

Sumário

Introdução	5
Relação de fase entre tensão e corrente nos resistores e capacitores	6
Relações de fase entre tensão e corrente nos capacitores	9
Medição do ângulo de fase com o osciloscópio de duplo traço	12
Medição de ângulo de fase por figuras de Lissajous	18
Conexão do osciloscópio ao circuito	18
Apêndice	22
Questionário	22
Bibliografia	22



Espaço SENAI

Missão do Sistema *SENAI*

Contribuir para o fortalecimento da indústria e o desenvolvimento pleno e sustentável do País, promovendo a educação para o trabalho e a cidadania, a assistência técnica e tecnológica, a produção e disseminação de informação e a adequação, geração e difusão de tecnologia.

A busca constantes da qualidade e a preocupação com o atendimento ao cliente estão presentes nas ações do *SENAI*.

Introdução

Cada componente eletrônico tem características próprias que influenciam em seu comportamento o desempenho de circuitos.

Por esse motivo, resistores e capacitores reagem de forma diferente quando ligados em CC ou CA, ocasionando reações diversas nos circuitos.

Este fascículo tratará do comportamento dos resistores e capacitores em CA e da forma de como utilizar um osciloscópio para observar esses efeitos.

Compreender o comportamento de componentes isolados tanto em CA como em CC é condição indispensável para que se compreenda o funcionamento desses componentes em um circuito eletrônico.



Para ter sucesso no desenvolvimento do conteúdo e atividades deste fascículo, o leitor já deverá ter conhecimentos relativos a:

- Corrente alternada.
- Capacitores.
- Representação fasorial de parâmetros elétricos.

Relação de fase entre tensão e corrente nos resistores e capacitores

Quando se conecta uma carga puramente resistiva (resistor, lâmpada, aquecedor) a uma rede de corrente alternada senoidal, a corrente circulante no circuito também tem a forma senoidal, como mostrado na **Fig.1**.

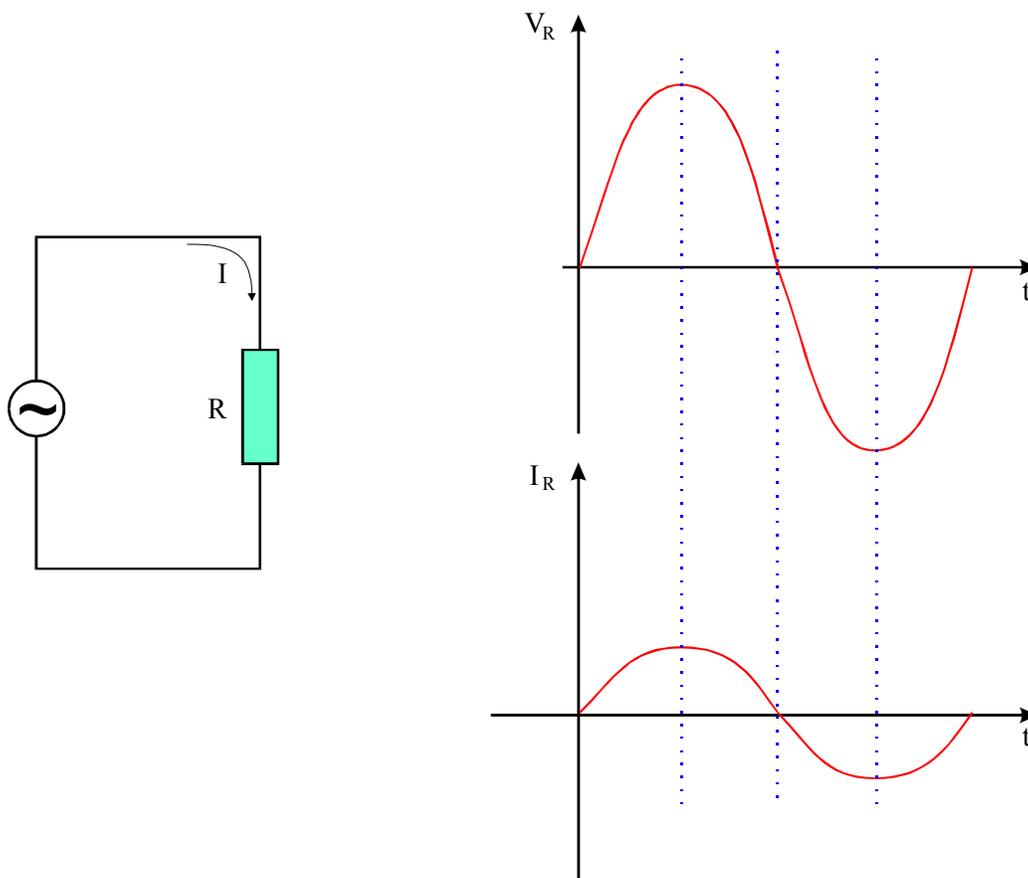


Fig.1 Tensão senoidal aplicada a uma carga resistiva.

A corrente no resistor obedece à Lei de Ohm. Como o valor de R é fixo, a corrente é proporcional à tensão.

Quando a tensão no resistor tem valor “0”, a corrente também tem valor “0”. Quando a tensão no resistor atinge o máximo positivo ($+V_p$), a corrente também atinge o máximo positivo ($+I_p$) e assim por diante. A **Fig.2** ilustra esse comportamento.

