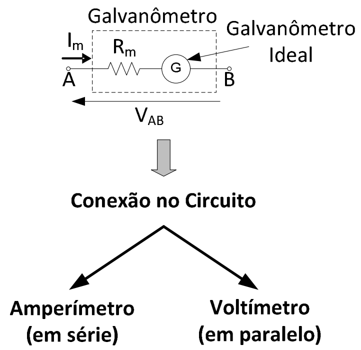
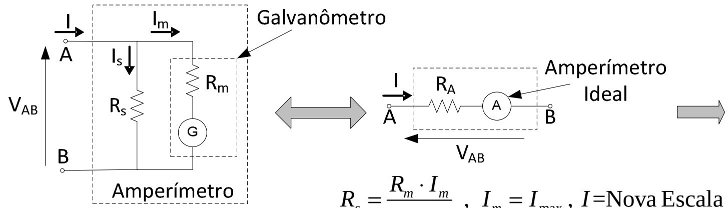
REVISÃO DE MEDIDAS ELÉTRICAS

1 Amperímetros e Voltímetros DC

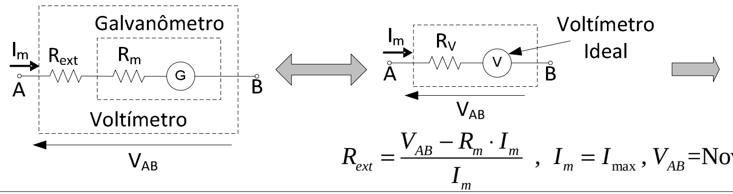
Aumento de Escala





$$R_A = \frac{R_s \cdot R_m}{R_s + R_m}$$

$$R_s = \frac{R_m \cdot I_m}{I - I_m}\ ,\ I_m = I_{max}\ ,\ I = \text{Nova Escala}$$

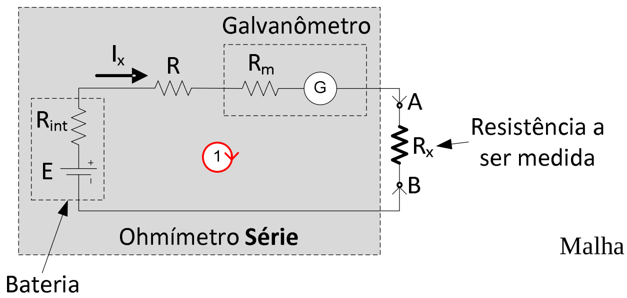


$$R_V = R_{ext} + R_m$$

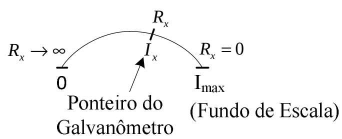
$$R_{ext} = \frac{V_{AB} - R_m \cdot I_m}{I_m}\ ,\ I_m = I_{max}\ ,\ V_{AB} = \text{Nova Escala}$$

2 Ohmímetros

2.1 Ohmímetros Série

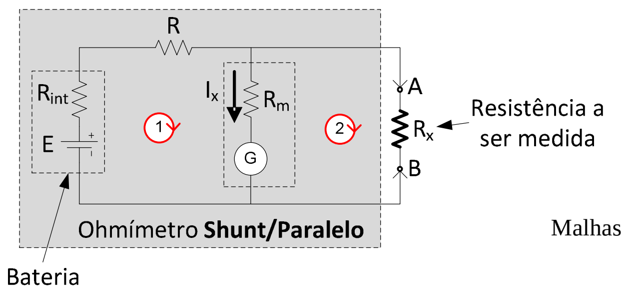


(Escala do Equipamento)

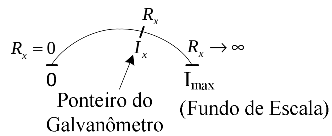


$$\text{Malha 1:}\begin{cases} R_x = \dfrac{E - (R + R_m + R_{int}) \cdot I_x}{I_x} & (\text{Escala do Equipamento}) \\ R = \dfrac{E - (R_m + R_{int}) \cdot I_{max}}{I_{max}} & (\text{Projeto} \to I_x = I_{max}) \end{cases}$$

2.2 Ohmímetros Shunt/Paralelo

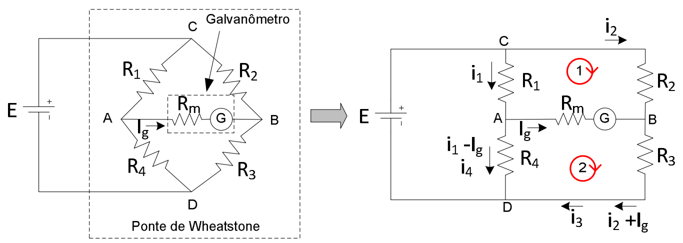


(Escala do Equipamento)



$$\text{Malhas 1 e 2:}\begin{cases} R_x = \dfrac{I_x \cdot R_m \cdot (R + R_{int})}{E - (R + R_{int} + R_m) \cdot I_x} & (\text{Escala do Equipamento}) \\ R = \dfrac{E - (R_m + R_{int}) \cdot I_{max}}{I_{max}} & (\text{Projeto} \to I_x = I_{max}) \end{cases}$$

