

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**  
EEL7040 – Circuitos Elétricos I - Laboratório

**AULA 07**  
**POTÊNCIA MONOFÁSICA E FATOR DE POTÊNCIA**

## 1 INTRODUÇÃO

A análise de circuitos em corrente alternada é fundamental para um engenheiro eletricitista, visto que os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica são feitos com tensões alternadas e comumente na frequência de 60 Hz.

A potência instantânea continua sendo o produto da tensão pela corrente no elemento de circuito. 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 têm-se como objetivos estudar os instrumentos de medida eletrodinâmicos e os wattímetros, construídos com estes instrumentos e que se destinam a medir potências ativas em circuitos de corrente alternada. Além disso, será verificado na prática o conceito de correção de fator de potência.

## 2 INSTRUMENTOS DE MEDIDAS

### 2.1 Instrumento eletrodinâmico

A figura 1 apresenta o esquema de um instrumento eletrodinâmico. O wattímetro, instrumento para medir potência ativa (Watts) é um instrumento eletrodinâmico.

O instrumento eletrodinâmico 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.

### 2.2 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 2 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.

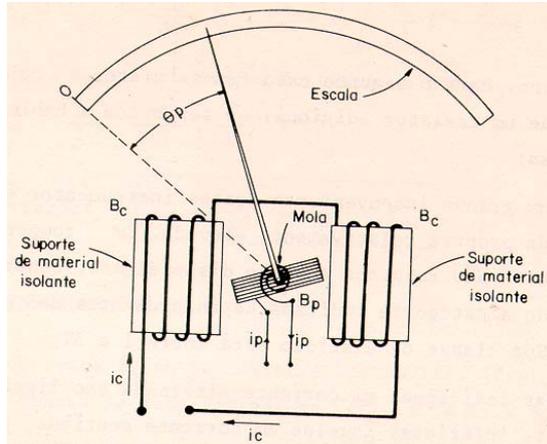


Figura 1 - Esquema básico do instrumento eletrodinâmico.

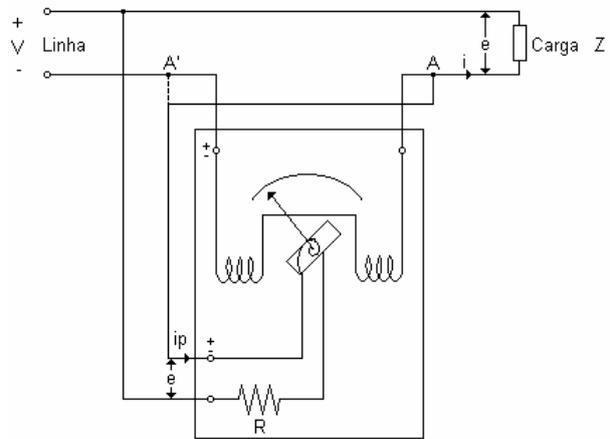


Figura 2 - Esquema básico de ligação de um wattímetro.

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

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

Onde T = período das ondas  $v(t)$  e  $i(t)$ .

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

$$v(t) = \sqrt{2} \cdot V_{ef} \cdot \text{sen}(\omega t) \quad ; \quad i(t) = \sqrt{2} \cdot i_{ef} \cdot \text{sen}(\omega t + \phi)$$

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

Portanto, o wattímetro terá sua escala graduada em Watts.

A figura 2 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.

### 2.3 Transformadores de medidas

O uso de transformadores de medidas permite a ampliação ou redução das escalas dos instrumentos. Existem dois tipos de transformadores de medidas.

- Transformadores de corrente (TC);
- Transformadores de potencial (TP).

O primário do transformador de corrente é ligado em série com o circuito cuja corrente se deseja medir. O TC possui um pequeno número de espiras, com fio de grande seção, tendo, portanto, baixa impedância. Como as cargas ligadas ao secundário de um TC

têm impedância muito baixa, seu funcionamento é praticamente em condições de curto-circuito. Assim, o secundário de um TC nunca deverá ser deixado em aberto, estando o primário energizado.

