

## Ponte de medição de “Wheatstone”

### DETERMINAÇÃO DAS RESISTÊNCIAS ÔHMICAS.

- Determinação de resistências ôhmicas numa ponte de medição de Wheatstone.
- Avaliação da precisão de medição.

UE3020300

03/16 UD

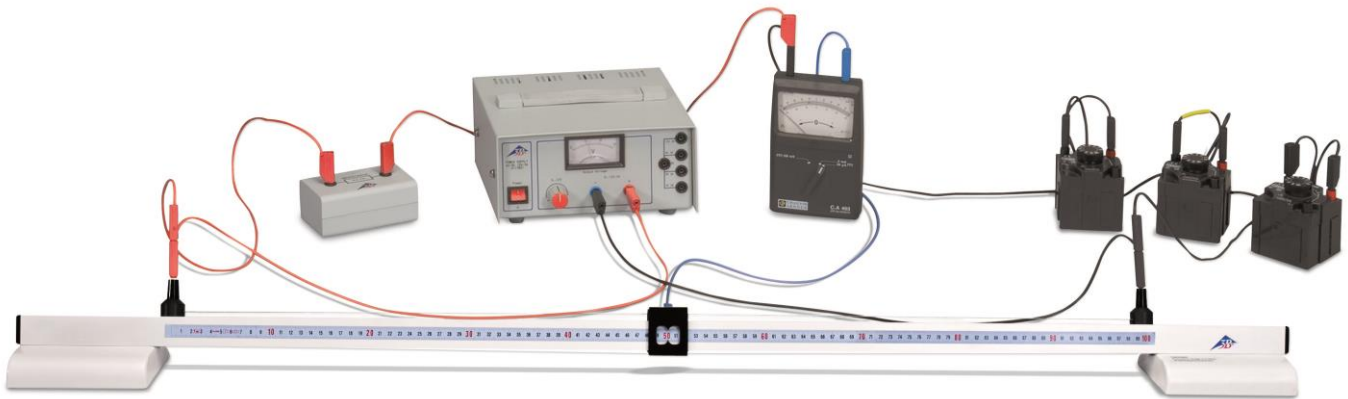


Fig. 1: Disposição de medição.

### FUNDAMENTOS GERAIS

Resistências ôhmicas são determinadas classicamente numa ponte de medição de equalização denominada de *Ch. Wheatstone* por meio da comparação com uma resistência de referência. Para isto é montado um esquema em paralelo de dois divisores de tensões ligados a mesma fonte de tensão contínua. O primeiro divisor de tensões é constituído da resistência a ser medida  $R_x$  e a resistência de referência  $R_{ref}$  e a segunda das resistências  $R_1$  e  $R_2$ , cuja soma permanece inalterada durante a equalização (veja Fig. 2).

A relação das resistências  $R_1$  e  $R_2$  e – desde que necessário – também a resistência de referência  $R_{ref}$  são modificadas até que a corrente transversal esteja equalizada em zero. Esse é exatamente o caso quando as relações de resistência de ambos os divisores de tensões forem iguais. Dessa condição de equalização resulta a resistência desconhecida  $R_x$  para

$$(1) \quad R_x = R_{ref} \cdot \frac{R_1}{R_2}.$$

Na experiência o segundo divisor de tensões é formado por um fio de resistência de 1 m de comprimento, que por um contato deslizante é repartido em duas unidades parciais de comprimentos  $s_1$  e  $s_2$ .

