

Osciloscópio e gerador de sinais

Introdução

Um osciloscópio é basicamente um dispositivo de apresentação de gráficos, especificamente permite visualizar um sinal elétrico fazendo um desenho em uma tela. Na maioria das aplicações, o gráfico mostra como muda um sinal como função do tempo: o eixo vertical (eixo Y) representa a tensão elétrica e o eixo horizontal (eixo X) representa o tempo (vide Fig.1). Esse simples gráfico dá várias informações sobre o sinal, como por exemplo:

- i) Os valores temporais e de tensão do sinal.
- ii) A frequência de um sinal periódico, que pode ser calculada a partir da medida do período.
- iii) Determinar separadamente a componente de tensão contínua e a componente de tensão alternada que constituem o sinal
- iv) O ruído que possui o sinal e como esse ruído muda com o tempo.

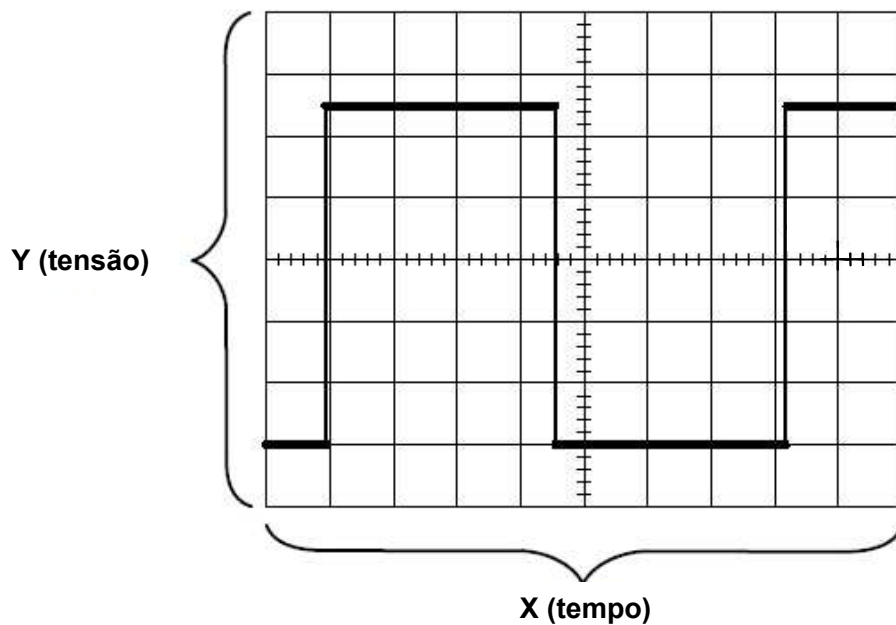


Figura 1: representação dos eixos vertical e horizontal de um osciloscópio para o caso de um sinal quadrado.

O osciloscópio possui uma tela e uma série de controles que geralmente estão separados em três seções: vertical, horizontal e disparo (*trigger*). Também possui controles de apresentação da imagem, e conectores de entrada e de calibração, tal como mostrado na Fig.2.