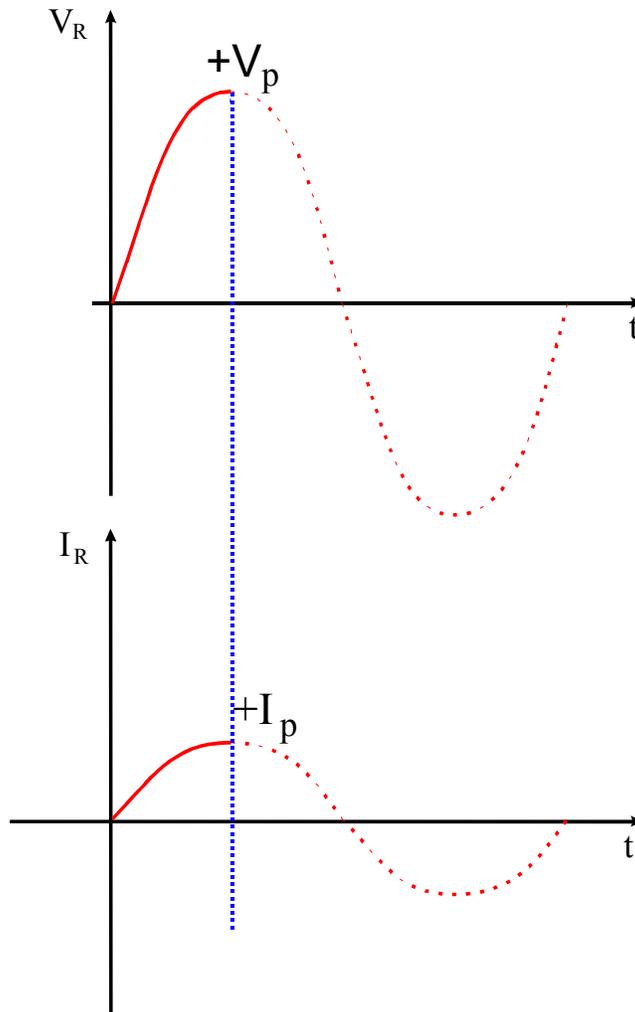


Fig.2 Comportamento da tensão e corrente num resistor submetido a uma tensão senoidal.

Isso pode ser observado claramente sobrepondo os gráficos de tensão e corrente do resistor nos mesmos eixos.

A **Fig.3** mostra o gráfico senoidal da tensão e corrente em um resistor ao qual foi aplicada uma fonte de CA.

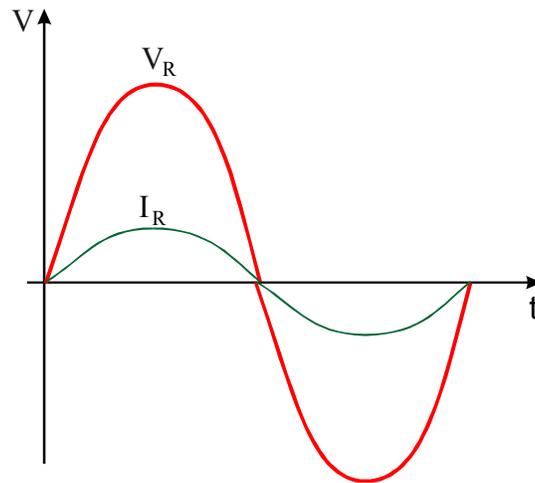


Fig.3 Sobreposição de tensão e corrente num resistor submetido a uma tensão.

Observa-se através da sobreposição dos gráficos senoidais que tensão e corrente têm a mesma forma senoidal, a mesma frequência e passam pelo zero, no mesmo sentido e ao mesmo tempo.

Quando isto acontece, diz-se que a tensão e a corrente estão em fase ou que a defasagem entre tensão e corrente é zero.

 **Nas cargas puramente resistivas em CA, a corrente e a tensão estão em fase.**

O comportamento da tensão e corrente em um circuito puramente resistivo pode ser expresso através de um gráfico fasorial. Um fasor representa a tensão na carga e outro a corrente.

Como tensão e corrente estão em fase os dois fasores são sobrepostos, como mostrado na **Fig.4**.



Fig.4 Diagrama fasorial de tensão e corrente.

O comprimento de cada segmento de reta (módulo) representa o valor da grandeza expressa fasorialmente, conforme representado na **Fig.5**.

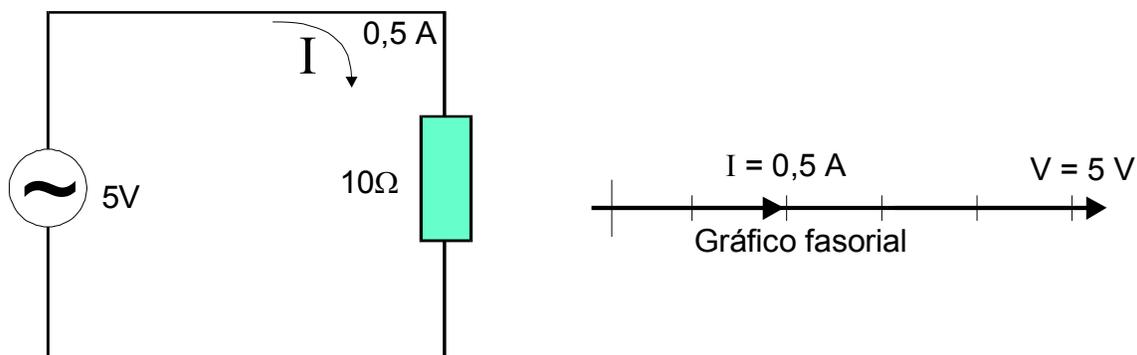


Fig.5 Módulo dos fasores tensão e corrente.

