

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
 EEL7045 – Circuitos Elétricos A - Laboratório

**AULA 10**  
**POTÊNCIA MONOFÁSICA**

## 1 INTRODUÇÃO

Em um circuito de corrente alternada, a potência instantânea num componente é o produto da tensão pela corrente nesse componente. No entanto, se a carga não for resistiva pura, então entre a tensão e corrente haverá uma defasagem, o que implicará num fator de potência diferente da unidade. Isto quer dizer que a potência efetivamente transformada em trabalho pela carga não é igual à potência aparente fornecida pela fonte de energia elétrica.

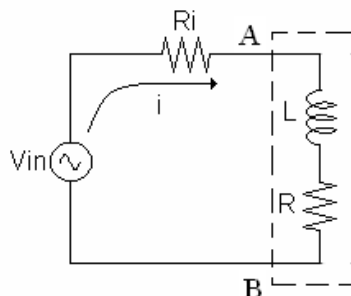
Nesta aula iremos estudar:

- Conceitos de potência instantânea, potência ativa, potência reativa e fator de potência;
- Instrumentos de medida eletrodinâmicos e wattímetros, que se destinam a medir potências ativas em circuitos de corrente alternada;

## 2 POTÊNCIA CONSUMIDA PELA CARGA

### 2.1 Potência Instantânea e Fator de Potência

Considere o circuito da Figura 1.



- $v_{in}(t) = 5 \cos(\omega t)$  ;
- $R_i = 50 \Omega$ ;
- $f = 180 \text{ Hz}$  ;
- $R = 56 \Omega$ ;
- $L = 100 \text{ mH}$  ;

Figura 1: Circuito RL.

A tensão na carga do circuito é igual a  $V_{AB}$ . A forma de onda dessa tensão é:

$$v_{AB}(t) = V_{AB} \cos(\omega t + \delta_{AB})$$

sendo  $\delta_{AB}$  o ângulo de  $V_{AB}$  medido pelo osciloscópio tomando como referência  $V_{in}$ .

A corrente que a carga consome é:

$$i = \frac{V_R}{R} \angle \delta_R$$

sendo  $\delta_R$  o ângulo de  $V_R$  medido pelo osciloscópio tomando como referência a tensão da fonte. A forma de onda da corrente é:

$$i(t) = \frac{V_R}{R} \cos(\omega t + \delta_R)$$

O ângulo do fator de potência,  $\phi$ , é a defasagem entre a tensão e a corrente na carga:

$$\phi = \delta_{AB} - \delta_R.$$

A potência instantânea consumida pela carga é

$$s(t) = v_{AB}(t) \cdot i(t) = V_{AB} \cos(\omega t + \delta_{AB}) \cdot \frac{V_R}{R} \cos(\omega t + \delta_R)$$

A expressão anterior pode ser reescrita como:

$$s(t) = V_{AB}^{ef} I^{ef} \cos \phi [1 - \cos 2(\omega t + \delta_R)] + V_{AB}^{ef} I^{ef} \sin \phi \sin 2(\omega t + \delta_R)$$

onde  $V_{AB}^{ef}$  e  $I^{ef}$  são os valores eficazes da tensão e da corrente.

Podemos dizer que:

$$I^{ef} \cos \phi = I_R \Rightarrow \text{corrente absorvida por } R$$

$$I^{ef} \sin \phi = I_X \Rightarrow \text{corrente absorvida por } X$$

Então  $s(t)$  é composta por uma componente consumida no resistor,  $p_R(t)$ , e outra consumida no indutor,  $p_X(t)$ :

$$s(t) = p_R(t) + p_X(t)$$

$$\text{onde } p_R(t) = V_{AB}^{ef} I^{ef} \cos \phi [1 - \cos 2(\omega t + \delta_R)]$$

$$p_X(t) = V_{AB}^{ef} I^{ef} \sin \phi \sin 2(\omega t + \delta_R)$$

## 2.2 Potência Ativa, Potência Reativa e Potência Aparente

A potência ativa consumida por uma carga é igual à potência instantânea média:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T s(t) dt, \quad T = \text{período}$$

ou

$$P = \underbrace{\frac{1}{T} \int_0^T V_{AB}^{ef} I^{ef} \cos \phi [1 - \cos 2(\omega t + \delta_R)] dt}_{= V_{AB}^{ef} I^{ef} \cos \phi} + \underbrace{\int_0^T V_{AB}^{ef} I^{ef} \sin \phi \sin 2(\omega t + \delta_R) dt}_{=0}$$