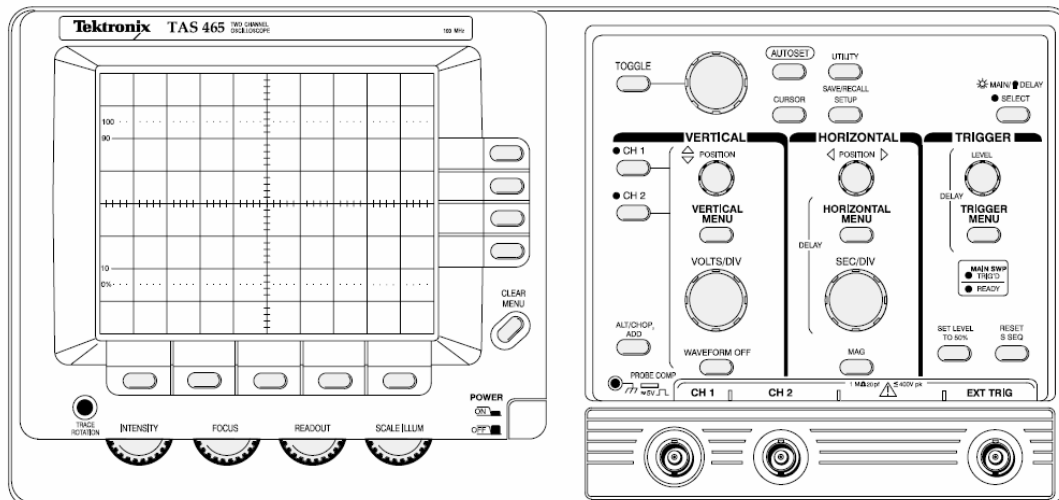


Figura 2: frente de um osciloscópio.

Os osciloscópios podem ser do tipo analógico ou do tipo digital. O osciloscópio analógico funciona a partir da aplicação direta da tensão que está sendo medida a um par de placas paralelas entre as quais passa um feixe de elétrons. A tensão entre as placas desvia o feixe eletrônico para acima e para abaixo proporcionalmente à tensão aplicada, traçando assim a forma de onda do sinal na tela.

O osciloscópio digital por sua vez, toma amostras da forma de onda e utiliza um conversor analógico digital para transformar a tensão presente na entrada em informação digital. Logo, uma eletrônica interna utiliza essa informação para reconstruir a forma de onda na tela. A Fig.3 mostra um esquema comparativo de ambos os osciloscópios.

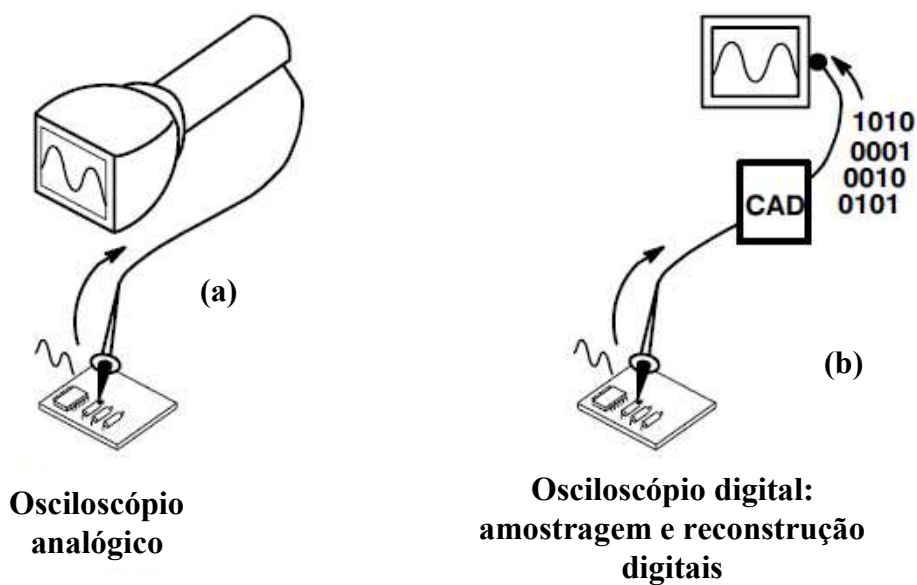


Figura 3: esquema comparativo de conformação da imagem do sinal nos osciloscópios: a) analógico, b) digital.

O osciloscópio analógico pode resultar preferível quando é importante visualizar sinais que variam rapidamente em tempo real.

Os osciloscópios digitais por sua vez permitem captura eventos que só acontecem uma vez. Podem processar os dados da forma de onda uma vez digitalizada ou enviá-los para um computador para serem processados. Ademais, os dados podem ser armazenados de forma tal que pode permitir a posterior visualização ou impressão.

Para compreender os controles de operação, devemos entender minimamente como o osciloscópio mostra o sinal. Os osciloscópios analógicos funcionam de forma algo diferente dos digitais, ainda que alguns de seus sistemas internos resultem parecidos.

Osciloscópios analógicos

Quando a ponta do osciloscópio é conectada no circuito, o sinal de tensão vai para o sistema vertical do dispositivo. A Fig.4 mostra um simples diagrama em blocos do osciloscópio.