A figura 3 apresenta o esquema de ligação de um TC em conjunto com o wattímetro.

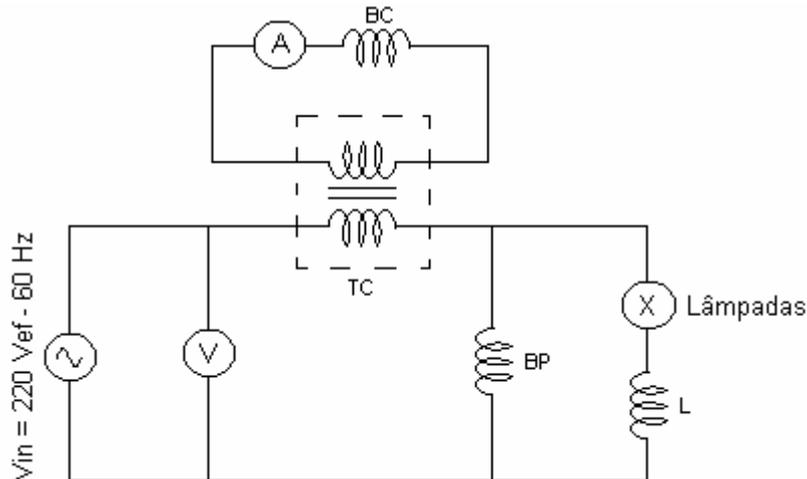


Figura 3 - Ligação de um TC em conjunto com um wattímetro.

O transformador de potencial é ligado ao circuito de mesmo modo que um voltmímetro. Sua função é variar (reduzir ou aumentar) a tensão aplicada aos terminais de potencial de um instrumento, como por exemplo, o wattímetro. Sua operação é praticamente com o secundário em aberto, devido à alta impedância do circuito ligado ao seu secundário (bobina de potencial do wattímetro).

### 3 FATOR DE POTÊNCIA

#### 3.1 Definição

O fator de potência é a relação entre a potência ativa, em Watts, e a potência aparente, em V.A. Assim:

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

Para cargas lineares, o fator de potência nada mais é do que o co-seno 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.

#### 3.2 Correção de fator de potência para cargas lineares

Pode-se utilizar o triângulo das potências, conforme mostrado na figura 4.

Q representa a potência reativa, cuja unidade é o Volt x Ampère reativo (VAr). Pela figura tem-se que:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Com o objetivo de aumentar o fator de potência, e conseqüentemente diminuir o ângulo  $\phi$ , e assim diminuir as perdas e diminuir  $S$ , mantendo  $P$  constante, o que é útil para a fornecedora de energia elétrica, utiliza-se um capacitor ( $C$ ) em paralelo com a carga, conforme a figura 5.

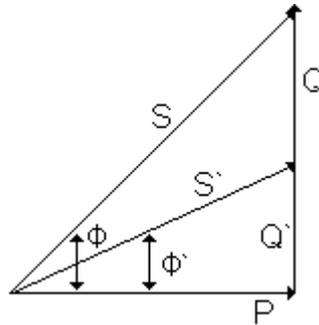


Figura 4 - Triângulo das potências.

É fácil demonstrar que o valor de  $C$  é dado pela expressão:

$$C = \frac{P \cdot (|\operatorname{tg}(\phi)| - |\operatorname{tg}(\phi')|)}{\omega \cdot V^2}$$

Onde  $V$  é o valor eficaz da tensão no capacitor,  $\omega$  é a velocidade angular,  $P$  é a potência ativa da carga,  $\phi$  o ângulo de defasagem antes da correção e  $\phi'$  é o ângulo depois da correção.

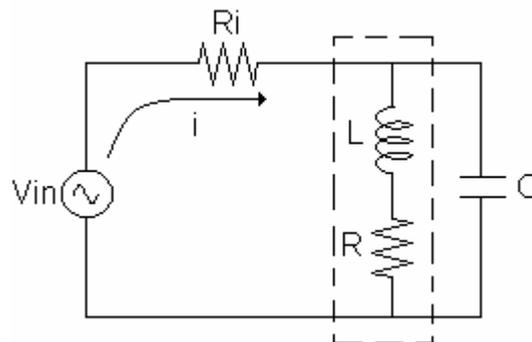


Figura 5 - Circuito em análise.