Como exemplos de cargas resistivas, onde tensão e corrente estão em fase, tem-se: resistores, lâmpadas, resistências de ferro de passar, resistência de ferro de soldar, resistência de aquecedores etc.

RELAÇÕES DE FASE ENTRE TENSÃO E CORRENTE NOS CAPACITORES

Quando se conecta um capacitor a uma fonte geradora, as armaduras estão completamente descarregadas.

Inicia-se o processo de carga do capacitor. Como não existe tensão sobre o capacitor ($V_c = 0$), a corrente de carga (I_c) é máxima, como ilustrado na **Fig.6**.

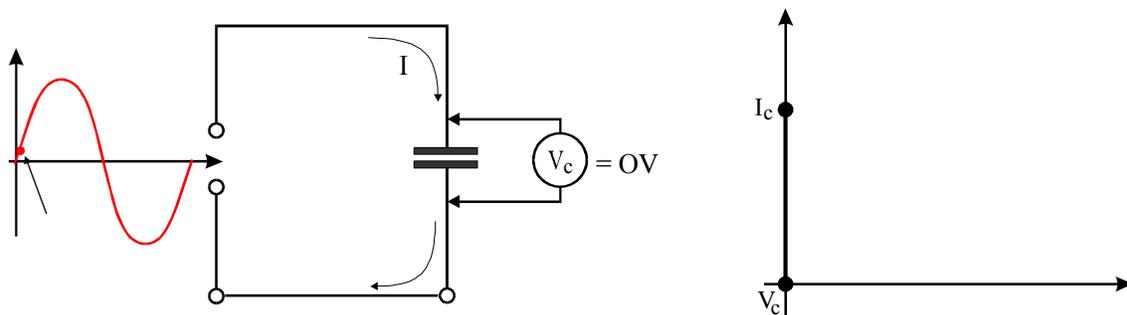


Fig.6 Processo de carga de um capacitor.

À medida que a tensão sobre o capacitor aumenta, a corrente de carga diminui porque as cargas já armazenadas no capacitor se opõem à entrada de novas cargas, como ilustrado na **Fig.7**.

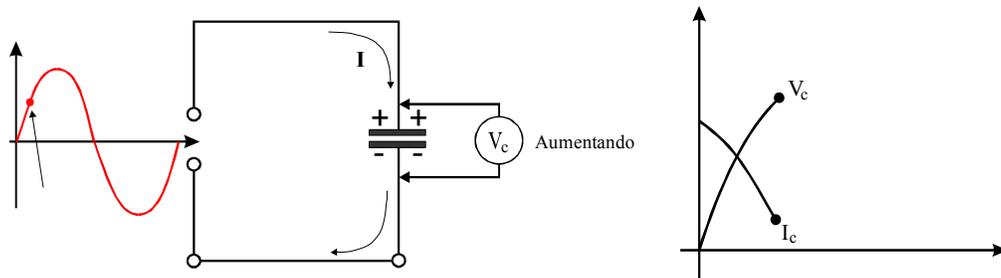


Fig.7 Pontos intermediários da curva de carga de um capacitor.

A corrente continua diminuindo até atingir o valor zero, no momento em que a tensão no capacitor se iguala à tensão da fonte, como mostrado na **Fig. 8**.

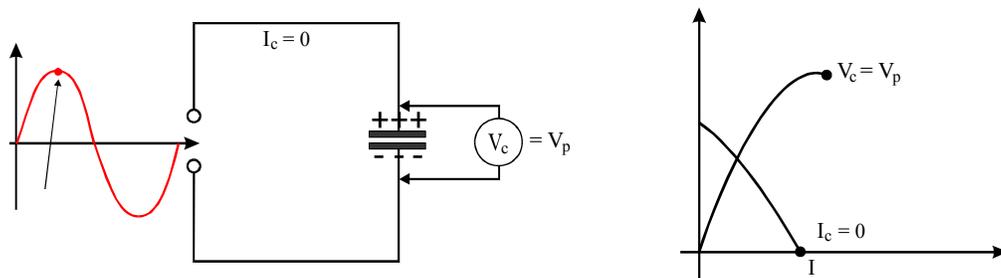


Fig.8 Ponto da curva de carga do capacitor onde $V_c = V_p$

Observa-se pelo gráfico senoidal, que a corrente do capacitor atinge o valor máximo 90° antes que a tensão atinja o seu valor máximo. Este adiantamento da corrente em relação à tensão no capacitor ocorre durante todo ciclo da CA, como mostrado na **Fig.9**.

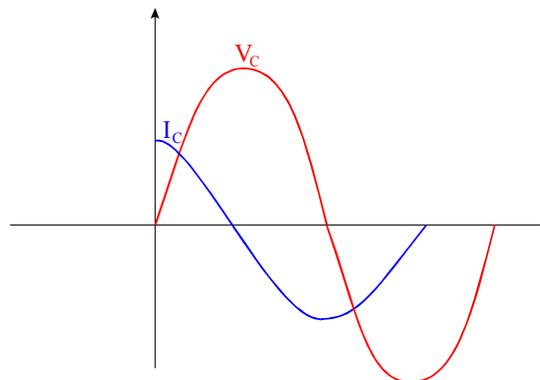


Fig.9 Relação entre corrente e tensão.

 ***Nos capacitores, a corrente está adiantada 90° (meio semiciclo) em relação à tensão.***

A defasagem pode ser representada através de um gráfico fasorial. Um fasor representa a tensão sobre o capacitor e o outro, a corrente.