3 Pontes DC - Ponte de Wheatstone



Malha 1: $R_1 i_1 + R_m I_g = R_2 i_2$

Malha 2: $R_4 (i_1 - I_g) = R_m I_g + R_3 (i_2 + I_g)$

Condição de equilíbrio da Ponte -> I_g=0 A:

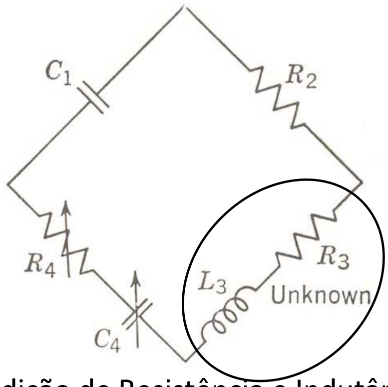
$$\begin{array}{l}\text{Malha 1: } R_1 i_1 = R_2 i_2 \\ \text{Malha 2: } R_4 i_1 = R_3 i_2\end{array} \Rightarrow \frac{R_1 i_1}{R_4 i_1} = \frac{R_2 i_2}{R_3 i_2} \Rightarrow \frac{R_1}{R_4} = \frac{R_2}{R_3} \Rightarrow R_2 R_4 = R_1 R_3$$

Propriedade da Ponte para I_g=0 A

4 Pontes AC

4.1 Ponte de Owen

Ponte de Owen



Medição de Resistência e Indutância

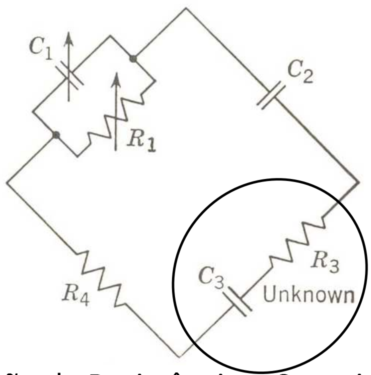
$$Z_1 = -j\frac{1}{\omega C_1}$$
$$Z_2 = R_2$$
$$Z_3 = R_3 + j\omega L_3$$
$$Z_4 = R_4 - j\frac{1}{\omega C_4}$$

$$\Rightarrow \quad Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \begin{cases} R_3 = \dfrac{R_2 \cdot C_1}{C_4} \\ L_3 = R_2 \cdot R_4 \cdot C_1 \end{cases}$$

Obs: medir somente indutância: tirar C_4

4.2 Ponte de Schering

Ponte de Schering



Medição de Resistência e Capacitância

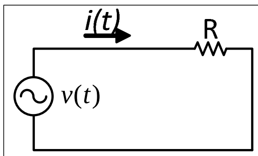
$$Z_1 = \frac{-jR_1}{\omega C_1 \cdot R_1 - j}$$
$$Z_2 = -j\frac{1}{\omega C_2}$$
$$Z_3 = R_3 - j\frac{1}{\omega C_3}$$
$$Z_4 = R_4$$

$$\Rightarrow \quad Z_1 \cdot Z_3 = Z_2 \cdot Z_4 \begin{cases} R_3 = \dfrac{R_4 \cdot C_1}{C_2} \\ C_3 = \dfrac{R_1 \cdot C_2}{R_4} \end{cases}$$

Obs: medir somente capacitância: tirar C_1

5 Medidas de Grandezas Elétricas Periódicas

5.1 Valor Médio de Potência e Valor Eficaz ou RMS de Correntes e Tensões



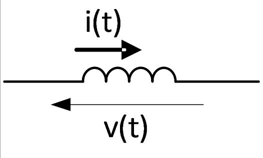
$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^T p(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot i(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T v(t)\cdot\frac{v(t)}{R}\,dt = \frac{1}{R}\left(\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\cdot dt\right)$$

$$\Rightarrow \overline{P} = \frac{V_{RMS}{}^2}{R} \Leftrightarrow V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\,dt} \qquad \overline{P} = R\cdot I_{RMS}{}^2 \Leftrightarrow I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2\,dt}$$

