

8 *Osciloscópios Analógicos*

É um dos instrumentos de medidas eletro-eletrônicas mais versáteis, permitindo a visualização de formas de onda, periódicas ou não, bem como memorização (analógica ou digital) e acoplamento a sistemas de medições computadorizados. Os osciloscópios podem ser divididos em duas categorias com respeito à tecnologia utilizada na sua construção que são: analógicos e digitais.

Os osciloscópios analógicos apresentam uma estrutura tal que a amplitude do sinal sob observação é verificada como num procedimento de medição, de tensão analógica comum. Podem dispor de sistemas de memorização analógica, comumente de Persistência ou Retenção, no TRC (Tubo de Raios Catódicos) utilizando o fenômeno de Emissão Secundária.

São três as medidas básicas que podem ser efetuadas com um osciloscópio analógico: tensão, tempo/frequência e diferença de fase. Antes de iniciar qualquer medição com o osciloscópio devem-se ajustar os controles do tubo (atributos visuais: foco, brilho, astigmatismo) de modo a obter-se um traço o mais fino e nítido possível com o mínimo de brilho e na posição desejada no sentido horizontal, vertical e inclinação (Trace Rotation).

Qualquer medição feita só estará correta, isto é, a relação entre as indicações dos comandos de tempo (ms/div ou s/div) e de amplitude (Volts/div) e a quantidade de divisões da tela (na horizontal e na vertical respectivamente) só será válida, se todos os comandos de ajuste contínuo estiverem calibrados. Caso contrário a única informação que se pode colher é qualitativa.

8.1 Escala

O monitor de um osciloscópio é normalmente, um retângulo de 10cm x 8cm, subdividido em quadrículos que permitem a leitura dos sinais visualizados. No modo X-Y os eixos vertical e horizontal representam só tensões, enquanto que no modo Y-T a direção vertical representa tensões e a direção horizontal representa o tempo. As escalas de tensão e tempo são variáveis e controladas pelos seletores de amplificação e base de tempo. Para se ter uma idéia, considere o exemplo mostrado na Figura 57.

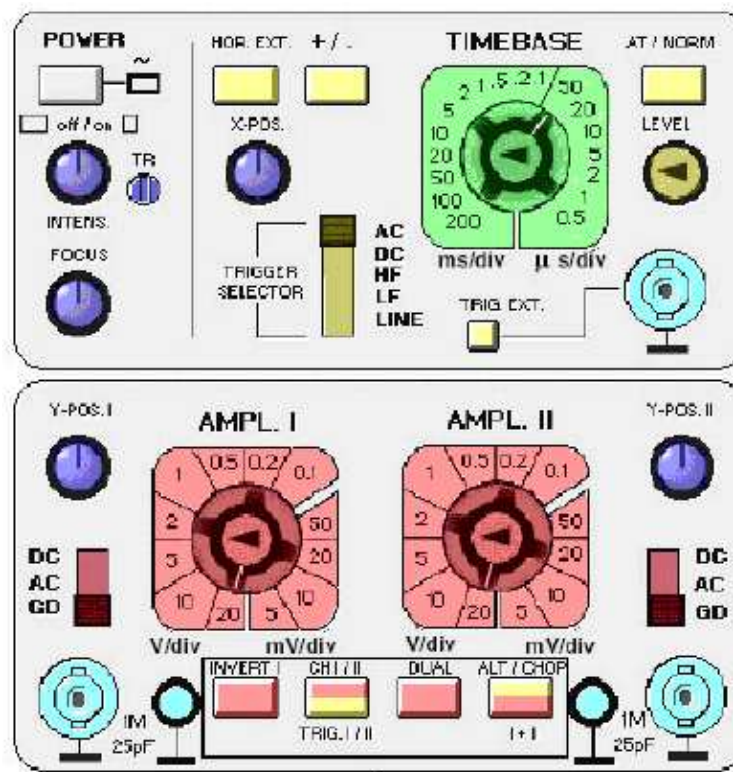


Figura 57: Detalhe dos controles do osciloscópio.