Como corrente e tensão no capacitor estão defasados de 90°, os seus fasores são representados de tal forma que haja um ângulo de 90° entre eles.

A **Fig.10** mostra a representação fasorial da defasagem entre tensão e corrente no capacitor.



Fig.10 Representação fasorial da defasagem entre tensão e corrente no capacitor.

Medição do ângulo de fase com o osciloscópio de duplo traço

Em muitas ocasiões, torna-se necessário analisar ou determinar a relação de fase entre duas tensões CA ou entre uma tensão e uma corrente CA em um componente. Isso pode ser feito através de um osciloscópio de duplo traço.

Esse processo somente pode ser utilizado para CA de frequências iguais porque quando as frequências são diferentes, o ângulo de fase está em constante modificação, como mostrado na **Fig.11**.

Pode-se, assim, verificar que sinais de mesma frequência (mesmo período T) levam a uma defasagem constante de 90° ; sinais de frequências diferentes, a uma defasagem variável.

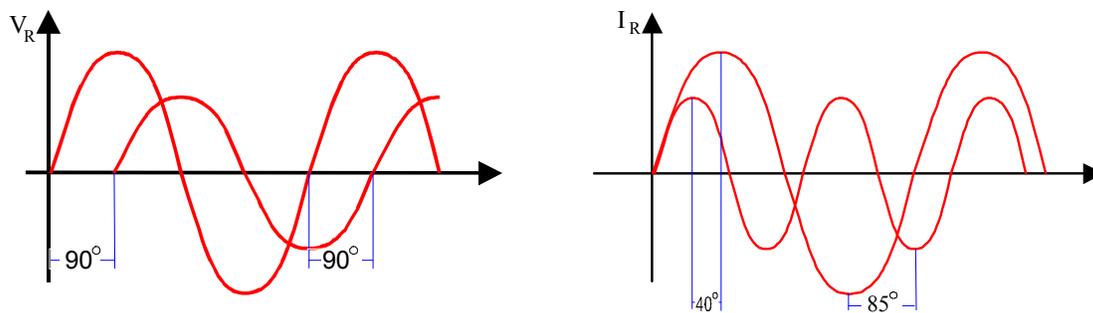


Fig.11 Defasagem constante e defasagem variável.

Para verificar a relação de fase entre uma tensão e uma corrente CA em um componente ou circuito, é necessário observarem-se simultaneamente duas senóides:

- A senóide da tensão.
- A senóide da corrente.

Para observar a senóide da tensão, emprega-se um dos canais do osciloscópio, conectando a ponta de prova (sinal terra) diretamente nos pontos onde se queira observar.

A **Fig.12** mostra as pontas de prova conectadas a um circuito e a projeção na tela que corresponde à senóide da tensão aplicada.

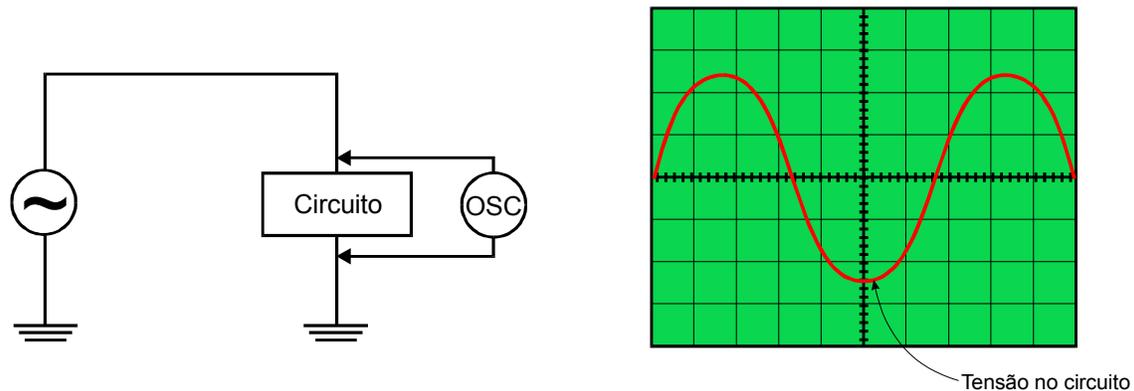


Fig.12 Visualização da tensão senoidal aplicada.

Para se observarem as variações de corrente no osciloscópio, é necessário que essas variações de corrente sejam transformadas em variações de tensão que possam ser vistas no osciloscópio.



Para se observarem formas de onda de corrente com o osciloscópio, as variações de corrente devem ser transformadas em variações de tensão.

O resistor é o componente ideal para realizar a conversão de corrente em tensão por duas razões:

- A tensão presente entre os sinais de um resistor é proporcional à corrente.
- A tensão desenvolvida no resistor está em fase com a corrente.

Assim, toda a vez que for necessário observar com osciloscópio a forma de onda de corrente em um circuito, deve-se incluir um resistor em série com este circuito.

A queda de tensão nesse resistor será proporcional e estará em fase com a corrente do circuito, como mostrado na **Fig.13**.