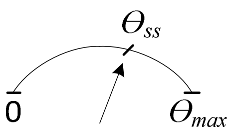
Corrente eficaz com distorção Harmônica

$$I_{RMS} = \sqrt{\sum_{h=1}^{nh} I_h^2}$$

5.2 Amperímetros e Voltímetros de Bobina Móvel



Bobina do Galvanômetro



Ponteiro do Galvanômetro

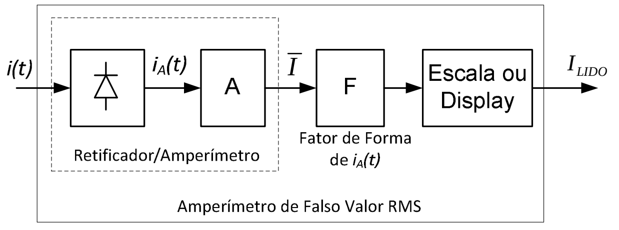
$$\theta ss = \frac{1}{K}\cdot\left[\frac{1}{T}\int_0^T i(t)\,d(t)\right]$$

$$\theta ss = \frac{1}{K}\cdot\left[\frac{1}{T}\int_0^T v(t)\,d(t)\right]$$

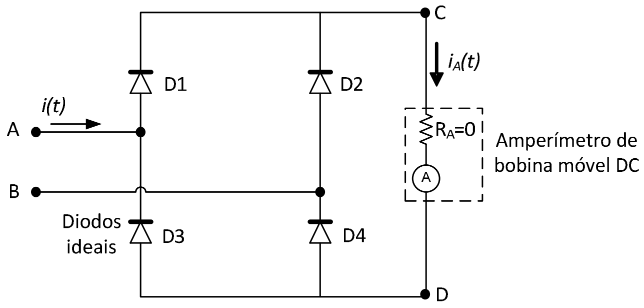
$$K = \frac{S}{N\cdot B\cdot L\cdot W} \quad \text{(constante)}$$

O ponteiro do instrumento desloca de um ângulo proporcional aos Valores Médios de Tensão e Corrente

5.3 Amperímetros e Voltímetros de Falso Valor RMS



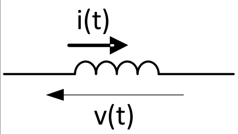
$F = \frac{I_{RMS}}{\overline{I}}$ (Fator de Forma) $F = \frac{\pi}{2\sqrt{2}}$ (Ondas puramente senoidais)



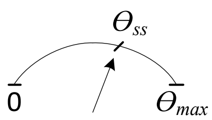
Retificador/Amperímetro

Nota: Devido ao fato de que este instrumento mede o valor RMS a partir da definição do Fator de Forma da corrente que circula no amperímetro, e não da definição de valor RMS, o mesmo é denominado amperímetro/voltímetro de Falso Valor RMS.

5.4 Amperímetros e Voltímetros de Ferro Móvel ou Valor RMS verdadeiro (*True RMS*)



Instrumento True RMS



Ponteiro do Instrumento True RMS

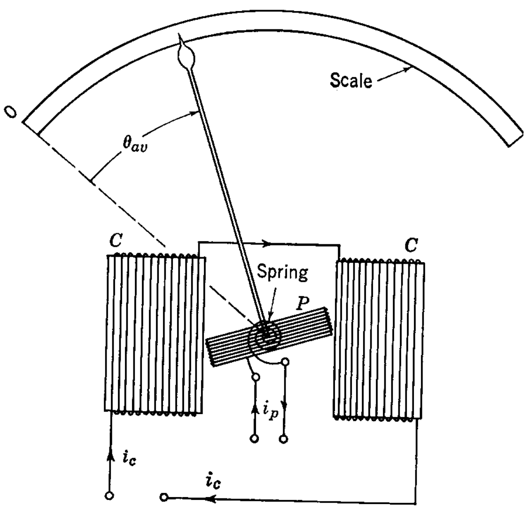
$$\theta ss = \frac{1}{K \cdot S}\left(\frac{1}{T}\int_0^T i(t)^2\,dt\right) = \frac{1}{K \cdot S}\left(I_{RMS}\right)^2$$

$$\theta ss = \frac{1}{K \cdot S}\left(\frac{1}{T}\int_0^T v(t)^2\,dt\right) = \frac{1}{K \cdot S}\left(V_{RMS}\right)^2$$

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial L}{\partial \theta}\right) \text{ (constante)}$$

O ponteiro do instrumento desloca de um ângulo proporcional aos Valores Eficazes ao Quadrado de Tensão e Corrente

