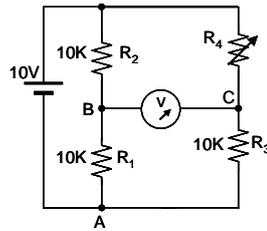


vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=euce-01NPsU&t=449s>
Para relatório você(s) devem responder aos itens escritos em vermelho

I. Ponte de Wheatstone

A configuração da Figura ao lado é conhecida como Ponte de Wheatstone e pode ser usada para determinar o valor do resistor R_1 , em função dos resistores R_2 , R_3 e R_4 . Para isto, ajusta-se de tal modo a obter $V_{BC} = 0$, nesta condição diz-se que a ponte está balanceada.



a) Mostre que para $V_{BC} = 0$ temos:

$$R_1 = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_4}$$

Experimento:

Na Figura acima colocamos os valores nominais dos resistores (R_1 , R_2 e R_3) os quais tem tolerância de $\pm 5\%$. Com o intuito de melhorar a precisão da medida, medimos as resistências com o ohmímetro, obtendo:

$R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$ $R_2 = 10.08 \text{ K}\Omega$ $R_3 = 10.11 \text{ K}\Omega$

estes valores são próximos a $10 \text{ K}\Omega$, dentro da tolerância esperada de 5% .

R_4 é um resistor variável, mas no experimento no lugar de R_4 utilizamos um resistor de $8.2 \text{ K}\Omega$ em série com um potenciômetro de $2.2 \text{ K}\Omega$. Consequentemente, a resistência R_4 varia no intervalo $8.2 - 10.4 \text{ K}\Omega$.

Montamos o circuito da Figura acima usando uma fonte com tensão $V_0 = 10,03 \text{ V}$ e medimos o valor da tensão V_{BC} em função do valor da resistência R_4 , os dados obtidos estão na tabela abaixo:

$R_4 \text{ (K}\Omega)$	$V_{BC} \text{ (mV)}$	$R_4 \text{ (K}\Omega)$	$V_{BC} \text{ (mV)}$
10,47	134,90	9,64	-70,9
10,29	89,60	9,56	-96,2
10,10	43,50	9,32	-515,9
10,00	20,10	9,22	-184,5
9,95	3,20	9,07	-226
9,94	0,00	88,1	-299
9,92	-5,50	8,47	-398
9,84	-22,9	8,32	-439
9,72	-55,4		

b) Faça o gráfico de V_{BC} versus R_4

c) Calcule o valor de R_1 através da condição de balanceamento (eq. acima). Compare este valor com o valor $R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$ (medido com o ohmímetro).

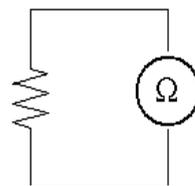
Comentado [C1]:

d) considerando que a incerteza $\pm 0.005 \text{ K}\Omega$, dos valores de todas as resistências medidas com o ohmímetro, o valor obtido no item c) está de acordo com o valor medido no ohmímetro ($R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$.)

II. Medição de nulo

i) Disponha, como na Figura ao lado, um resistor de $10\text{K}\Omega/1/8\text{W}$ e meça a sua resistência através de um ohmímetro digital.

$R_1 = 10\text{K} / 1/8\text{W}$



Obs: note que o resistor de $1/8\text{W}$ tem uma massa é pequeno e sua massa é pequena.

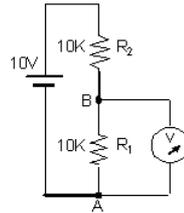
ii) Com o intuito de aquecer o resistor, coloque-o entre seus dedos para aquece-lo.

Aqueça o resistor, usando o circuito da lâmpada L₂ da Figura ao lado e observe se existe alguma variação no valor da resistência medida (**utilizar o ohmímetro Auto Range**).

Se o valor da resistência não mudar, vocês devem concluir que:

- i) a resistência não varia com a temperatura, ou
- ii) a resistência varia muito pouco com a temperatura, de tal forma que o ohmímetro não tem resolução suficiente para observar tal variação. Uma outra observação: para R₁, utilizamos um resistor pequeno ou de pouca massa (1/8W).