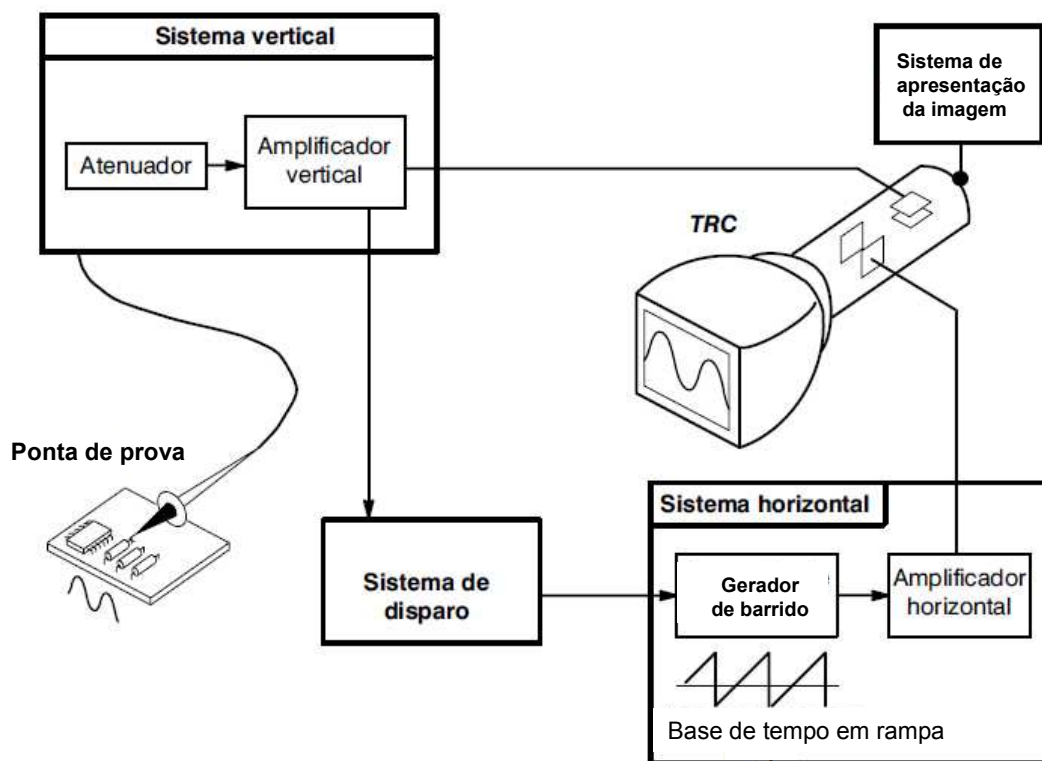


Figura 4: diagrama em blocos de um osciloscópio analógico.

Segundo como tenha sido configurada a escala vertical (controle de volt/div) um atenuador reduz a tensão do sinal ou um amplificador a aumenta.

Logo o sinal é enviado diretamente as placas defletoras verticais do tubo de raios catódicos (TRC). A aplicação da tensão nestas placas defletoras gera o movimento de um ponto luminoso na tela (um feixe de elétrons que golpeia o fósforo do TRC gera o ponto luminoso). Uma tensão positiva faz com que o ponto se mexa para acima e uma tensão negativa faz com que o ponto se mexa para abaixo.

O sinal também vá para o sistema de disparo, acionando o barrido horizontal. Esse termo, “barrido horizontal”, refere-se à ação do sistema horizontal que faz com que o ponto luminoso percorra a tela do osciloscópio de um lado para outro. O disparo do sistema horizontal faz com que a base de tempo horizontal movimente o ponto de esquerda para direita dentro de um intervalo de tempo definido. Muitas varreduras em rápida sequência fazem parecer o movimento do ponto luminoso como uma linha contínua (o ponto luminoso pode percorrer a tela até 500000 vezes por segundo).

O trabalho conjunto do barrido horizontal e a deflexão vertical é que consegue mostrar graficamente o sinal na tela. O disparo é necessário para estabilizar o sinal repetitivo. Dessa forma resulta assegurado que a varredura comece no mesmo ponto que o sinal repetitivo, resultando em uma imagem bem definida, como mostrada na Fig.5.