5.5 Wattímetros

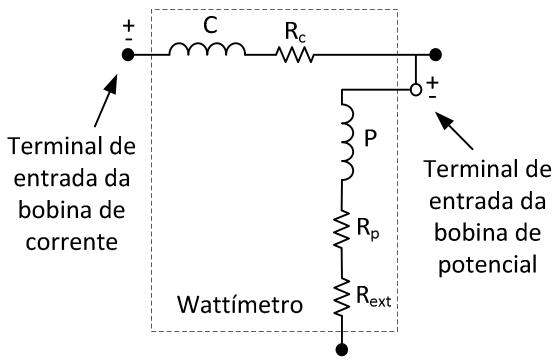


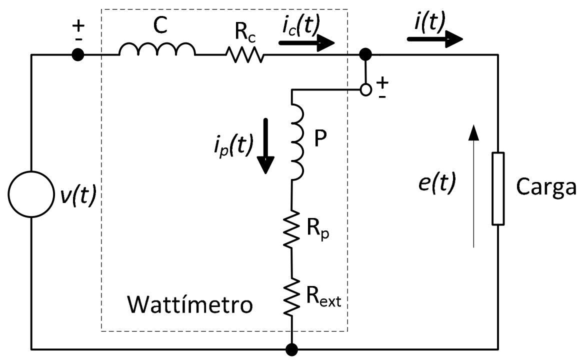
Instrumento Eletrodinâmico

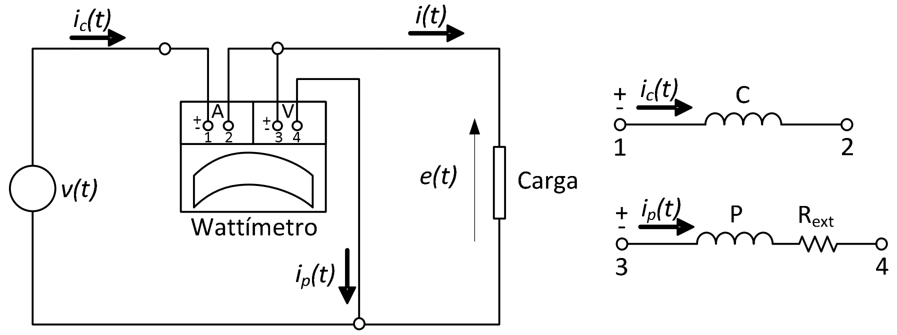
$$\theta_{av} = \frac{1}{k} \cdot \left(\frac{1}{T}\int_0^T i_c \cdot i_p \cdot dt\right)$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{S} \cdot \frac{\delta M}{\delta \theta} \quad \text{(constante)}$$

Wattímetro Ligação A







$$\theta_{av} = \frac{1}{k}\cdot\left(\frac{1}{T}\int_0^T i_c(t)\cdot i_p(t)\cdot dt\right)$$

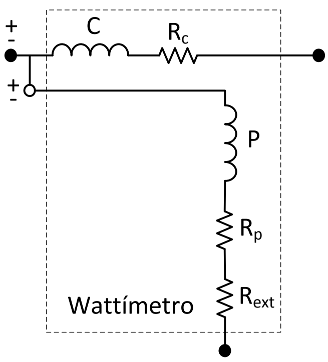
$$i_c(t) = i_p(t) + i(t)$$

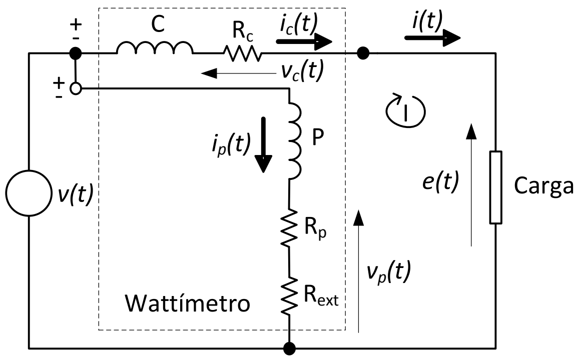
$$i_p(t) = \frac{e(t)}{R_p + R_{ext}}$$

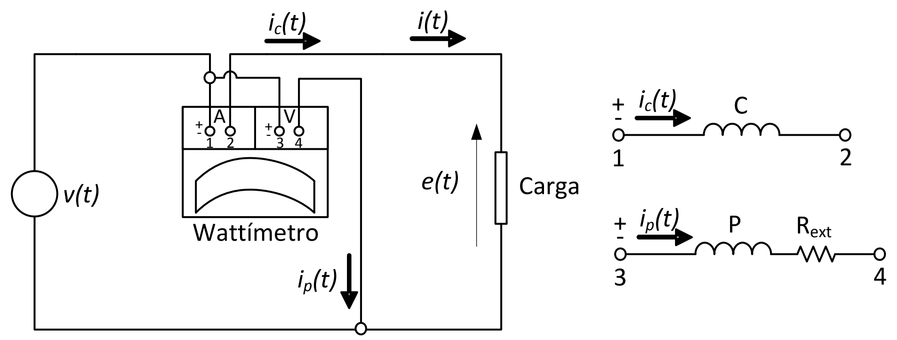
$$\Rightarrow \quad \theta_{av} = \frac{1}{k\cdot\left(R_p + R_{ext}\right)}\cdot\left[\underbrace{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T \frac{e(t)^2}{\left(R_p + R_{ext}\right)}\cdot dt}_{P_{dA}} + \underbrace{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)\cdot i(t)\cdot dt}_{P_{av}}\right]$$