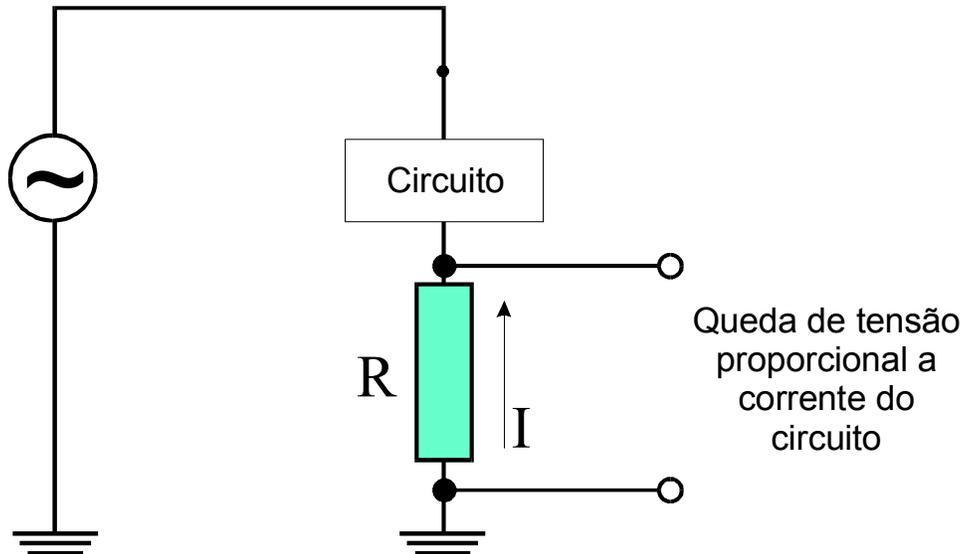


Fig.13 Queda de tensão proporcional e em fase com a corrente.

Conectando as pontas de prova do osciloscópio nos terminais desse resistor, a forma de onda apresentada na tela representará a corrente no circuito, como ilustrado na **Fig.14**.

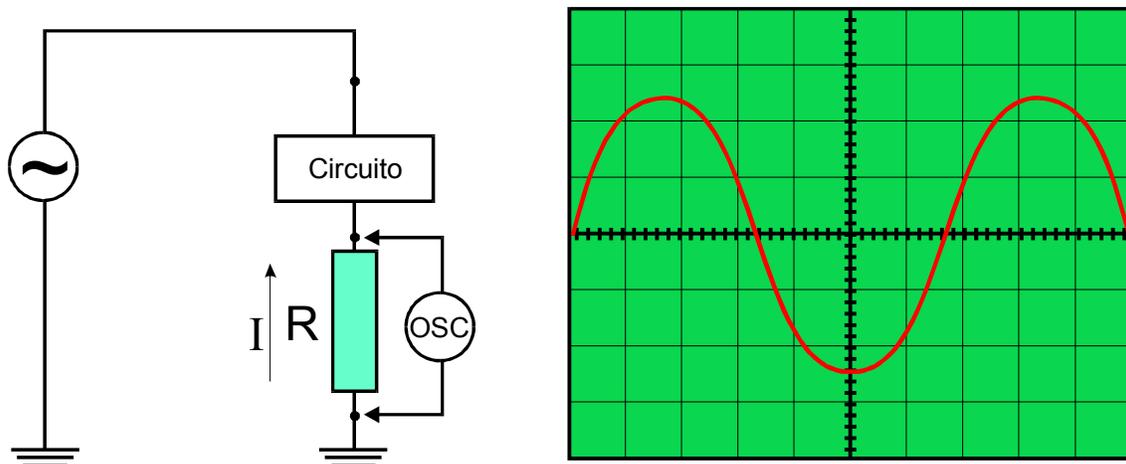


Fig.14 Obsevando a corrente através da tensão no osciloscópio.

É importante lembrar que, ao inserir um resistor em série com um circuito, este resistor interfere na resistência total, provocando uma alteração na corrente circulante como pode ser visto na **Fig.15**.

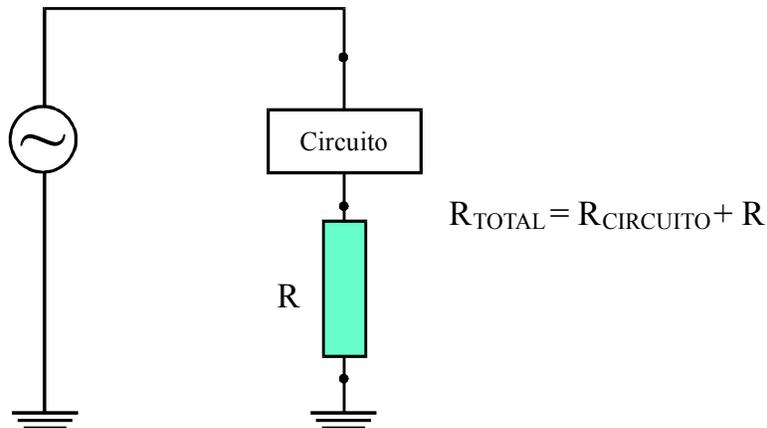


Fig.15 A inclusão de R muda a corrente do circuito.

Para se evitar que o resistor acrescentado influencie significativamente nos resultados observados, deve-se utilizar um valor para esse resistor que seja pequeno com relação à resistência do circuito que se deseja analisar.



O resistor acrescentado para converter corrente em tensão deve ter resistência pequena, comparada com a resistência do circuito analisado.

Em geral, utiliza-se um resistor cujo valor máximo não ultrapasse 10% da resistência do circuito que se deseja analisar, como ilustrado na **Fig.16**.