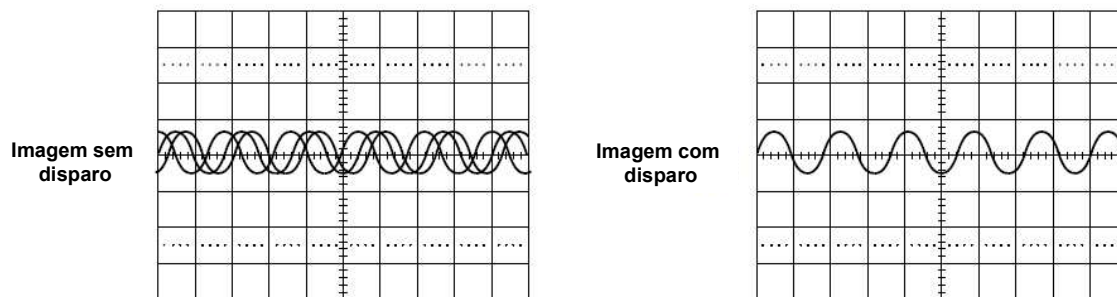


Figura 5: estabilização da imagem do sinal através do ajuste do disparo horizontal.

Em conclusão, para utilizar o osciloscópio analógico temos que ajustar três configurações básicas para poder visualizar corretamente o sinal de entrada:

- i) Ajustar o controle de volt/div para ajustar assim a amplitude do sinal antes de esta ir para as placas defletoras do TRC.
- ii) Ajustar a base de tempo com o controle de seg/div, para fixar a quantidade de tempo por divisão representada horizontalmente na tela.
- iii) Ajustar o nível de disparo do osciloscópio para assim conseguir estabilizar a imagem do sinal repetitivo na tela.

Osciloscópios digitais

Alguns dos sistemas do osciloscópio digital são iguais aos do osciloscópio analógico. Porém, o osciloscópio digital possui sistemas de processamento de dados adicionais, tal como mostrado na Fig.6. Com esses sistemas adicionais, o osciloscópio digital primeiro armazena os dados de toda a forma de onda, e depois reconstruí esse sinal graficamente na tela.

Quando é conectada a ponta de prova de um osciloscópio digital, o sistema vertical ajusta a amplitude do sinal analogamente a como faz o osciloscópio analógico. Logo um conversor analógico digital (CAD) no sistema de aquisição pega amostras do sinal em intervalos de tempo discretos e converte a tensão do sinal nesses pontos em valores digitais. O relógio de amostragem do sistema horizontal determina com qual frequência o CAD deve tomar mostras. A velocidade do relógio chama-se velocidade de amostragem, e se mede em amostras por segundo.

