerados em ordem crescente de valores de resistência.

i) Leitura simples

☞ Utilizando o resistor de número 1 desconhecido. Inicialmente, coloque o cursor da ponte no meio do fio. Selecione arbitrariamente uma certa resistência, coloque na década este valor. Neste caso, k_2 deve estar fechada e k_1 aberta.

☞ Ligue a chave de alimentação do circuito, k_1 . Selecione uma tensão de 0,5 V. Abra agora a chave de proteção do galvanômetro k_2 .

☞ Tente agora zerar o galvanômetro com o reostato da ponte de tal maneira que o cursor permaneça aproximadamente no meio do fio (valor de **a** aproximadamente igual ao valor de **b**). Caso não consiga, **feche a chave k_2** ; coloque de maneira inteligente outro valor de resistência na década e reinicie este item.

✍ Zerado o galvanômetro, anote numa tabela, o número do resistor, valor de R_2 , (resistência padrão), bem como os comprimentos **a** e **b**.

☞ Faça o mesmo procedimento para todo os outros resistores do conjunto, anotado sempre os resultados na tabela.

ii) Leitura dupla

☞ Após a obtenção dos valores (leitura simples) modifique o circuito para que a posição do resistor desconhecido seja trocada com o resistor padrão (Observe com cuidado que não é necessário desmontar o circuito e sim trocar a posição de alguns fios).

☞ Utilizando novamente o resistor de número 1 desconhecido e com o valor já determinado anteriormente de R_2 , colocado na década padrão, desloque o cursor da ponte até zerar o galvanômetro, anote então o valor de **a** (obtido no item anterior, leitura simples) e **a'**.

☞ Repita todo o procedimento anterior obtendo uma nova tabela onde conste: número do resistor, R_2 (resistência padrão) e os comprimentos a e a' .

V - RELATÓRIO:

Os itens a seguir devem constar de seu relatório. Esta lista entretanto não é limitativa.

- Calcule os valores de R_1 para os dois métodos de leitura. Qual o valor mais preciso? Por quê?

- Qual a influência da resistência interna do galvanômetro na medida de resistência com a ponte de fio?

- Por que utilizamos um galvanômetro de zero central no experimento?

- Como influencia a temperatura do fio da ponte, na determinação do valor da resistência desconhecida, caso a ponte não esteja equilibrada?

- Como seria afetado o valor de R_1 caso houvesse variação na seção reta do fio da ponte?

- Tem influência a polaridade da bateria no experimento?

- Qual a influência da tensão de alimentação da ponte?

- Como influencia a resistência interna da fonte de alimentação?

- A partir das equações 11 e 16, calcule os erros nas determinações das resistências desconhecidas, R_1 em função do método.

- Qual o erro relativo na determinação das resistências desconhecidas sabendo-se que a tolerância dos resistores da década padrão é de 5 % dado pelo fabricante?

- Apresente os valores de R_1 com seus respectivos desvios.

- Mostre que a expressão do desvio relativo, deduzida da equação 11, tem um mínimo quando o cursor está no meio da ponte de fio.

- Apresente uma relação de procedimentos necessários para que possamos minimizar os erros experimentais.

VI - LEITURA RECOMENDADA:

TIPLER, Paul A. Física, 2.ed, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1984. v.2a, p. 719 - 720.

WHITE, Marsh W, MANNING, Kenneth V. Experimental College Physics, N.Y: McGraw Hill Book Company, Inc, 1954. p. 207 - 212.

WESTPHAL, Wilhelm H. Prácticas de Física, 2.ed, Barcelona: Editorial Labor, S.A, 1965. v.3, p. 194 - 197.

JERRARD, H.G, McNEILL, D.B. Theoretical and Experimental Physics, London: Chapman & Hall, 1960. p. 495 - 514.