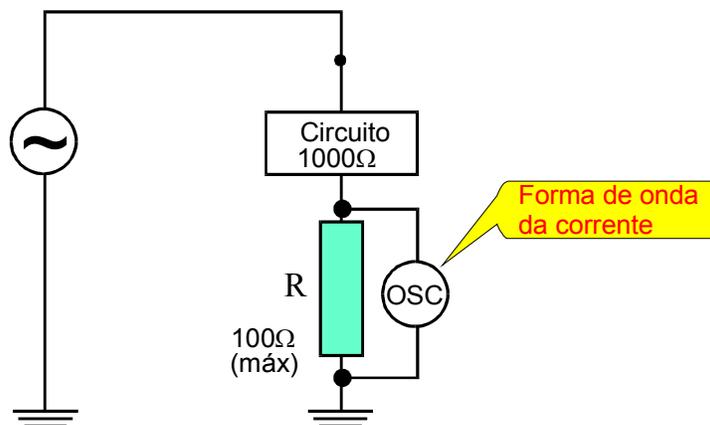


Fig.16 Circuito com resistor pequeno para medir I.

Como normalmente se necessitam observar simultaneamente as formas de onda de tensão e de corrente, utiliza-se um osciloscópio de duplo traço da seguinte forma:

- Um dos canais é colocado sobre o resistor. Este canal mostra a forma de onda de corrente.
- Outro canal é aplicado diretamente sobre a carga.

A **Fig.17** mostra como seria conectado o osciloscópio de duplo traço para verificar a relação de fase entre corrente e tensão em um resistor.

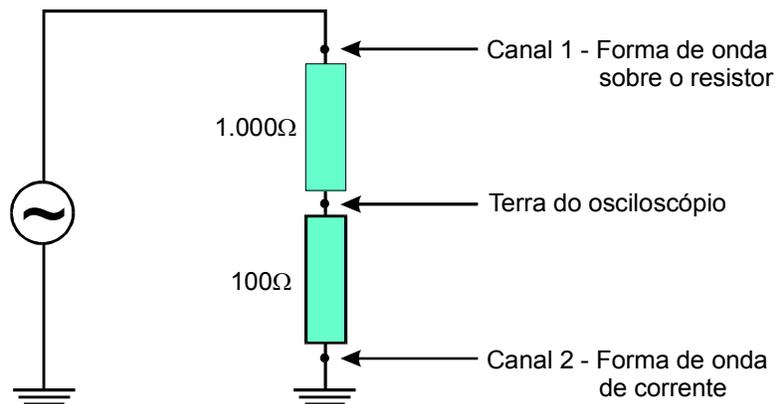


Fig.17 Ligação do osciloscópio de duplo traço.

O fato de se conectar o terra do osciloscópio no meio dos dois componentes a serem medidos implica no fato de que o canal 1 (**Fig.17**) apresenta uma medição acima da referência e o canal 2 uma medição abaixo da referência.

Sempre que o osciloscópio for conectado dessa forma, deve-se usar a entrada com inversão do osciloscópio para a medição abaixo da referência, como mostrado na **Fig.18**.

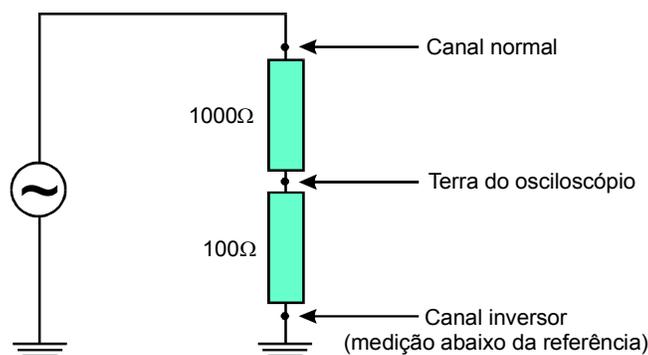


Fig.18 Ligação do canal inversor.

A **Fig.19** mostra como as senóides de corrente e tensão sobre o resistor aparecerão na tela.

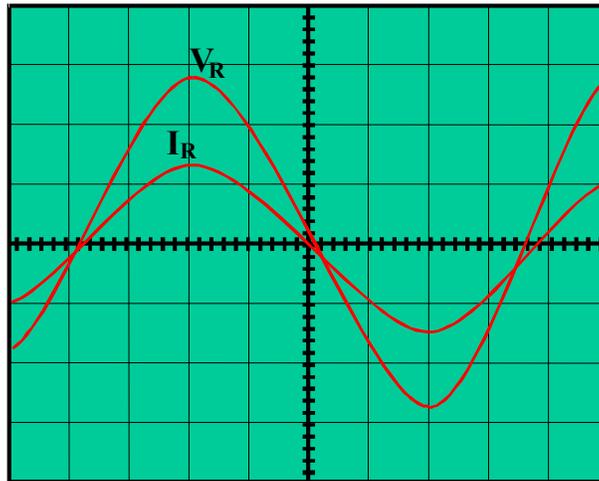


Fig.19 Visualização das senóides de corrente e tensão.

O mesmo processo pode ser usado para se determinar a relação de fase entre tensão e corrente em componentes como o capacitor na forma ilustrada na **Fig.20**.

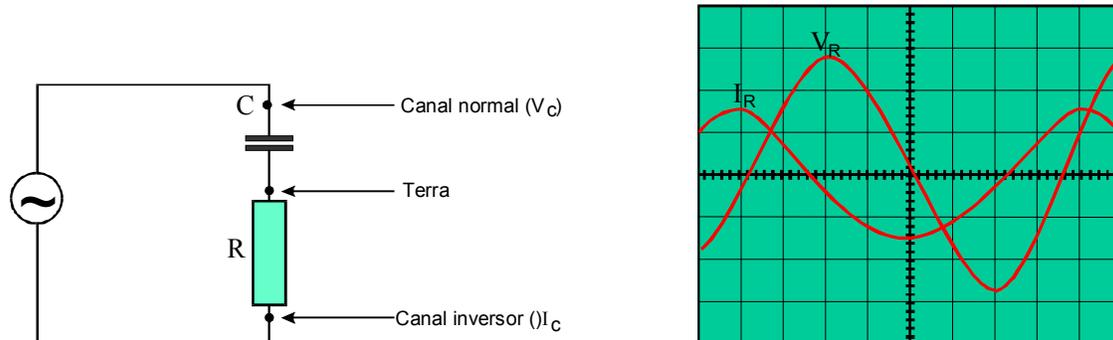


Fig.20 Relação de fase entre tensão e corrente em um capacitor.

