

vídeo disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=euce-01NPsU&t=449s>

Para relatório você(s) devem responder aos itens escritos em vermelho

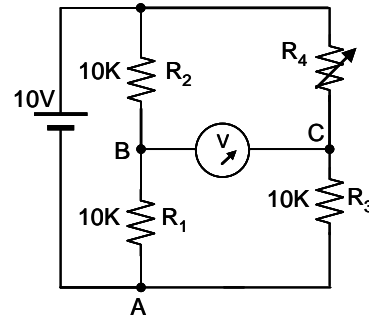
Correção de um valor na tabela (vide em amarelo)

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:

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

estes valores são próximos a 10 KW, 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 K Ω em série com um potenciômetro de 2.2 K Ω . Conseqüentemente, a resistência R_4 varia no intervalo 8.2 – 10.4 K Ω .

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 (K Ω)	V_{BC} (mV)	R_4 (K Ω)	V_{BC} (mV)
10,47	134,90	9,64	-70,9
10,29	89,60	9,56	-96,2
10,10	43,50	9,32	-151,9
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**

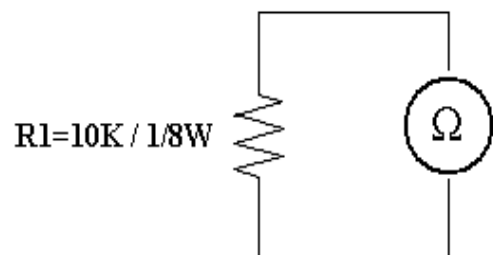
c) **Calcule o valor de R_1 através da condição de balanceamento (eq. acima). Compare este valor com o valor $R_1 = 10.26 \text{ K}\Omega$ (medido com o ohmímetro).**

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 10K Ω /1/8W e meça a sua resistência através de um ohmímetro digital.

Obs: note que o resistor de 1/8W tem uma ϵ pequeno e sua massa é pequena.



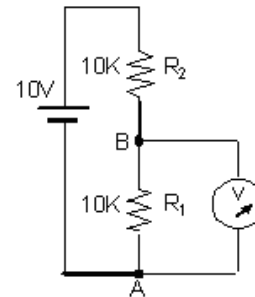
ii) Com o intuito de aquecer o resistor, coloque-o entre seus dedos para aquece-lo.

Aqueça o resistor, usando o circuito da lâmpada L_2 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 R_1 , utilizamos um resistor pequeno ou de pouca massa (1/8W).

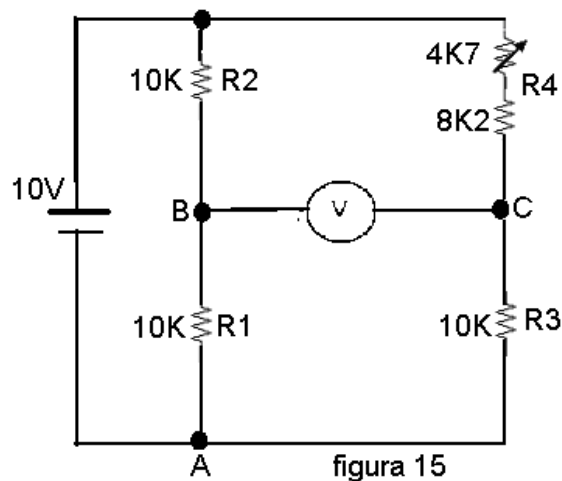
iii) Continuando com a nossa tentativa de medir a variação da resistência do resistor R_1 causada pela mudança da temperatura, projetamos o circuito da Figura ao lado. O resistor R_1 faz agora parte de um divisor de tensão e um voltímetro digital é utilizado para medir a diferença de potencial entre os seus terminais. Supondo que o valor de R_2 se mantenha constante (sua temperatura não varia) como deve variar a tensão V_{R_1} se R_1 variar?



Obtenha uma expressão para a variação da tensão, ΔV_{R_1} , para uma variação de resistência, ΔR_1 , em função de R_1 e da tensão da fonte (V_0). 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 R_1 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 R_4 para que o voltímetro indique $V_{CB} \sim 0V$ (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 R_1 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 R_1 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 R_1 , 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

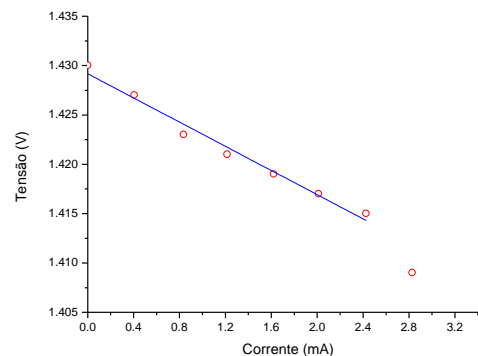
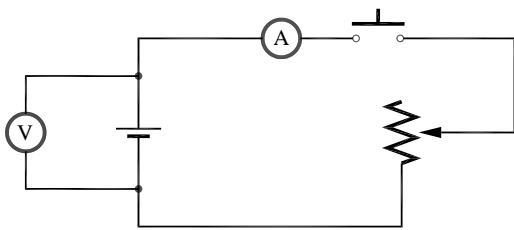
1) Resistência interna de uma pilha

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:

$$V = 1,43 - 6,7 \cdot I$$

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



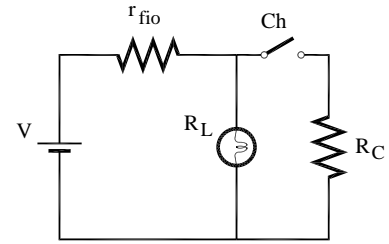
- O comportamento de $V(I)$ está de acordo com o esperado para uma fonte de tensão real (vide Eq.1 da apostila). Caso afirmativo, obtenha os valores de ϵ e r_i desta pilha.
- Qual a máxima corrente que esta pilha pode fornecer?

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 $I = 15 \text{ mA}$.

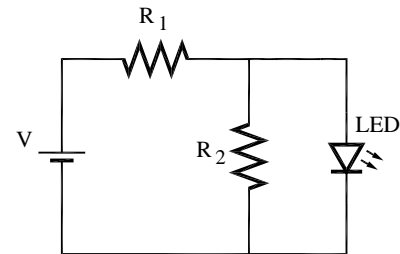
- a) A partir destes dados determine ϵ e r_i desta fonte
- b) Suponha agora que vc ligue esta fonte em um resistor $R = 10 \Omega$. Qual será o valor da corrente neste circuito?

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 ($V = \epsilon - r_i \cdot I$) com $\epsilon = 110V$, $r_i = 0,2\Omega$, 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.