$$P_{dA} = \frac{1}{k\cdot\left(R_p + R_{ext}\right)}\cdot\left[\frac{E_{RMS}{}^2}{\left(R_p + R_{ext}\right)}\right]$$

Wattímetro Ligação B







$$\theta_{av} = \frac{1}{k}\cdot\left(\frac{1}{T}\int_0^T i_c(t)\cdot i_p(t)\cdot dt\right)$$

$$i_p(t) = \frac{e(t) + R_c\cdot i_c(t)}{R_p + R_{ext}} \text{ (Malha I)}$$

$$\Rightarrow \quad \theta_{av} = \frac{1}{k\left(R_p + R_{ext}\right)}\cdot\left[\underbrace{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T e(t)\cdot i_c(t)\cdot dt}_{P_{av}} + \underbrace{\frac{1}{T}\cdot\int_0^T R_c\cdot i_c(t)^2\cdot dt}_{P_{dB}}\right]$$

$$P_{dB} = \frac{1}{k\left(R_p + R_{ext}\right)}\cdot R_c\cdot I_{RMS}{}^2$$

Questões ENADE (2008 e 2011)

27) (ENADE 2008) A força eletromotriz (f.e.m.) de um termopar metal (A)-chumbo (B) é calculada pela fórmula:

$$\varepsilon_{AB} = \alpha\, t + \frac{1}{2}\beta\, t^2$$

onde

• A representa um metal qualquer e B, o chumbo, considerado como metal de referência;

• α e β são constantes cujos valores encontram-se na tabela abaixo;

• t é a diferença de temperatura da junção sob teste, em relação a 0^o C.

Metal	α ($\mu V/^oC$)	β ($\mu V/^oC^2$)
Alumínio	–0,47	0,003
Cobre	2,76	0,012
Platina	–1,79	–0,035
Ferro	16,6	–0,030

Considerando a medida efetuada em uma junção a 100 ^oC com um termopar alumínio-ferro (ε_{Al-Fe}), a f.e.m., em mV, é:

(A) 1,542 (B) 1,478 (C) -1,478 (D) -1,542 (E) -1,842

Resp. D

04) (Discursiva-ENADE 2011) Um forno com aquecimento resistivo tem um controle de temperatura do tipo liga-desliga (figura I). Esse comando é realizado a partir de um sensor de temperatura, cujo comportamento é ilustrado no gráfico da figura II. Quando a temperatura atinge 100 ^oC, a alimentação do forno é interrompida. Quando se reduz a 90^oC, o forno é ligado. A resistência Rx é um termistor, ou seja, o valor de sua resistência varia com a temperatura de acordo com o gráfico da figura II.

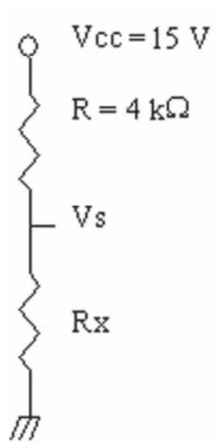


Figura I

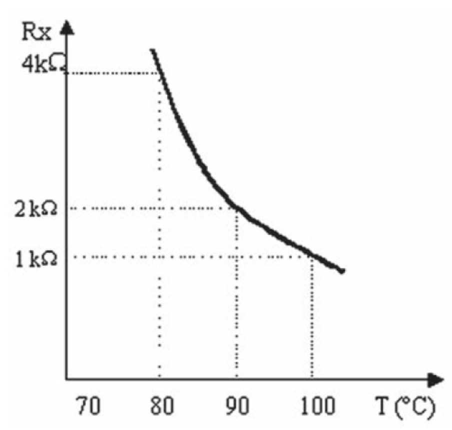


Figura II

Com base nessa situação, faça o que se pede nos itens a seguir.