O valor do resistor deve ser no máximo de 10% do valor da reatância capacitiva do capacitor.

As divisões horizontais da tela podem ser usadas para se determinar o ângulo de defasagem.

Medição de ângulo de fase por figuras de Lissajous

Figuras de Lissajous é o nome dado as figuras que aparecem na tela do osciloscópio quando se aplicam sinais às entradas vertical e horizontal do osciloscópio, desligando a varredura horizontal interna.

A **Fig.21** mostra algumas figuras de Lissajous.

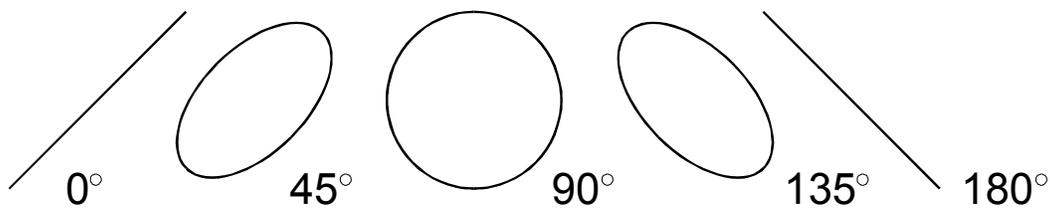


Fig.21 Exemplos de figuras de Lissajous.

Através das figuras de Lissajous é possível determinar a relação de fase entre duas CA de mesma frequência usando um osciloscópio de traço simples.

CONEXÃO DO OSCILOSCÓPIO AO CIRCUITO

Para se determinar o ângulo de fase, os dois sinais (de mesma frequência) são aplicados às entradas vertical e horizontal, mantendo-se a chave de varredura horizontal na posição “externa”.

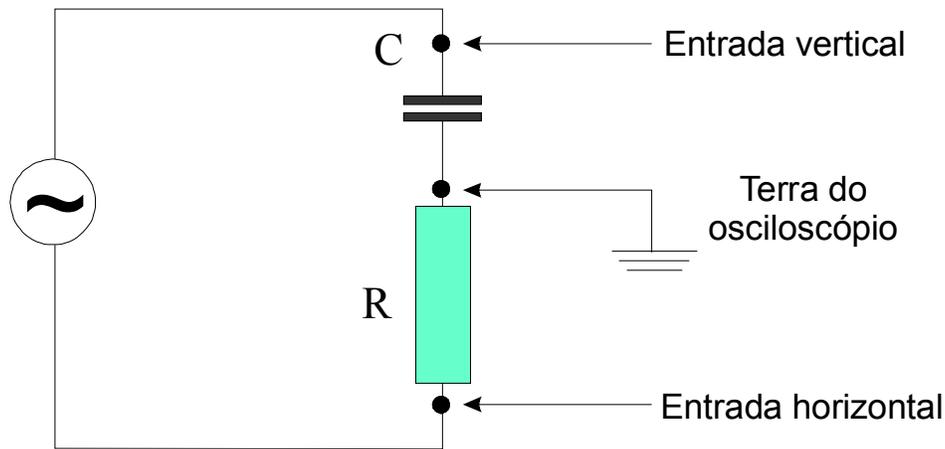


Fig.22 Determinação do ângulo de fase.

O resistor R no circuito da **Fig.22** converte as variações de corrente em variações de tensão.

Após a colocação dos dois sinais, há a formação de uma figura de Lissajous na tela, como pode ser visto na **Fig.23**.

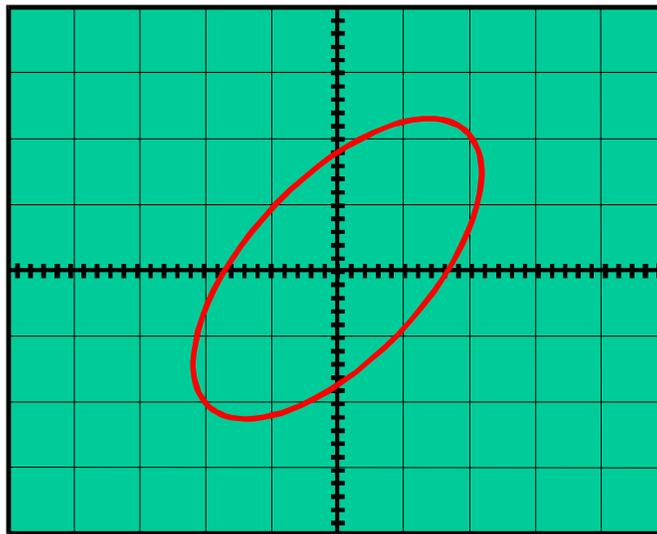


Fig.23 Figura de Lissajous.

Para se obter a leitura correta do ângulo de fase, o sinal aplicado no vertical deve ocasionar a **mesma amplitude de deflexão** na tela que o horizontal (em número de quadros) e a figura deve estar centrada na tela.