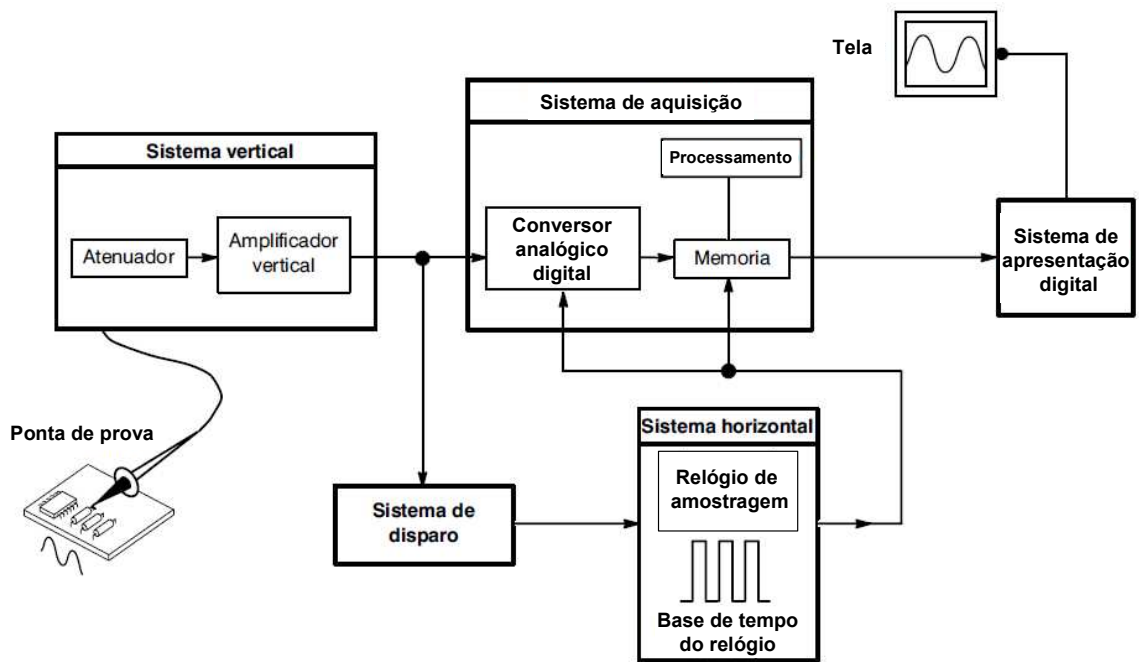


Figura 6: diagrama em blocos de um osciloscópio digital.

Os pontos de amostragem do CAD ficam armazenados na memória como pontos da forma de onda. Esses pontos da forma de onda podem estar constituídos por um o mais pontos de amostragem.

O conjunto de pontos da forma de onda constitui um registro da forma de onda. O sistema de disparo determina os pontos do começo e do fim do registro. A tela recebe esses pontos do registro uma vez que têm sido armazenados na memória.

Dependendo do osciloscópio, esses pontos podem receber ainda algum processamento adicional com o fim de melhorar a imagem.

Basicamente, com um osciloscópio digital, ao igual que com um analógico, é necessário ajustar as configurações vertical, horizontal e de disparo para tomar uma medida.

Gerador de sinais (ou gerador de corrente alternada)

O termo genérico para algum padrão que é repetitivo é onda: onda de som, onda eletromagnética, onda de tensão. O osciloscópio mede as ondas de tensão elétricas. Essas ondas, que podem ter diversas formas, são geradas por um instrumento chamado gerador de sinais ou gerador de corrente alternada. As formas de onda mais usuais obtidas a partir dos geradores de sinais são senoidal, quadrada e triangular, como mostrado na Fig. 7.

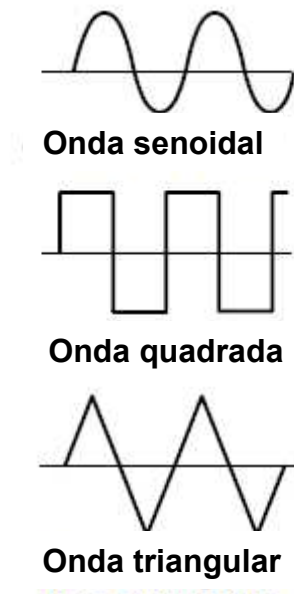


Figura 7: formas de onda mais usuais obtidas com um gerador de sinais.

Essas formas de onda representam uma voltagem que varia com o tempo e vamos representá-las como $\varepsilon(t)$. Para poder definir as principais características de uma dessas ondas, vamos tomar como exemplo a mais comum delas, a onda senoidal. Tal sinal é caracterizado pela amplitude ε_0 (também chamada tensão de pico V_p), pela frequência angular ω e pela fase inicial ϕ_0 , e a escrevemos:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_0 \cos(\omega t + \phi_0)$$

O fato de escrever $\cos(\omega t + \phi_0)$ em lugar de $\sin(\omega t + \phi_0)$ deve ser considerado como uma representação equivalente de mesmo sinal, porque $\sin(x) = \cos(x - \pi/2)$. Na figura abaixo estão representadas as principais características de uma onda senoidal.