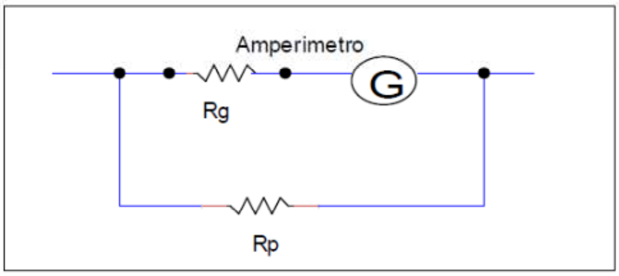
a) Determine o valor da tensão Vs que corresponde ao limite inferior de temperatura de operação do forno. (valor: 3,0 pontos) - Resp. Vs=5V

b) Determine a corrente fornecida pela fonte Vcc, quando a temperatura é máxima. (valor: 3,0 pontos) – Resp. Icc=3mA

c) Se a tensão Vcc tiver que ser substituída por uma bateria de 9 V, qual o novo valor de R para que a temperatura máxima do forno não seja alterada? Justifique sua resposta. (valor: 4,0 pontos)- Resp. 2kΩ

Questões Diversas para Revisão

1) Considere o circuito ilustrado abaixo, onde em um galvanômetro G, com resistência Rg de 20 ohms, uma corrente de 5 x 10^{-4} A provoca o desvio sobre toda a escala do galvanômetro. Sabendo-se que o amperímetro usa esse galvanômetro, calcule o valor aproximado da resistência em paralelo Rp que indique 5 A na escala inteira. Resp. Rp=$2x10^{-3}$ Ω



2) Um galvanômetro tem resistência interna de Rg=2,5 kΩ e pode medir diretamente intensidades de corrente até 50 µA. Como devemos adaptar esse galvanômetro para medir tensões de até 20 V ? Resp. R=397,5 kΩ em série.

3) Um galvanômetro de bobina móvel possui uma **resistência interna de 9,9Ω**. Quando este instrumento é utilizado para medir correntes de até **5A** uma resistência ***shunt*** **de 0,1Ω** deve ser utilizada. Nestas condições pede-se:

a) Calcule a corrente de fundo de escala do **galvanômetro**; Resp. I=50mA

b) Que **resistência** deveria ser utilizada e como ela deveria ser ligada, caso o **galvanômetro** fosse empregado como **voltímetro** para medir até **50V** ? Resp. R=990,1Ω em série.

4) Considere que há disponível uma **fonte de tensão de 9V** com **resistência interna desprezível**, um galvanômetro de bobina móvel de **fundo de escala de 10mA**, com uma **resistência interna de 50Ω**. Nestas condições pede-se:

a) Desenhe o **circuito**, a **escala** e faça o **projeto** de um **ohmímetro série**; R(projeto)=850 Ω.

b) Desenhe o **circuito**, a **escala** e faça o **projeto** de um **ohmímetro shunt**. R(projeto)=850 Ω.

5) A resistência de um resistor pode ser medida utilizando-se um voltímetro e um amperímetro. Quando o voltímetro é ligado diretamente nos terminais do resistor, as leituras do voltímetro e amperímetro são respectivamente, 50 V e 0,55 A (Figura I). Quando o voltímetro é ligado de acordo com a Figura II, as leituras são 54,3 V e 0,54 A, respectivamente. Sabe-se que a resistência do voltímetro é 1000 Ω. Nessas condições, pede-se o valor de resistências do resistor e do amperímetro. Resp. 100Ω e 0,56Ω