A relação entre o desvio espacial na escala vertical, Y, e o valor correspondente de tensão, V, é dada por: $V = S.Y$, onde S representa a sensibilidade em Volt/divisão, ou seja, a escala.

O osciloscópio é basicamente constituído por duas partes:

- Tubo de raios catódicos com tela fosforescente;
- Circuitos eletrônicos de controle.

8.2 Tubo de raios catódicos com tela fosforescente

O tubo de raios catódicos é o elemento essencial do osciloscópio. Este consiste numa ampola de vidro fechada no interior da qual se encontram, sob vácuo (cerca de 10-30 mbar), os seguintes componentes:

1. Canhão eletrônico
2. Sistema de desvio magnético ou eletrostático
3. Anteparo fosforescente em sulfureto de zinco.

A Figura 58 abaixo mostra o diagrama simplificado do tubo de raios catódicos que também pode ser visto na Figura 59.

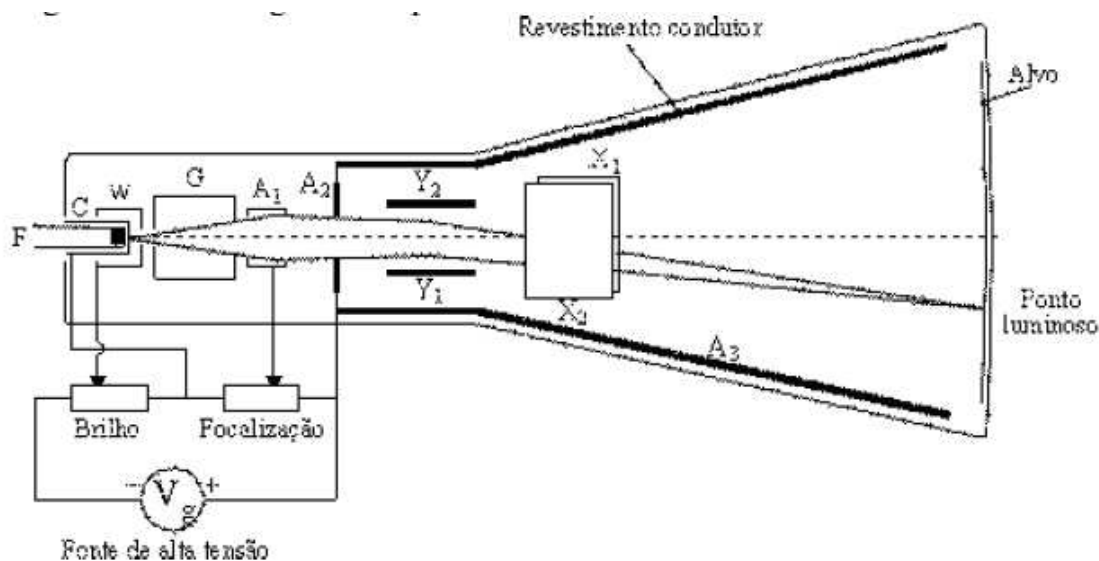


Figura 58: Diagrama simplificado do tubo de raios catódicos.

8.2.1 Canhão Eletrônico

O canhão eletrônico, mostrado na Figura 60, é o dispositivo que produz e controla o feixe de elétrons, e pode ser subdividido em três partes principais:

1. **Catodo Emissor de Elétrons:** Este é constituído pelo filamento F que quando aquecido, pela passagem de corrente elétrica, promove a emissão de elétrons do cátodo