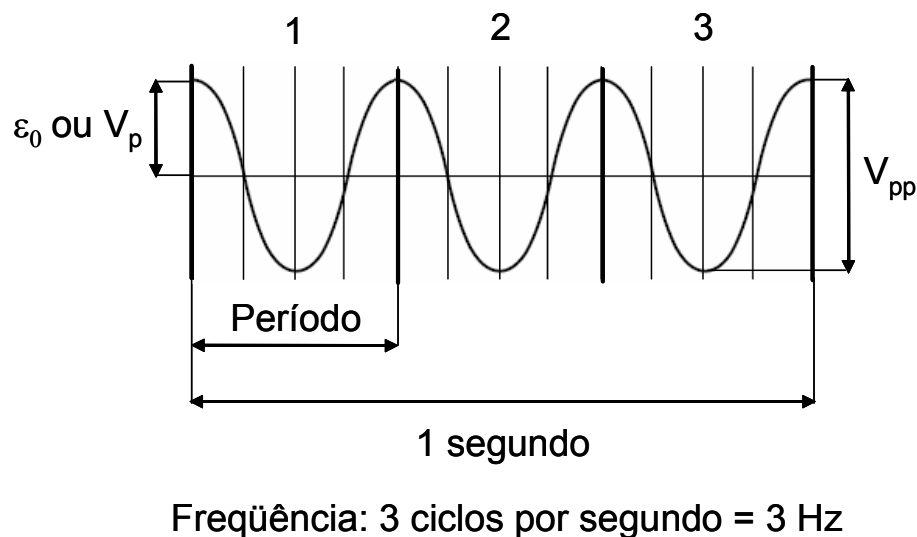


Figura 8: principais parâmetros de uma onda periódica. V_{pp} representa a tensão de pico a pico.

A frequência (f) é medida em Hertz e é igual ao número de vezes que um sinal se repete em um segundo (ciclos por segundo). Um sinal que se repete também tem um período, que é o tempo necessário para completar um ciclo. A frequência e o período são um o recíproco do outro:

$$f = \frac{1}{T}, \quad (1)$$

$$T = \frac{1}{f}. \quad (2)$$

A frequência angular está relacionada com a frequência por

$$\omega = 2\pi f. \quad (3)$$

No exemplo mostrado na Fig.8 temos uma frequência de 3 Hz e um período de 1/3 s.

PRECAUÇÃO: nunca deve intentar medir a voltagem de linha com um osciloscópio.

Figuras de Lissajous

As figuras de Lissajous são formadas por dois sinais harmônicos (senoidais) perpendiculares entre si. Sejam então os dois seguintes sinais,

$$x(t) = A \cos(\omega t), \quad (4)$$

$$y(t) = B \cos(\omega t + \delta). \quad (5)$$

O objetivo é achar a expressão implícita da curva que resulta da composição desses dois sinais, um no eixo X e outro no eixo Y. A Eq.(5) pode ser expandida como:

$$y(t) = B [\cos(\omega t) \cos(\delta) - \sin(\omega t) \sin(\delta)]. \quad (6)$$

Substituindo o $\cos(\omega t)$ da Eq.(4) na Eq.(6) temos,

$$\frac{y}{B} = \frac{x}{A} \cos \delta - \sin \delta \sqrt{1 - \frac{x^2}{A^2}} \quad (7)$$

de onde finalmente fica

$$\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - \frac{2xy}{AB} \cos \delta = \sin^2 \delta. \quad (8)$$

No caso $A = B$, os diferentes valores de δ representam uma família de elipses, que em casos particulares podem degenerar em círculos ou retas, como mostrado na Fig.9.