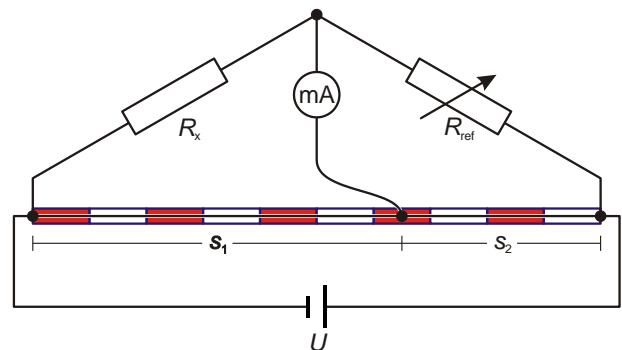


Fig. 2: Representação esquemática da ponte de medição de Wheatstone

Como ambas as resistências  $R_1$  e  $R_2$ , por conta de

$$(2) R_{1,2} = \rho \cdot \frac{s_{1,2}}{A}$$

$\rho$ : resistência específica do material do arame  
 $A$ : área de perfil do arame de resistência

são representadas pelos pedaços do arame de resistência, a equação (1) é transformada para

$$(3) R_x = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{s_2} = R_{ref} \cdot \frac{s_1}{(1m - s_1)},$$

A precisão do resultado depende da tolerância da resistência de referências  $R_{ref}$  e as precisões com que a relação  $s_1/s_2$  dos pedaços e das resistências  $R_1/R_2$  pode ser ajustada e a compensação do zero da ponte pode ser realizada.

A partir da reprodução de erros de Gauß, resulta, para o erro absoluto de medição

$$(4) \Delta R_x = \sqrt{\left(\frac{s_1}{(1m - s_1)} \cdot \Delta R_{ref}\right)^2 + \left(R_{ref} \cdot \frac{1m \cdot \Delta s_1}{(1m - s_1)^2}\right)^2}$$

e, daí, para o erro relativo de medição

$$(5) \frac{\Delta R_x}{R_x} = \sqrt{\left(\frac{\Delta R_{ref}}{R_{ref}}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s_1}{s_1} \cdot \frac{1m}{(1m - s_1)}\right)^2}$$

O erro relativo de medição  $\Delta R_x/R_x$  está representado, para  $0m < s_1 < 1m$ ,  $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$  (0,5%) e um erro de leitura de  $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$ , na Fig. 3. Ele é, simetricamente referente a  $s_1 = 0,5m$ , tem um mínimo ali e vai, para  $s_1 \rightarrow 0m$  e  $s_1 \rightarrow 1m$  respectivamente até o infinito.

A precisão da ponte de medição de Wheatstone na disposição como ponte de medição de Wheatstone, portanto, é a maior quando o contato de fricção estiver posicionado no meio em  $s_1 = s_2 = 0,5m$ . Segundo a equação (3), vale, então,  $R_x = R_{ref}$ . A resistência de referência deve, portanto, ser selecionada de forma que ambos os pedaços  $s_1$  e  $s_2$  tenham o mesmo comprimento, ou seja, a relação seja  $s_1/s_2 = 1$ .

A precisão da compensação do zero da ponte de medição é descrita pela insegurança de compensação, que é inversamente proporcional à sensibilidade da ponte de medição, ou seja, quanto mais sensível a ponte de medição, mais precisa a compensação do zero.

A sensibilidade descreve a relação entre o curso do galvanômetro neutro e a alteração de posição do contato de fricção que causa o curso. Ela aumenta com a sensibilidade do galvanômetro neutro e da tensão de alimentação  $U$  da ponte de medição e depende das resistências da ponte, bem como da resistência do galvanômetro neutro. Elas são máximas quando o contato de fricção se encontrar no meio do arame de resistência. Com isto, não só a relação  $s_1/s_2$  é ideal, mas também a precisão da compensação do zero é a maior possível.

Como a resistência do fio da ponte de medição é somente cerca de uma grandeza maior que a resistência das ligações afluentes, somente são usadas resistências  $R_x \geq 100\Omega$  para a medição.