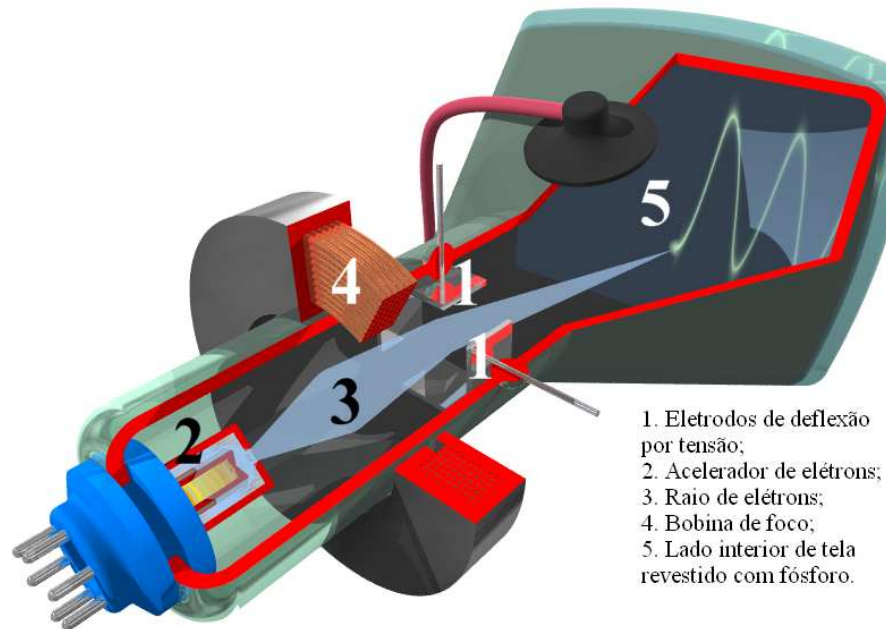


Figura 59: Diagrama em corte de um osciloscópio típico.

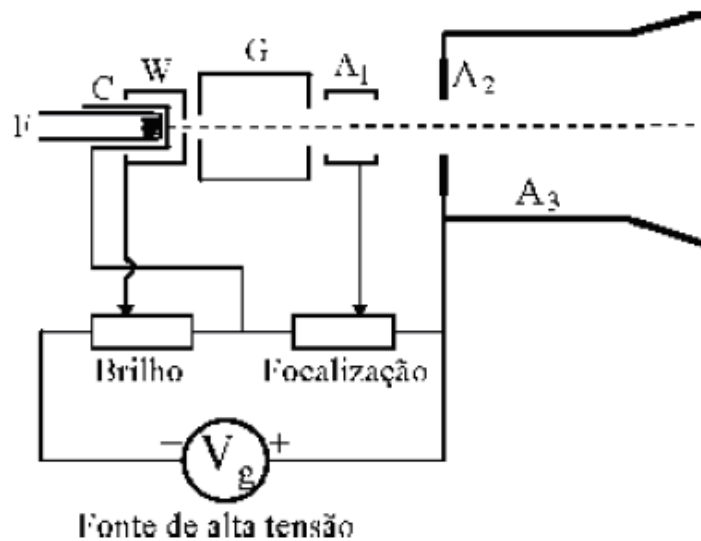


Figura 60: Diagrama do canhão de elétrons.

C por efeito termiônico. Os raios catódicos são obtidos em vasos fechados a pressões inferiores a cerca de 10-30 mbar, encerrando dois eletrodos, aos quais se aplica um potencial suficientemente elevado. Estes raios são formados por elétrons e , por isso, podem ser manipulados por intermédio de campos elétricos e magnéticos. Os elétrons, por terem uma pequena massa ($9,11 \times 10^{-31}$ kg), são muito sensíveis mesmo a uma

pequena ddp, justificando assim o seu uso na construção de osciloscópios.

A eficiência de produção de elétrons pode ser substancialmente aumentada quando é aplicado o fenômeno da emissão termiônica ao catodo. Sabe-se que os metais incandescentes emitem espontaneamente elétrons, mesmos na ausência de um campo elétrico, os quais formam uma nuvem eletrônica em torno do corpo incandescente. Assim, quando se aquece o catodo forma-se em torno deste uma nuvem eletrônica. Se ao catodo for aplicada uma diferença de potencial, relativamente ao anodo, o campo elétrico resultante arrastará os elétrons no sentido do anodo, formando-se assim um feixe eletrônico (ou feixe de raios catódicos).