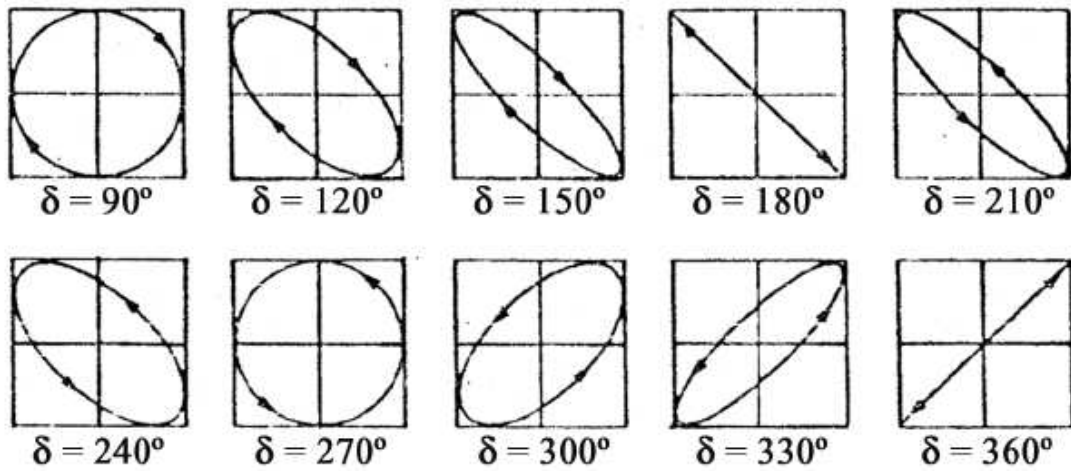


Figura 9: figuras de Lissajous para o caso de dois sinais de igual frequência.

Se $A \neq B$, nos casos de $\delta = 90^\circ, 270^\circ$ também teremos elipses, só que horizontal ou vertical, dependendo se temos $A < B$ ou $A > B$.

Na Fig. 10 é mostrada a construção gráfica das figuras de Lissajous.

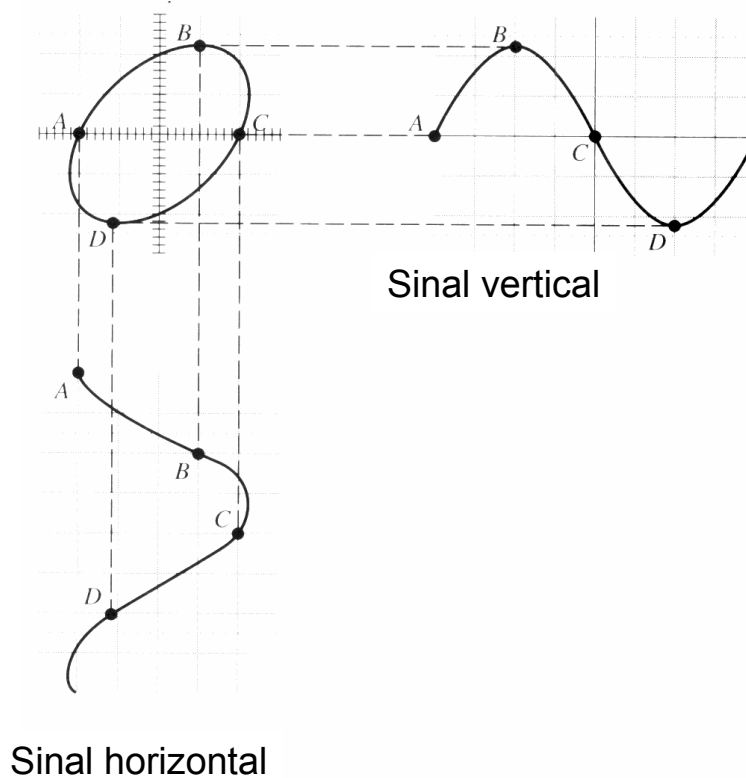


Figura 10: exemplo de construção gráfica das figuras de Lissajous.

O caso mais geral inclui sinais que, ademais de ter uma fase relativa $\delta \neq 0$, tem frequências diferentes. As figuras de Lissajous para esses casos mais gerais estão na Fig.11.