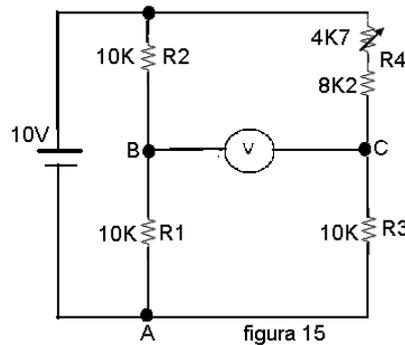
iii) Continuando com a nossa tentativa de medir a variação da resistência do resistor R₁ causada pela mudança da temperatura, projetamos o circuito da Figura ao lado. O resistor R₁ faz agora parte de um divisor de tensão e um voltímetro digital é utilizado para medir a diferença de potencial entre os seus terminais. Supondo que o valor de R₂ se mantenha constante (sua temperatura não varia) como deve variar a tensão V_{R1} se R₁ variar?



Obtenha uma expressão para a variação da tensão, ΔV_{R1} , para uma variação de resistência, ΔR_1 , em função de R₁ e da tensão da fonte (V₀). Supondo que a sensibilidade do voltímetro seja de 0.01V (na escala de 20V) estime a menor variação relativa ($\Delta R_1/R_1$) que poderia ser determinada neste experimento.

iv) Aqueça o resistor R₁ da maneira que indicamos na parte (B). Você observa variação da voltagem?

Na montagem da Figura ao lado, conhecida como Ponte de Wheastone, temos dois divisores de tensão em paralelo. A ideia aqui é fazer um circuito comparador. O voltímetro mede a tensão $V_{BC} = V_B - V_C = (V_B - V_A) - (V_C - V_A) = V_{CA} - V_{BA}$.



v). Quando todos os resistores estão à temperatura ambiente, ajuste R₄ para que o voltímetro indique V_{CB} ~ 0V (o mais próximo de zero que você conseguir). Para isso, aumente gradativamente a sensibilidade do voltímetro até que o ajuste possa ser feito na sua escala mais sensível. Mantendo o voltímetro nessa escala, aqueça o resistor R₁ conforme explicamos na parte (ii). E agora? Você nota alguma variação na leitura do voltímetro quando o resistor é aquecido? O que você pode concluir a respeito deste experimento?

vi). Suponha que a ponte esteja inicialmente balanceada ($R_1 \sim R_2 \cdot R_3 / R_4$ onde $V_{BC} = 0$) e o resistor R₁ tenha uma pequena variação δR_1 , devido a uma variação de temperatura.

Mostre que para a configuração $R_1 = R_2$ temos:

$$\Delta V_{BC} = 0,25 V_0 \cdot (\Delta R_1 / R_1)$$

Supondo $\Delta R_1 \ll R_1$, onde ΔV_{BC} é a variação da tensão V_{BC}.

Assumindo que a variação ΔR_1 do valor da resistência R₁, devido a uma pequena variação de temperatura, $T_2 - T_1 = \Delta T \ll T_1$) obedece à equação:

$$\frac{R(T_2)}{R(T_1)} \sim \frac{R(T_1) + \Delta R}{R(T_1)} = 1 + \frac{\Delta R}{R(T_1)} = 1 + \alpha \cdot \Delta T$$

Suponha ao aquecer R_1 com a mão, observe-se uma variação de tensão $\Delta V_{BC} = 16 \text{ mV}$ devido a uma variação de temperatura $\Delta T \sim 16 \text{ }^\circ\text{C}$, com $V_0 = 10 \text{ V}$.

Estime o valor do parâmetro α em unidades de $^\circ\text{C}^{-1}$ e expresse esse valor em **ppm** (partes por milhão). No presente caso, α é positivo ou negativo?

Vi) Como mostrado no vídeo, o experimento Medição de Nulo, foi repetido utilizando um termistor com valor $\alpha = -0.2 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ previamente determinado. Note que este valor de α é várias ordens de magnitude maior (em módulo) comparado a de um resistor comum (item v).

Supondo que a variação de tensão observada seja de $\Delta V_{BC} = 50 \text{ mV}$, estime a variação de temperatura ΔT devido a aproximação da mão do experimentador ao termistor.

Curiosidade: o circuito da Figura 15 é amplamente utilizado em equipamentos, muitos deles do nosso cotidiano, como: balanças de precisão, medidores de pH, controladores de temperatura, medidores de stress em estruturas diversas, etc.