Para osciloscópios com uma largura de banda maior, onde o traço pode mover-se mais rapidamente através da tela, é tipicamente utilizada uma tensão de aceleração pós-deflexão de mais de 10000 volts, aumentando a velocidade com que os elétrons atingem o fósforo. A energia cinética dos elétrons é então convertida pelo fósforo em luz visível no ponto do impacto. É através da variação dessa tensão que se obtém o ajuste de luminosidade.

2. **Grelha de Comando (cilindro de Wehnelt):** A grelha W quando é polarizada negativamente em relação ao eletrodo A2 (anodo) forma e acelera o feixe de elétrons. A intensidade do feixe, brilho, é controlada através da ddp entre a grelha e o anodo: quanto maior for a ddp, maior é o número de elétrons no feixe, ou seja, mais brilhante é o feixe.
3. **Sistema de aceleração e focagem:** Constituído pelos eletrodos G e A1, posicionados entre a grelha W e o anodo, limitam a seção do feixe, ou seja, a focagem, por um ou mais diafragmas e imprimem-lhe ainda certa aceleração. O eletrodo G permite eliminar a interação entre os comandos de brilho e de focagem.

8.2.2 Sistema de Deflexão

O sistema de deflexão, mostrado na Figura 58, é constituído pelos eletrodos X1 e X2, dispostos segundo a horizontal, e pelos eletrodos Y1 e Y2, dispostos segundo a vertical. Se os eletrodos estiverem todos ao mesmo potencial, o feixe de elétrons atravessa a região do espaço compreendida entre os dois pares de eletrodos e incide no centro do alvo fosforescente, onde se verá uma mancha luminosa. Quando se aplica uma ddp aos eletrodos, o feixe eletrônico

é defletido. Como resultado, a mancha luminosa apresenta um deslocamento da sua posição sobre o alvo diretamente proporcional à ddp entre os dois pares de eletrodos:

$$x = K_x V_x$$

$$y = K_y V_y$$

V_x e V_y são as ddp's aplicadas às placas. K_x e K_y são constantes de proporcionalidade que dependem da montagem. Se o osciloscópio for usado para observar a variação de uma ddp em função do tempo, esta tensão será aplicada às placas horizontais Y1Y2, provocando o deslocamento vertical do feixe. O deslocamento vertical será proporcional à ddp V_y aplicada. Às placas verticais X1X2, aplica-se uma ddp V_x , fornecida por um circuito eletrônico designado por BASE DE TEMPO.

A ddp aplicada pelo circuito da base de tempo atuará sobre o feixe deslocando-o na horizontal, da esquerda para a direita, com uma velocidade constante designada por velocidade de varredura. Na tela obter-se-á a imagem da função $y(x) = V_y(t)$. Neste modo de funcionamento diz-se que osciloscópio funciona em MODO Y-T. Se em vez de aplicarmos a tensão de varredura às placas verticais, aplicarmos uma outra ddp V_x , obteremos na tela a imagem da função $V_y = V_y(V_x)$. Neste último caso diz-se que o osciloscópio funciona no modo X-Y.

8.2.3 Anteparo Fosforescente

O anteparo fosforescente converte a energia do feixe de elétrons em luz visível, permitindo assim a observação do ponto de incidência do feixe no alvo. Além da emissão de luz, o alvo emite também elétrons secundários que são atraídos pelo revestimento condutor do tubo, fechando assim o circuito elétrico. Os elétrons secundários ao acumularem-se sobre a superfície da tela dão origem ao fenômeno bem conhecido de eletricidade estática.