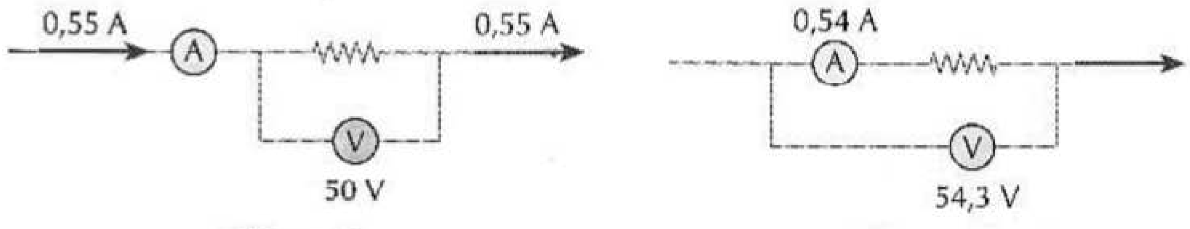
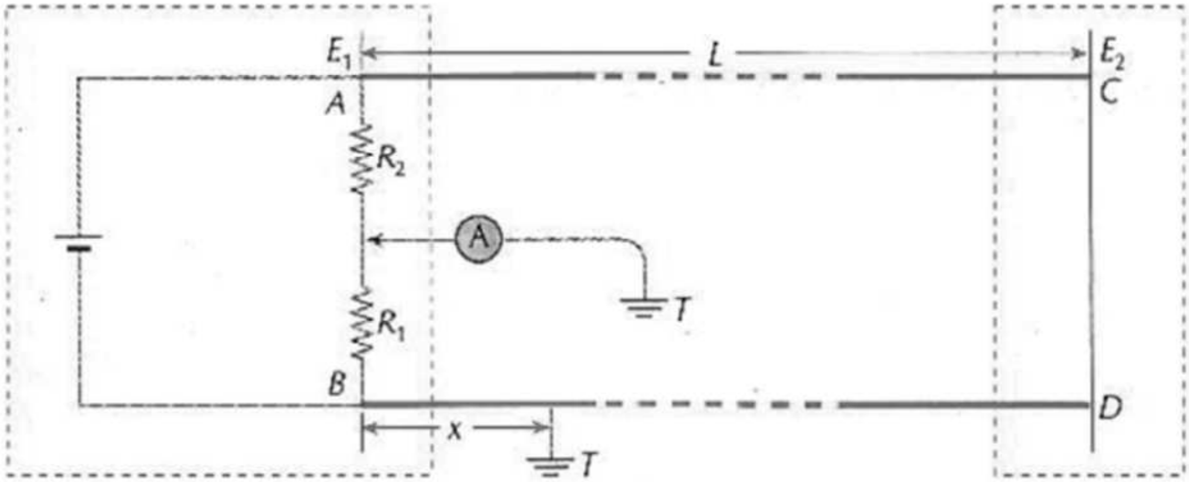
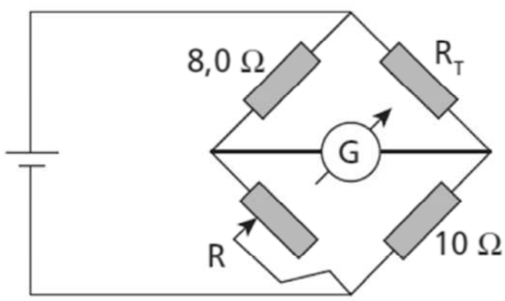


Figura I Figura II

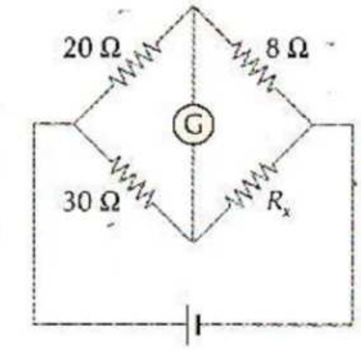
6) Uma linha telefônica constituída por um par de fios idênticos liga entre si as estações E_1 e E_2, distantes L=30 km. Em determinado ponto, a linha está defeituosa, com um dos fios fazendo contato com a terra. Para localizar o defeito, efetuou-se a ligação esquematizada na figura a seguir, curto-circuitando C e D na estação E_2 e ajustando o cursor, de modo que o amperímetro, na estação E_1, não indique passagem de corrente. As ligações com a terra são excelentes, isto é, equivalentes à introdução no circuito de uma resistência elétrica nula. Sendo R_1=1,5 kΩ e R_2=3 kΩ, calcule a distância **x** do ponto de defeito à estação E_1. Resp. x=20km

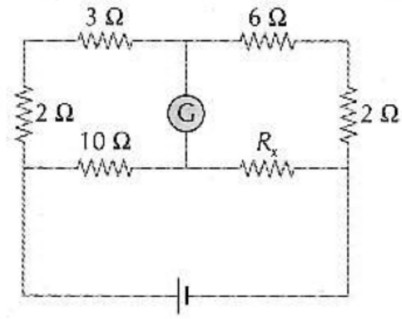


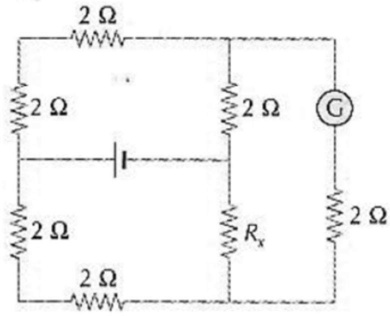
7) O circuito da figura a seguir, conhecido como ponte de Wheatstone, está sendo utilizado para determinar a temperatura do óleo de um reservatório, no qual está inserido um resistor de fio de tungstênio R_T. O resistor variável R é ajustado automaticamente de modo a manter a ponte sempre em equilíbrio, passando de 4,0 Ω para 2,0 Ω. Sabendo que a resistência varia linearmente com a temperatura e que o coeficiente linear de temperatura para o tungstênio vale $\alpha = 4{,}0 \times 10^{-3}\ {}^{o}C^{-1}$, qual é a variação da temperatura do óleo ? Resp. 250°C