Em geral, torna-se necessário atuar no controle da amplitude vertical ou horizontal para analisar o ajuste.

Uma vez centrada a figura, determinam-se dois valores: $Y_{\text{máximo}}$ e Y_0 (intersecção da figura com eixo Y), como ilustrado na Fig.24.

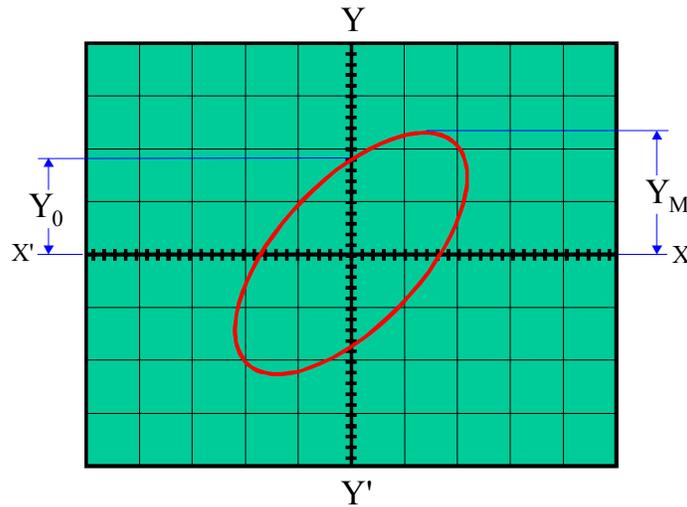


Fig.24 Determinação de $Y_{\text{máximo}}$ e Y_0 .

De posse dos dois valores, determina-se o ângulo de fase a partir da equação:

$$\theta = \arcsen \frac{Y_0}{Y_m} \quad (1)$$

onde :

θ é o ângulo de defasagem

Y_0 e Y_m são leituras da tela

arcsen = função arco cujo seno é...

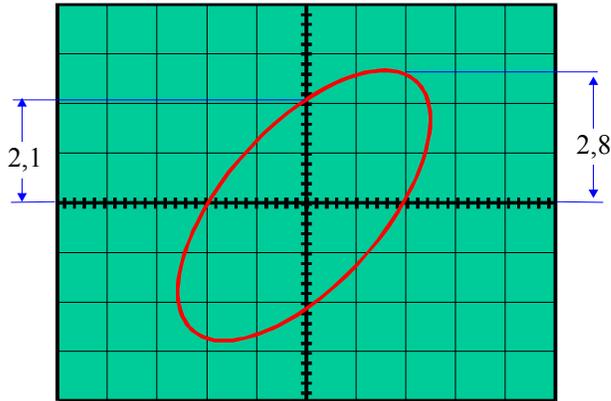
Através das figuras de Lissajous não é possível determinar qual é o sinal adiantado ou atrasado por que isto depende da ordem de ligação dos sinais no osciloscópio.

A seguir é mostrada uma tabela com alguns valores de seno, e um exemplo de determinação do ângulo de fase por figura de Lissajous.

Ângulo	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
Seno	0	0,17	0,34	0,5	0,64	0,71	0,77	0,87	0,94	1

Exemplos 1:

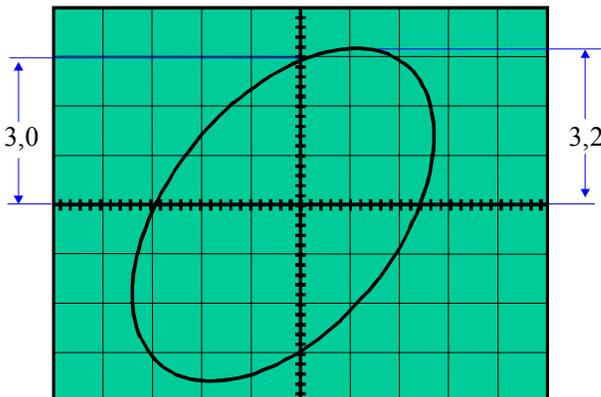
Determinar o ângulo de fase pelo método das figuras de Lissajous

Solução :

$$\theta = \arcsen \frac{Y_0}{Y_m} = \frac{2,1}{2,8}$$

$$\theta = \arcsen (0,75)$$

$$\theta = 50^\circ.$$

Solução :

$$\theta = \arcsen \frac{Y_0}{Y_m} = \frac{3,0}{3,2}$$

$$\theta = \arcsen (0,94)$$

$$\theta = 70^\circ.$$

Quando se obtém um círculo perfeito, a defasagem é de 90° , uma vez que $Y_0 = Y_m$.

Apêndice

QUESTIONÁRIO

1. Qual o comportamento da tensão e da corrente quanto a fase nas cargas puramente resistivas ? E nas cargas capacitivas ?
2. Como se pode observar a forma de onda da corrente com o osciloscópio ?
3. O que são figuras de Lissajous ?

BIBLIOGRAFIA

- SENAI/DN. **Impedância**. Rio de Janeiro, Divisão de Ensino e Treinamento, 1980, 91p. (Módulo Instrucional - Eletricidade; Eletrotécnica, 14)
- VAN VALKENBURG, NOOGER & NEVILLE. **Eletricidade Básica**. 5.^a ed., Rio de Janeiro, Freitas Bastos, c 1970, vol.3
- ZBAR, PAUL B. **Instrumentos e medidas em eletrônica**; Práticas de Laboratório. Trad. Aracy Mendes da Costa. São Paulo, McGraw Hill, 1978, 229p.