Então a potência ativa (em watts) é o valor médio da potência instantânea consumida pelo resistor. Seu valor é:

$$P = V_{AB}^{ef} \cdot I^{ef} \cos \phi \text{ W}$$

A potência reativa  $Q$  (em volt-ampére reativo) é igual à amplitude da parcela de  $s(t)$  consumida pelo indutor. Portanto,

$$Q = V_{AB}^{ef} \cdot I^{ef} \sin \phi \text{ Var}$$

A potência aparente (em volt-ampére) é:

$$S = V_{AB}^{ef} \cdot I^{ef} \text{ VA}$$

O fator de potência é a relação entre a potência ativa e a potência aparente:

$$FP = \frac{P}{S}$$

Para cargas lineares, o fator de potência nada mais é do que o cosseno do ângulo de defasagem entre a tensão e a corrente. Portanto:

$$FP = \cos(\phi)$$

No entanto, quando a corrente de entrada não é senoidal (cargas não-lineares), esta definição particular de fator de potência não pode ser aplicada.

**Prática:** Monte o circuito da Figura 1. Com o osciloscópio:

- Visualize a tensão na fonte no Canal 1 e ajuste sua amplitude e frequência no valor requerido.
- Visualize a tensão entre os pontos A e B ( $V_{AB}$ ) no Canal 2. Meça a magnitude, o ângulo de fase e a frequência de  $V_{AB}$  (use como referência o sinal do Canal 1).
- Visualize agora a tensão no resistor R ( $V_R$ ) no Canal 2. Meça a magnitude, o ângulo de fase e a frequência de  $V_R$  (use como referência o sinal do Canal 1).
- Visualize  $V_{AB}$  no canal 1 e  $V_R$  no canal 2 do osciloscópio. Pressione o botão **Matem.** Escolha a opção multiplicação – CH1 x CH2 – e visualize a função resultante na tela do osciloscópio.
- Com o osciloscópio, meça as grandezas indicadas na Tabela 1

Tabela 1 – Medidas para o circuito da Figura 1.

Grandeza	Amplitude	Valor Eficaz	Valor. Médio	Ângulo	Frequência
Tensão $V_{in}$					
Tensão $V_{AB}$					
Tensão $V_R$					
Potência instantânea (*)		-----		-----	

(\*) Dividir o valor medido por  $R$

Com as medidas realizadas:

- Calcule a potência ativa, a potência reativa e a potência aparente consumida pela carga.
- Calcule o fator de potência da carga.
- Calcule a amplitude e a frequência de  $s(t)$  usando a expressão matemática fornecida anteriormente e compare com os valores medidos.
- Pode-se afirmar que este circuito é predominantemente indutivo. Argumente em favor desta hipótese.

### 3 MEDIDA DE POTÊNCIA ATIVA COM O WATTÍMETRO

#### 3.1 Instrumento eletrodinâmico

A Figura 2 apresenta o esquema de um instrumento eletrodinâmico, que apresenta as seguintes partes principais:

- Bobina fixa  $B_c$ , constituída de duas meias bobinas idênticas (bobina de corrente);
- Bobina móvel,  $B_p$ , à qual está preso o ponteiro (analógico) ou um mecanismo de relojoaria (digital), colocado entre as duas meias bobinas (bobina de potencial);
- Mola restauradora.

#### 3.2 Wattímetro

O wattímetro é um instrumento de medição que utiliza o princípio eletrodinamométrico. A bobina fixa ou de campo, é utilizada em série com a carga. A bobina móvel ou de potencial, é utilizada em paralelo com a carga.

A Figura 3 mostra as ligações para medir a potência consumida por uma carga  $Z$ .

A corrente que circula pela bobina de campo é a corrente de carga ( $i$ ). A corrente  $i_p$  (fator muito pequeno) é praticamente  $e/R$ . Assim, o conjugado sobre a bobina móvel depende do produto da densidade de fluxo do campo (produzido pela bobina de corrente) e da corrente da bobina móvel (bobina de potencial). Uma vez que  $i_p \approx e/R$ , o conjugado motor depende do produto  $e \times i$ ; se  $e$  e  $i$  variarem no tempo (senoidais) o conjugado motor também variará; se as variações de  $e$  e  $i$  forem muito rápidas (na prática é 60 HZ), a bobina móvel não poderá acompanhar este conjugado variável, tomando uma posição tal que o conjugado resistente da mola restauradora (ou molas) se iguale ao valor médio do conjugado motor produzido pela ação eletromagnética. Uma vez que o conjugado motor depende de  $e \times i$ , o conjugado motor médio é proporcional à potência média, ou potência ativa.

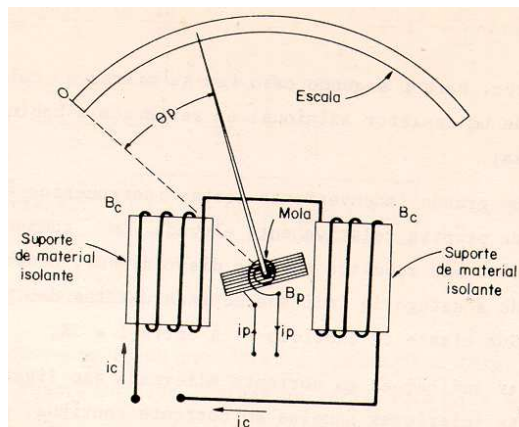


Figura 2 - Esquema básico do instrumento eletrodinâmico.

