

## Osciloscópio

Instrumento que permite a visualização e/ou medida do valor instantâneo de uma tensão em função do tempo. A leitura do sinal é feita numa tela sob a forma de um gráfico tensão  $\times$  tempo (vertical  $\times$  horizontal).

### Osciloscópio Analógico

Neste tipo de instrumento o sinal de entrada é apresentado em tempo real na tela de visualização.

Elementos básicos:

- **Tubo de raios catódicos (TRC):** componente principal do osciloscópio que permite a visualização de um feixe eletrônico numa tela fosforescente.

Um filamento aquecido por uma corrente elétrica emite elétrons que são, em seguida, acelerados e focalizados na direção da tela fosforescente, formando nesta um ponto luminoso. Placas de deflexão horizontal e vertical são utilizadas para produzir um campo elétrico perpendicular à trajetória do feixe eletrônico, possibilitando a sua deflexão e conseqüente deslocamento do ponto luminoso na tela fosforescente. O ponto luminoso deslocando-se na tela em alta velocidade fornece a impressão visual de uma linha contínua.

- **Varredura vertical:** o sinal a ser medido é amplificado e aplicado às placas de deflexão vertical que produzem um campo elétrico responsável pelo deslocamento vertical do feixe. Dessa forma a posição vertical do feixe na tela está diretamente relacionada com a amplitude do sinal de entrada. A tela fosforescente possui divisões que permitem uma medida visual do valor instantâneo do sinal. Tensões da ordem de centenas de volts são necessárias para a deflexão completa do feixe na tela. Um seletor de escalas baseado em um divisor resistivo é usado para adequar o sinal de entrada aos níveis do amplificador vertical.
- **Varredura horizontal:** para que o sinal a ser medido (vertical) possa ser visualizado em função do tempo (horizontal), é aplicada uma rampa linear de tensão nas placas de deflexão horizontal que produz um deslocamento do feixe da esquerda para a direita na tela, com uma velocidade constante. Esta rampa de tensão é baseada na carga de um capacitor por uma fonte de corrente constante. Uma vez que o feixe atinge a extremidade direita da tela, o mesmo retorna rapidamente à extremidade esquerda e é reiniciado o processo. Um seletor de escalas ajusta a velocidade de varredura do feixe através da carga do capacitor (corrente e/ou capacitância).

Obs.: eventualmente pode ser usado um sinal externo qualquer para acionar a deflexão horizontal. Neste caso não é mais válida a velocidade de varredura selecionada. Esta modalidade é útil na determinação da defasagem entre 2 sinais de mesma frequência ou de frequências múltiplas.

- **Sincronismo horizontal:** a visualização “estática” de um sinal **periódico** na tela do osciloscópio só é possível quando a varredura horizontal do feixe está sincronizada em fase e frequência com este sinal. Para que isso ocorra é necessário que o início da varredura horizontal seja definido por um sinal de disparo (*trigger*) proveniente do sinal a ser visualizado. Isso é obtido pela comparação do nível do sinal de entrada com uma tensão de referência. A saída deste comparador (“0” ou “1”) irá acionar o circuito que controla o retorno do feixe à condição inicial (extremidade esquerda da tela).

- $t_m$ : tempo “morto” → feixe está apagado no início da tela aguardando disparo;
- $t_H$ : tempo de varredura horizontal (relacionado com a base de tempo escolhida no seletor da varredura horizontal);
- $T_H$ : período de varredura horizontal →  $T_H = t_H + t_m$

Obs.: para que haja sincronismo deve ocorrer que  $T_H = \frac{n}{f_i}$ , sendo  $f_i$  a frequência do sinal visualizado e  $n$  inteiro  $\geq 1$ .