## 4 COMPROVAÇÃO PRÁTICA

### 4.1 Medida de potência com o wattímetro

Realize as conexões indicadas na figura 6 e meça a potência consumida pelas lâmpadas (carga), a tensão eficaz e a corrente eficaz das lâmpadas.

Registre os valores na tabela 1. É importante anotar a classe dos instrumentos novos que estão sendo utilizados, além do erro de leitura e o valor de fundo de escala.

Determine:

- 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;

c. Calcule o erro propagado para a potência calculada no item “b”;

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

d. 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;

e. Desenhe um gráfico das formas de onda da tensão sobre as lâmpadas e da corrente total solicitada.

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

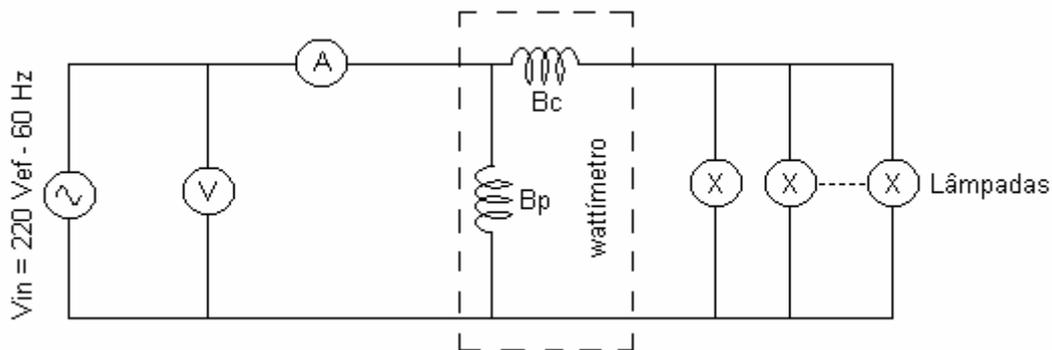


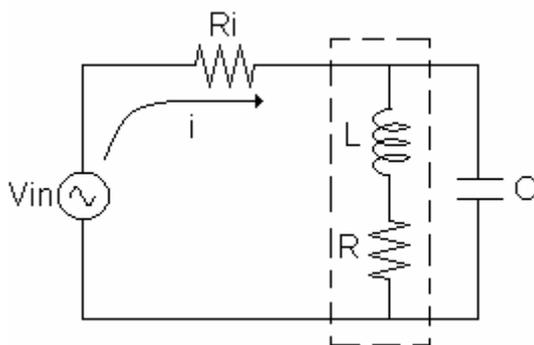
Figura 6 - Circuito em análise.

Tabela 1 – Medidas e dados para o circuito da figura 6.

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

#### 4.2 Correção de fator de potência

Para o circuito da figura 5, repetido na figura 7, determinar o valor do capacitor para que o fator de potência da carga seja igual a 0,92.



- $V_{in} = 5 \cdot \text{sen}(\omega t)$ ;
- $R_i = 50 \Omega$ ;
- $f = 180 \text{ Hz}$ ;
- $R = 57 \Omega$ ;
- $L = 100 \text{ mH}$ ;
- $C = 3 \times 2,2 \mu\text{F}$ .

Figura 7 - Circuito em análise.

As formas de ondas esperadas para o circuito da figura 5 funcionando sem o capacitor C são mostradas na figura 8. Neste caso não está sendo feita correção de fator de potência.

Se ao circuito da figura 7 for acrescentado um capacitor de  $6,2 \mu\text{F}$ , por exemplo, a tensão e corrente do circuito ficarão praticamente em fase, ou seja, o fator de potência será unitário, conforme pode ser visto na figura 9.