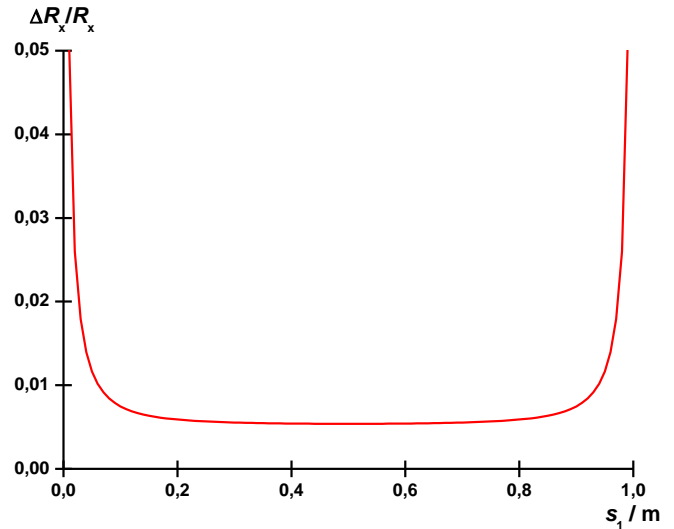


Fig. 3: Erro relativo de medição  $\Delta R_x/R_x$  em dependência de  $s_1$  segundo equação (5) com  $\Delta R_{ref}/R_{ref} = 0,005$  (0,5%) e  $\Delta s_1 = \pm 0,5mm$ .

### LISTA DE APARELHOS

- 1 Ponte para a medição de resistência 1009885 (U8551002)
- 1 Fonte de alimentação AC/DC 0...12 V/ 3 A @230V 1002776 (U117601-230)
- ou
- 1 Fonte de alimentação AC/DC 0...12 V/ 3 A @115V 1002775 (U117601-115)
- 1 Galvanômetro neutro CA 403 1002726 (U11170)
- 1 Década resistiva 100  $\Omega$  1002732 (U11182)
- 1 Década resistiva 1 k $\Omega$  1002733 (U11180)
- 1 Década resistiva 10 k $\Omega$  1002734 (U11181)
- 1 Resistor de precisão 100  $\Omega$  1009886 (U51004)
- 1 Resistor de precisão 1 k $\Omega$  1009887 (U51005)
- 1 Conjunto de 15 cabos de segurança para experiências, 75 cm 1002843 (U138021)

## MONTAGEM E REALIZAÇÃO

### Orientações de segurança:

- Não ultrapassar a tensão máxima permitida de 8 V e a corrente máxima de 1,5 A.
- Interromper a alimentação de energia quando o galvanômetro neutro estiver sobrecarregado.
- Montar a experiência conforme mostrado na Fig. 1. Para isto, conectar o conector preto da direita da ponte de medição de resistências uma vez ao polo negativo da fonte e uma vez pelas décadas de resistências ligadas em série com o conector "COM" do galvanômetro neutro. Conectar o conector vermelho da esquerda da ponte de medição de resistências uma vez ao polo positivo da fonte e uma vez pela resistência de precisão 100 Ω ou 1 kΩ com o conector "COM" do galvanômetro neutro. Conectar o conector "+" do galvanômetro neutro com o contato de fricção da ponte de medição de resistências. Ainda não ligar a fonte.
- No galvanômetro neutro, selecionar a faixa de medição 30 μA e verificar a posição do ponteiro zero. Se for o caso, realizar compensação do zero girando o parafuso de ajuste na placa frontal.

As resistência de precisão atuam como resistências  $R_x$  a medir, as décadas de resistências servem para o ajuste de resistências de referência fixas diversas  $R_{ref}$ .

A resistência  $R_x = 100 \Omega$  é medida para resistências de referência  $R_{ref} = 10 \Omega, 50 \Omega, 100 \Omega, 500 \Omega$  e 1 kΩ (Tab. 1), a resistência  $R_x = 1 \text{ k}\Omega$  para  $R_{ref} = 100 \Omega, 500 \Omega, 1 \text{ k}\Omega, 5 \text{ k}\Omega$  e 10 kΩ (Tab. 2). O procedimento é descrito a seguir.

### No início da série de medições:

- Selecionar a faixa de medição 3 mA no galvanômetro neutro.
- Ajustar a menor resistência de referência.
- Posicionar o contato de fricção em  $s_1 \approx 90 \text{ cm}$ .
- Ligar a fonte e ajustar a tensão para 5 V.