- **Caraterísticas e limitações:**

Determinadas características e limitações comuns à maioria dos osciloscópios serão apresentadas a seguir:

- **Características de varredura vertical:**

- a) Posição do feixe na tela: ajuste da tensão de *offset* do amplificador vertical de modo que se possa escolher a posição vertical do feixe na tela. Em geral o feixe é posicionado no centro da tela para  $v_i = 0$ .
- b) Acoplamento do sinal de entrada:
  - DC: acoplamento direto de  $v_i$  ao amplificador vertical;
  - GND: entrada do amplificador vertical é conectada ao “terra” para ajuste da posição “zero” na tela;
  - AC: um capacitor é conectado em série com o sinal de entrada de modo a “bloquear” a componente DC de  $v_i$  (filtro passa-altas);

- $f_{cl}$ : frequência de corte inferior (da ordem de alguns Hz);

- $$f_{cl} = \frac{1}{2\pi R_i C_{is}}$$

Obs.: para a grande maioria dos sinais ou quando o sinal a ser medido é desconhecido deve-se utilizar o acoplamento **DC**. O acoplamento AC pode ser útil na visualização detalhada de um sinal AC de baixa amplitude superposto a um sinal DC de amplitude superior (o *ripple* de uma fonte DC, por exemplo). Dessa forma pode-se ampliar a escala sem que o nível DC sature o amplificador vertical.

c) Banda passante (BW): define a frequência máxima de operação do osciloscópio ou frequência de corte superior ( $f_{cs}$ ) que é limitada pela resposta do amplificador vertical e pelo TRC. Nessa frequência um sinal senoidal  $v_i$  aparece na tela com uma amplitude reduzida de -3 dB ou  $v_i/\sqrt{2}$ . É uma das características mais importantes a serem consideradas na escolha do osciloscópio para medida de altas frequências. Para a análise de sinais quadrados (digitais) esta limitação é melhor ilustrada em termos dos tempos de subida e descida do feixe na tela ao ser aplicada uma função degrau na entrada.

- $t_r$ : tempo de subida;

- $t_f$ : tempo de descida;

- $t_r \cong t_f \cong \frac{1}{3,5f_{cs}}$

d) Impedância de entrada: associação paralela das resistências e capacitâncias do circuito de entrada. A grande maioria dos osciloscópios possui  $R_i = 1 \text{ M}\Omega$  e  $C_{ip}$  de algumas dezenas de pF. A impedância de entrada pode introduzir erros consideráveis na medida de circuitos de alta impedância, principalmente em se tratando de sinais de alta frequência.

e) Seleção vertical do feixe (VERTMODE):

- CH1: feixe acionado pelo sinal do canal 1;
- CH2: feixe acionado pelo sinal do canal 2;
- ALT: ambos os canais acionam o feixe alternadamente a cada nova varredura. Usado na visualização simultânea de sinais de alta frequência.
- CHOP: acionamento do feixe chaveado entre os canais 1 e 2 várias vezes durante cada varredura. Usado na visualização simultânea de sinais de baixa frequência.

- SOMA (ADD): soma dos canais 1 e 2. Se um dos canais estiver invertido, o resultado é a diferença entre os mesmos, usualmente CH1 - CH2. Útil na medida de diferenças de potencial não relativas ao “terra”.

▪ **Características do sincronismo horizontal**

a) Fonte de sincronismo (SOURCE)

- Interno:
  - CH1: sinal proveniente do canal 1;
  - CH2: sinal proveniente do canal 2;

- Alternado (VERTMODE): alternância entre os sinais dos canais 1 e 2. Usado em conjunto com o modo de visualização alternada do feixe.

Obs.: este modo de sincronismo permite a visualização “estática”, na tela, de dois sinais de frequências distintas. Para sinais de mesma frequência deve-se atentar para o fato de que a defasagem visualizada será sempre zero, independente da fase real entre os sinais;

- Externo (EXT): sincronismo proveniente de sinal acoplado a um conector externo;
- Linha (LINE): sincronismo proveniente da rede eléctrica (60 Hz, no Brasil).

b) Nível de sincronismo (LEVEL): define o nível de tensão do comparador de disparo de sincronismo.:

- Manual: nível ajustado manualmente;
- Automático (LOCK): nível definido pelo valor médio do sinal seleccionado como fonte de sincronismo através de filtro passa baixas.