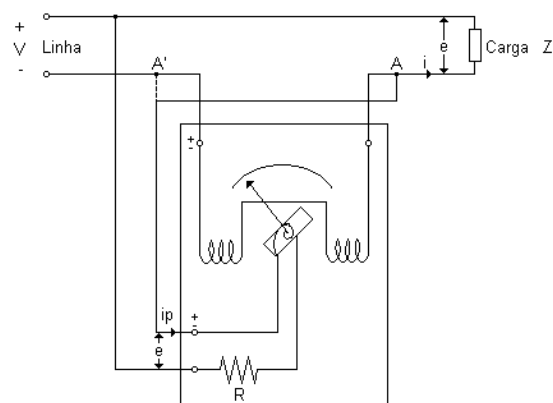


Figura 3 - Esquema básico de ligação de um wattímetro.

Conjugado motor instantâneo  $\approx v(t) \cdot i(t)$

$$\text{Conjugado médio} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) dt$$

Para o caso de ondas senoidais (cargas lineares), com ângulo de defasagem  $\phi$  entre a tensão e a corrente, tem-se que:

$$P_{\text{média}} = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) \cdot i(t) = V_{ef} \cdot i_{ef} \cdot \cos(\phi)$$

Portanto, o wattímetro terá sua escala graduada em Watts.

A Figura 3 mostra os detalhes das ligações de um wattímetro. Existem em um dos terminais da bobina de potencial e em um dos terminais da bobina de corrente uma marca + ou ↓. Esses dois terminais devem ser conectados ao mesmo ponto do circuito. Se o ponteiro (caso analógico) lê para trás, as ligações devem ser invertidas.

### 3.3 Medida de potência com o wattímetro

Realize as conexões indicadas na Figura 4 e meça a potência consumida pelas lâmpadas (carga), a tensão eficaz e a corrente eficaz das lâmpadas.

Registre os valores na Tabela 2. É importante anotar a classe dos instrumentos novos que estão sendo utilizados, além do erro de leitura e o valor de fundo de escala.

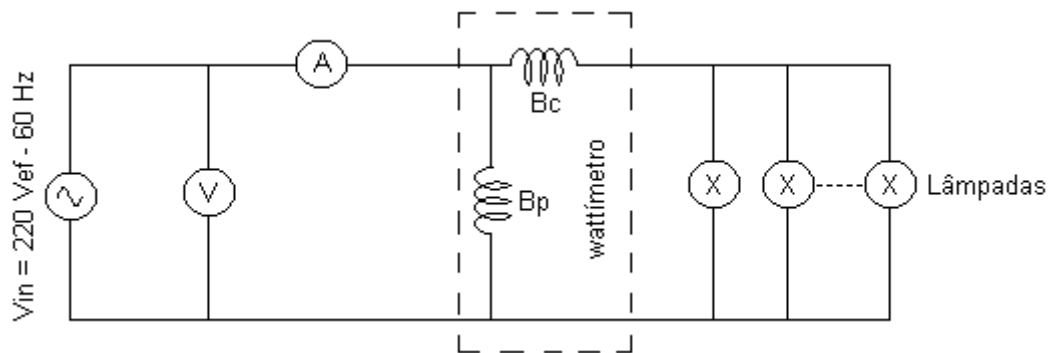


Figura 4 – Medida de Potência com Wattímetro.

Tabela 2 – Medidas e dados para o circuito da Figura 6.

Instrumento	Medida	Fundo de escala	Índice de classe	Erro de leitura
Wattímetro				
Amperímetro				
Voltímetro				

Após realizar as medidas:

- Calcule os erros nas medidas de tensão e corrente (erro de classe + erro de leitura).
- Calcule a potência ativa do circuito usando as medidas do voltímetro e amperímetro.
- Calcule o erro propagado para a potência calculada no item “b”.

$$\Delta x = \left| \frac{\partial x}{\partial a} \right| \Delta a + \left| \frac{\partial x}{\partial b} \right| \Delta b + \left| \frac{\partial x}{\partial c} \right| \Delta c + \dots + \left| \frac{\partial x}{\partial q} \right| \Delta q$$

- Calcule o erro relativo percentual entre a medida de potência com o wattímetro e a calculada no item “b”. Considere a medida do wattímetro o valor verdadeiro.

Obs.: Como o fator de potência é unitário a potência medida pelo wattímetro é igual à leitura do voltímetro multiplicada pela leitura do amperímetro.