### Registro dos valores de medição:

- Movimentar o contato de fricção para a posição em que o galvanômetro neutro não indica mais corrente transversal (compensação do zero da ponte de medição de resistências).
- Selecionar a faixa de medição 30 μA no galvanômetro neutro e realizar a compensação do zero com a maior precisão possível.
- Ler o comprimento  $s_1$  do primeiro pedaço com auxílio do indicador no contato de fricção na escala do trilho e anotar na Tab. 1 ou 2.
- Selecionar a faixa de medição 3 mA no galvanômetro neutro.
- Gradativamente, ajustar a próxima resistência de referência e compensar a ponte de medição de resistências novamente em zero conforme descrito acima. Atentar, a cada etapa, para que o galvanômetro neutro não seja sobrecarregado. Se for o caso, conduzir o contato de fricção.

## EXEMPLO DE MEDIÇÃO E AVALIAÇÃO

Tab. 1: Medição da resistência  $R_x = 100 \Omega$ . Resistências de referência ajustadas  $R_{ref}$ , comprimentos medidos  $s_1$  e valores daí determinados da resistência com erros de medição conforme equação (4).

$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valor nominal	$R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$	$s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$	$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ resultado
100±1	10.00±0.05	91.00±0.05	101.1±0.8
	50.00±0.25	66.80±0.05	100.6±0.6
	100.0±0.5	50.10±0.05	100.4±0.5
	500.0±2.5	16.80±0.05	101.0±0.6
	1000±5	9.15±0.05	100.7±0.8

Tab. 2: Medição da resistência  $R_x = 1 \text{ k}\Omega$ . Resistências de referência ajustadas  $R_{ref}$ , comprimentos medidos  $s_1$  e valores daí determinados da resistência com erros de medição conforme equação (4).

$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ Valor nominal	$R_{ref} \pm \Delta R_{ref} / \Omega$	$s_1 \pm \Delta s_1 / \text{cm}$	$R_x \pm \Delta R_x / \Omega$ resultado
1000±10	100.0±0.5	91.00±0.05	1011±8
	500.0±2.5	66.75±0.05	1004±6
	1000±5	50.05±0.05	1002±5
	5000±25	16.75±0.05	1006±6
	10000±50	9.15±0.05	1007±8

- A partir dos comprimentos medidos  $s_1$  (Tab. 1, Tab. 2), calcular, com auxílio da equação (3), os valores  $R_x$  com as diferentes resistências de referência  $R_{ref}$  e, com auxílio da equação (4), os erros de medição  $\Delta R_x$  e anotar respectivamente na Tab. 1.
- Com base nos erros de medição, comparar os valores determinados pela medição  $R_x$  para as resistências de referência  $R_{ref}$  e os comprimentos  $s_1$  com seus respectivos valores nominais.

### Conclusão:

Os valores medidos correspondem, no âmbito dos erros de medição, muito bem ao valor nominal para todas as resistências de referência e posições do contato de fricção. De fato, o erro de medição no meio do arame de resistência em  $s_1 = s_2 = 50 \text{ cm}$  é menor e não varia significativamente no âmbito  $10 \text{ cm} \leq s_1 \leq 90 \text{ cm}$  (vide Fig. 3).

## OUTROS MÉTODOS DE MEDIÇÃO

### Compensação do zero por adaptação da resistência de referência:

- Posicionar o contato de fricção no meio do arame de resistência em  $s_1 = s_2 = 50$  cm.
- Ajustar uma resistência de referência nas décadas de resistências de forma que o curso do indicador no galvanômetro neutro fique o mais próximo possível do zero.
- Movimentar o contato de fricção para a posição em que o indicador do galvanômetro neutro se encontra precisamente na posição zero e, daí, determinar a resistência a medir.

### Resistência de referência fixa para diferentes resistências a medir:

- Trocar as resistências de precisão e as décadas de resistências, de forma que as resistências de precisão atuem como resistências de referência  $R_{ref}$  e as décadas de resistências sirvam para o ajuste de resistências de referência fixas diversas  $R_x$  a medir.