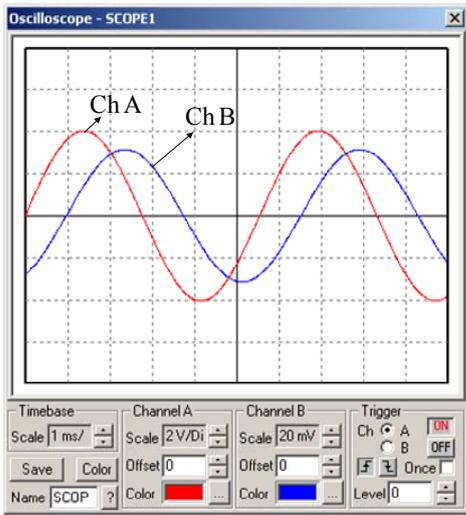


Figura 8 - Formas de onda para o circuito da figura 7 sem capacitor.

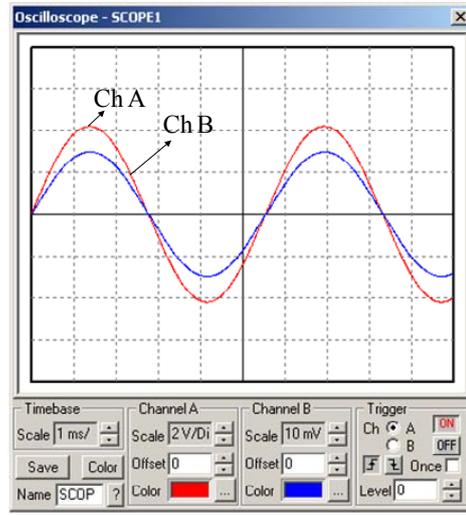


Figura 9 - Formas de onda para o circuito da figura 7 com capacitor ( $6,2 \mu\text{F}$ ).

Esboce as formas de onda de tensão e corrente do circuito da figura 7 operando sem capacitor, medindo o ângulo de defasagem  $\theta$ .

Calcule o fator de potência do circuito.

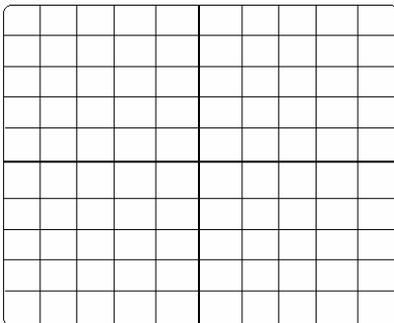
Pode-se afirmar que este circuito é predominantemente indutivo. Argumente em favor desta hipótese.

Em seguida, adicione um capacitor de  $6,6 \mu\text{F}$  e esboce novamente as formas de onda de tensão e corrente, medindo também a defasagem  $\theta$ . O capacitor de  $6,6 \mu\text{F}$  é formado por 3 capacitores de  $2,2 \mu\text{F}$  adicionados um após o outro. É interessante observar o efeito do acréscimo de cada um deles ao circuito.

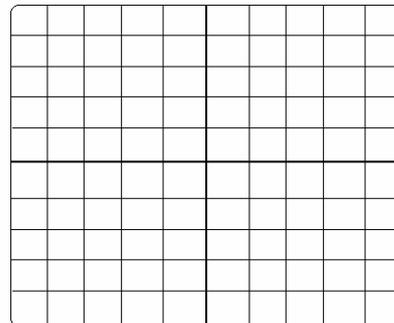
Calcule o novo fator de potência obtido com a adição do capacitor C.

Neste caso é possível afirmar que o conjunto ligado ao gerador está tendo o comportamento de um circuito resistivo. Argumente em favor desta hipótese.

Com o envelhecimento do capacitor ao longo dos anos, que comportamento se espera do fator de potência do circuito da figura 7, considerando que todos os outros valores não foram alterados.



Formas de onda do circuito sem capacitor.  
Defasagem medida = \_\_\_\_\_



Formas de onda do circuito com capacitor.  
Defasagem medida = \_\_\_\_\_