Obs.: o modo automático não funciona corretamente para sinais de baixa frequência (inferior à frequência de corte do filtro).

c) Polaridade (SLOPE): seleciona o sincronismo pela subida (+) ou pela descida (-) do sinal;

d) Acoplamento:

- DC: acoplamento direto do sinal de sincronismo ao comparador;
- AC: acoplamento através de filtro passa-altas. É útil na sincronização de sinais alternados somados a níveis DC;
- Rejeição de alta frequência (HFREJ): acoplamento através de filtro passa-baixas. Útil na sincronização de sinais de baixa frequência superpostos a sinais de alta frequência ou ruídos;
- TV: acoplamento através de filtros passa-faixa centrados nas frequências de varredura horizontal (~ 15,7 kHz) e vertical (~ 60 Hz) do sinal de televisão.

e) Modo de varredura (SWEEP MODE):

- Normal: a varredura do feixe só é efetuada quando existe um sinal de sincronismo adequado, caso contrário o feixe não é visualizado na tela (feixe apagado na extremidade esquerda);
- Automático: varredura normal quando há sinal de sincronismo adequado, caso contrário o sincronismo é forçado por um disparo interno e o feixe é visualizado na tela.

Obs.: quando não existe sinal de entrada ou quando o mesmo é desconhecido, preferencialmente usar este modo de varredura;

- Único (SINGLE): uma única varredura horizontal é efetuada a partir do acionamento manual de uma chave “push bottom”. Útil na sensibilização de filme fotográfico (tirar foto da tela do osciloscópio).



- f) Tempo morto (Hold off): ajuste do “tempo morto” (feixe apagado) entre as varreduras horizontais. Quanto menor este tempo, maior a intensidade média do feixe na tela. Este ajuste pode ser útil na sincronização de sinais complexos ou de baixa intensidade.

### Acessórios e Ajustes do feixe na tela

- a) **Ponta de prova:** cabo coaxial através do qual é levado o sinal a ser medido até o osciloscópio. Em geral possui chave atenuadora de tensão x 10 (ou x 100) com a finalidade de ampliar a faixa do seletor de escalas e minimizar o efeito de sobrecarga no circuito a ser medido (causado pela capacitância do cabo). Nesta opção a escala vertical selecionada deve ser multiplicada por 10 e a impedância de entrada passa a  $10 R_i$  (tipicamente  $10 M\Omega$ ). Uma compensação da capacitância de entrada é necessária para uma correta visualização de sinais rápidos. Esta opção é útil na medida de sinais provenientes de circuitos com alta impedância ou alta frequência.

\*  $C_a$  deve compensar a parte reativa do divisor de tensão ( $C_{ip} + C_c$ ).

$$v_i' = \frac{v_i}{10} = v_i \cdot \frac{R_i}{R_i + R_a} \Rightarrow \frac{R_i}{R_i + R_a} = \frac{1}{10} \therefore R_a = 9R_i$$

de modo equivalente para a parte reativa:  $X_{Ca} = 9X_{Cip} \therefore \frac{1}{j\omega C_a} = \frac{9}{j\omega C_{ip}} \therefore C_a = \frac{C_{ip}}{9}$

Constante de tempo:  $R_a C_a = R_i C_{ip}$

Obs.:  $C_a$  é um capacitor variável e deve ser ajustado aplicando-se uma onda quadrada na ponta de prova (sinal de calibração) de modo que a visualização na tela seja correta.

- b) Sinal de calibração : onda quadrada de amplitude e frequência conhecidas (tipicamente  $0,5 V_{pico}$ ; 1 kHz) usada para calibração da ponta de prova do osciloscópio.
- c) Ajustes do feixe:
  - Intensidade: ajusta a intensidade do feixe de elétrons e conseqüentemente o brilho na tela.
  - Foco: focaliza os elétrons corretamente na tela de modo a obter-se um fino traço na tela.
  - Rotação: ajusta a inclinação do feixe na tela.