Exercícios Complementares

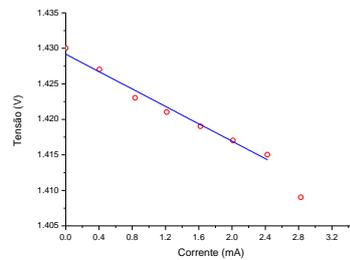
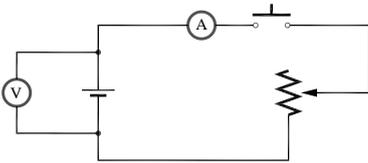
1) Resistência interna de uma pilha

Montamos o circuito da Figura a seguir, utilizando uma pilha como fonte de tensão contínua, um amperímetro em série, uma chave de botão (normalmente aberta), um potenciômetro de 50Ω e um voltímetro em paralelo a pilha.

Inicialmente, medimos a tensão da pilha com a chave do circuito aberta. Depois fechamos o circuito (chave) e, variando a resistência do potenciômetro, determinamos a dependência da tensão da fonte em função da corrente observada no amperímetro, $V(I)$, tal como mostrado na Figura. Ajustado os dados obtivemos:

$$V = 1,43 - 6,7.I$$

com V em unidades de Volts e I em unidades de Ampere



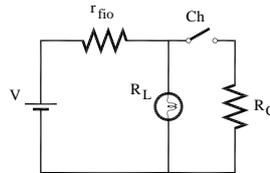
- O comportamento de $V(I)$ está de acordo com o esperado para uma fonte de tensão real (vide Eq.1 da apostila). Caso afirmativo, obtenha os valores de ε e r_i desta pilha.
- Qual a máxima corrente que esta pilha pode fornecer?

2) **Resistência interna** do “eliminador de pilha” – no vídeo o Prof. Eduardo demonstrou qualitativamente que uma fonte barata, conhecida comercialmente como “eliminador de pilha”, pode não se comportar como uma fonte ideal. Para averiguar quantitativamente o comportamento desta fonte, um estudante fez o procedimento análogo ao do exercício anterior, ou seja:

- Mediu a tensão da fonte em aberto (corrente $I = 0$) obtendo $V = 6,75 \text{ V}$.
- Ligou a fonte em série a um amperímetro e uma lâmpada, obtendo $V = 5,9 \text{ V}$ com $I = 15 \text{ mA}$.

- a) A partir destes dados determine ε e r_i desta fonte
 b) Suponha agora que vc ligue esta fonte em um resistor $R = 10 \Omega$. Qual será o valor da corrente neste circuito?

3) Considere o circuito ao lado onde temos uma fonte de tensão, uma lâmpada de resistência R_L , e um chuveiro com resistência R_c . Como a lâmpada e o chuveiro estão bem distantes da fonte a resistência do fio r não é desprezível. Considere que todas as resistências são constantes, ou seja, despreze sua variação devido ao aquecimento.



a) Suponha que $r \ll R_c \ll R_L$. Quando se liga o chuveiro (a chave é fechada) qual a relação entre as tensões na lâmpada e no chuveiro V_L e V_c , respectivamente? Como você compara V_L com a queda de tensão no fio V_r . Como o valor de V_L muda quando a chave é fechada? O brilho da lâmpada muda quando a chave é fechada?

b) Considere o caso em que a fonte pode ser descrita pelo modelo da fonte de tensão real ($V = \varepsilon - r_i \cdot I$) com $\varepsilon = 110V$, $r_i = 0,2\Omega$, uma lâmpada de $100W$, e um chuveiro de $5000W$. Quais os valores de R_L e R_c ? Calcule a potência dissipada na lâmpada com a chave (Ch) aberta. Calcule novamente a potência dissipada na lâmpada quando a chave é fechada.

4) A Figura ao lado representa uma fonte de tensão V_0 ligada a um resistor $R_1 = 100\Omega$, o qual está em série com dois elementos em paralelo entre si: uma resistência $R_2 = 200\Omega$ e um LED.

- a) Sabendo que a tensão medida no LED é $2,2V$ e a tensão em R_1 é $1,8V$, calcule a tensão na fonte.
 b) Se a corrente que passa através de R_1 for $13mA$, calcule a corrente através do LED.