8) Nos circuitos das figuras abaixo o galvanômetro G indica zero. Calcule o valor da resistência elétrica R_x. Resp. a) Rx=12Ω; b) Rx=16Ω; c) Rx=2Ω

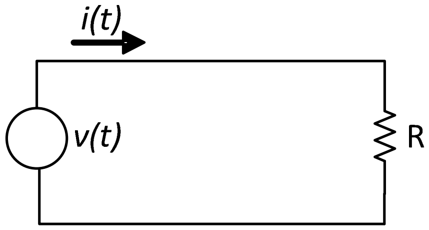






a) b) c)

9) Considere que a tensão no circuito da figura a seguir é dada por $v(t) = V_o \cdot sen(\omega \cdot t)$. Nestas condições pede-se:



a) Determine o valor RMS da corrente i(t) na resistência R;
b) Determine o valor da corrente i(t) medida por um amperímetro de bobina móvel ideal;
c) Determine o valor da corrente i(t) medida por um amperímetro de ferro móvel ideal;
d) Determine o valor da corrente i(t) medida por um amperímetro de falso valor RMS ideal;
e) Insira um wattímetro no circuito de modo a medir a potência ativa da carga. Despreze as reatâncias e as perdas das bobinas C e P. Considere que o wattímetro possui uma resistência externa Rext na bobina de potencial. Obtenha a expressão para o deslocamento angular do ponteiro do wattímetro e calcule a potência média fornecida para a carga e a potência média dissipada em Rext.

Respostas:

a) $I_{RMS} = \dfrac{V_o}{\sqrt{2} \cdot R}$ ou $I_{RMS} = \dfrac{I_o}{\sqrt{2}}$;

b) $I_{Lido} = \overline{I} = 0$;

c) $I_{RMS} = \dfrac{V_o}{\sqrt{2} \cdot R}$ ou $I_{RMS} = \dfrac{I_o}{\sqrt{2}}$;

d) $I_{Lido} = \overline{I}_{retif.} \cdot F = \dfrac{2 \cdot V_o}{\pi \cdot R} \cdot \dfrac{\pi}{2\sqrt{2}} = \dfrac{V_o}{\sqrt{2} \cdot R} = \dfrac{I_o}{\sqrt{2}}$

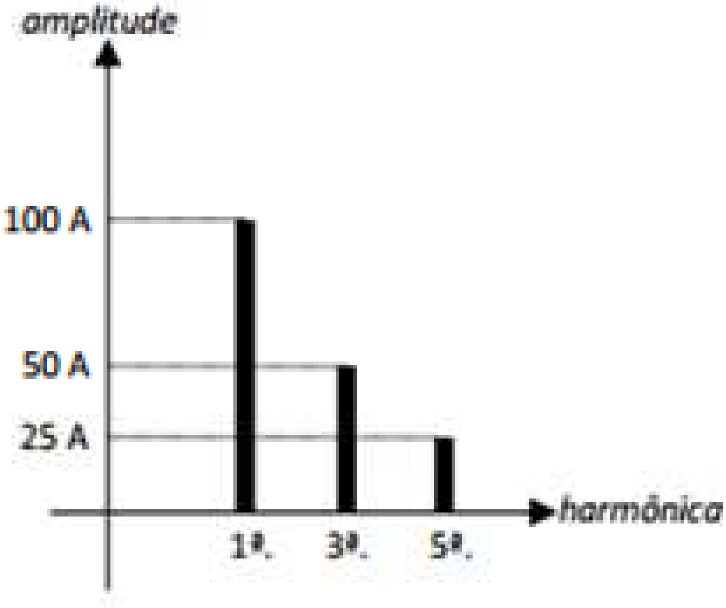
e)

$$\theta_{av} = \frac{1}{K \cdot \mathrm{R_{ext}}} \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \frac{V_o^2}{R} + \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o^2}{\mathrm{R_{ext}}} \right] = \frac{1}{K \cdot \mathrm{R_{ext}}} \cdot \left[\frac{V_{RMS}^2}{R} + \frac{V_{RMS}^2}{\mathrm{R_{ext}}} \right]$$

$$\overline{P} = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o^2}{R} = \frac{V_{RMS}^2}{R}$$

$$P_d = \frac{1}{2} \cdot \frac{V_o^2}{R_{\mathrm{ext}}} = \frac{V_{RMS}^2}{R_{\mathrm{ext}}}$$

10) A corrente, em um determinado condutor, apresenta o espectro harmônico representado na figura abaixo.



Assinale a alternativa que apresenta o valor eficaz mais aproximado da corrente elétrica quando essa for medida com o emprego de um amperímetro “*true rms*”

(A) 9A (B) 58A (C) 81A (D) 114A (E) 123A Resp. (C)