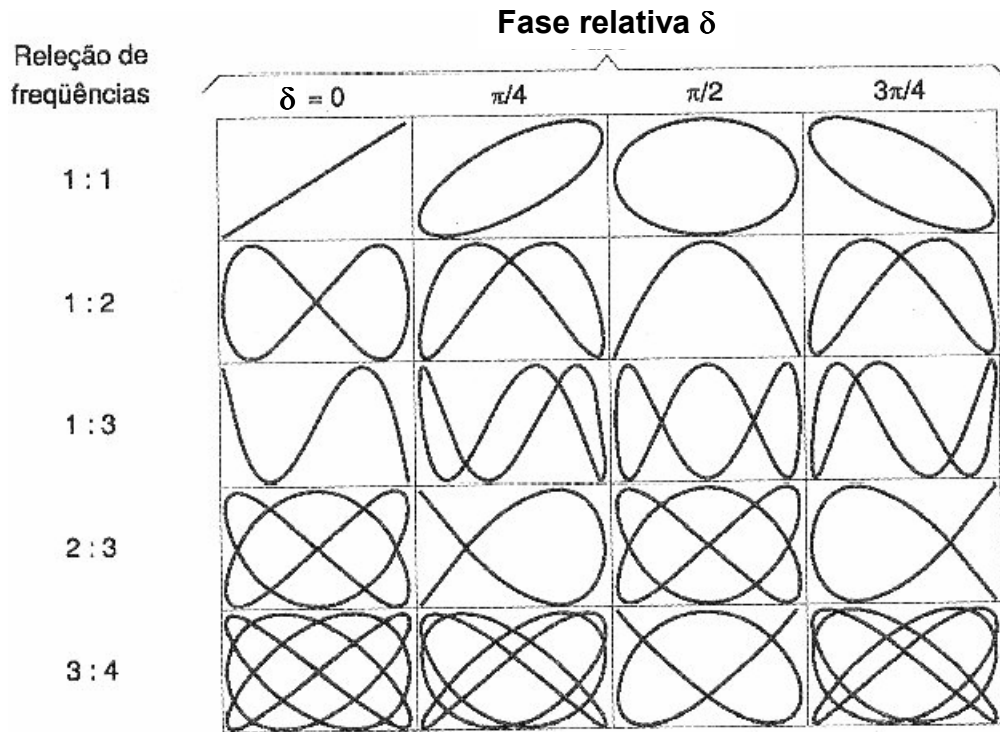


Figura 11: figuras de Lissajous no caso de sinais com frequências diferentes.

As figuras de Lissajous são usadas para medição de fase ou frequência. No caso de sinais da igual frequência (Fig.9), podemos determinar a diferença de fase. No caso de sinais de diferente frequência, poderemos medir a relação de frequência entre os dois sinais.

Em ambos os casos, poderemos visualizar as figuras de Lissajous no osciloscópio conectando no canal horizontal um outro sinal elétrico. O osciloscópio tem uma configuração específica para realizar essa conexão (modo XY).

Se temos dois sinais de igual frequência conectadas nos canais X e Y do osciloscópio, a diferença de fase pode-se obter como

$$\delta = \sin^{-1} \frac{y_1}{y_2} = \sin^{-1} \frac{x_1}{x_2}, \quad (9)$$

onde y_1 , y_2 , x_1 e x_2 são mostrados na Fig.12.

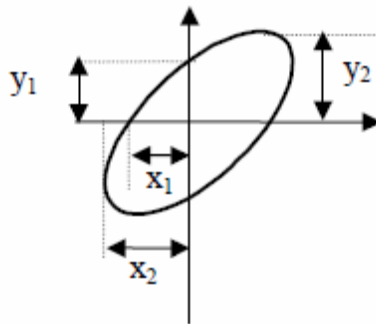


Figura 12: parâmetros necessários para medir diferença de fase entre dois sinais de igual frequência.

Para achar a relação de frequências entre os dois sinais devemos fazer o seguinte calculo

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{número de lóbulos que corta a linha horizontal}}{\text{número de lóbulos que corta a linha vertical}} \quad (10)$$

O método é aplicável quando a relação de frequências é um número inteiro.

Experimento

- i) Aprender os controles básicos do osciloscópio e do gerador de sinais.
- ii) Medir amplitude, período e frequência para 3 sinais senoidais, três quadradas e três triangulares. Fazer gráficos em papel milimetrado do sinal mostrado na tela do osciloscópio.
- iii) Colocar o osciloscópio no modo XY. Conectar dois sinais no osciloscópio, uma em cada canal. Variando adequadamente a frequência, a amplitude e a fase dos sinais de entrada, achar, utilizando as Figuras de Lissajous, a diferença de fase e a relação de frequências para diferentes situações. Levantar os gráficos em papel milimetrado, tanto da figura de Lissajous como dos sinais individuais na entrada de cada um dos canais do osciloscópio.