A eficiência da luminosidade do alvo depende essencialmente de três fatores: a concentração do dopante fosforescente do alvo, da energia cinética e da intensidade do feixe eletrônico. A concentração de dopante é estabelecida pelo fabricante do aparelho. A energia do feixe de elétrons depende da geometria e potenciais do canhão eletrônico e do dispositivo de pós-aceleração. A intensidade do feixe pode ser ajustada através do comando de brilho que permite controlar o número de elétrons emitidos pelo catodo.

A persistência da fosforescência do alvo é muito pequena de modo a ser possível observar sinais muito rápidos. Mas como nem o olho nem o cérebro humano têm capacidade de analisar acontecimentos tão rápidos, a visualização dos traços na tela é conseguida através de passagens sucessivas do feixe eletrônico pelos mesmos pontos, cujo sincronismo é controlado pelo circuito da base de tempo. A sobreposição sucessiva da varredura do feixe eletrônico sobre o alvo fosforescente origina um traço estável no monitor, como mostra a Figura 61.

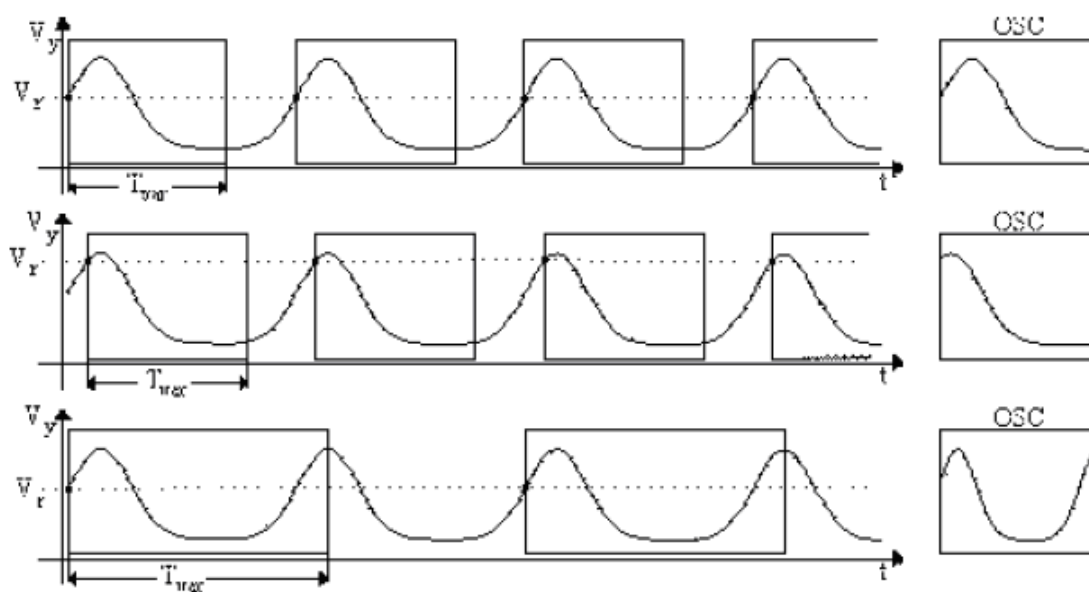


Figura 61: Persistência do sinal na tela do osciloscópio.

8.3 Circuitos Eletrônicos

O osciloscópio é um aparelho que mede diferenças de potencial, devendo, portanto ter uma resistência interna elevada, tal como é exigido a qualquer voltímetro. Na maioria dos osciloscópios essa resistência é de $1\text{ M}\Omega$, podendo ser aumentada para $10\text{ M}\Omega$ com o auxílio de uma ponta de prova. O esquema de blocos, representado na Figura 62, apresenta os componentes eletrônicos principais de um osciloscópio onde se destacam:

1. Circuito de entrada;
2. Seletor de ganho do módulo de amplificação;
3. Seletor de modo de entrada;

4. Seletor de modo de funcionamento;
5. Seletor da fonte do trigger;
6. Filtro;
7. Circuito da base de tempo.

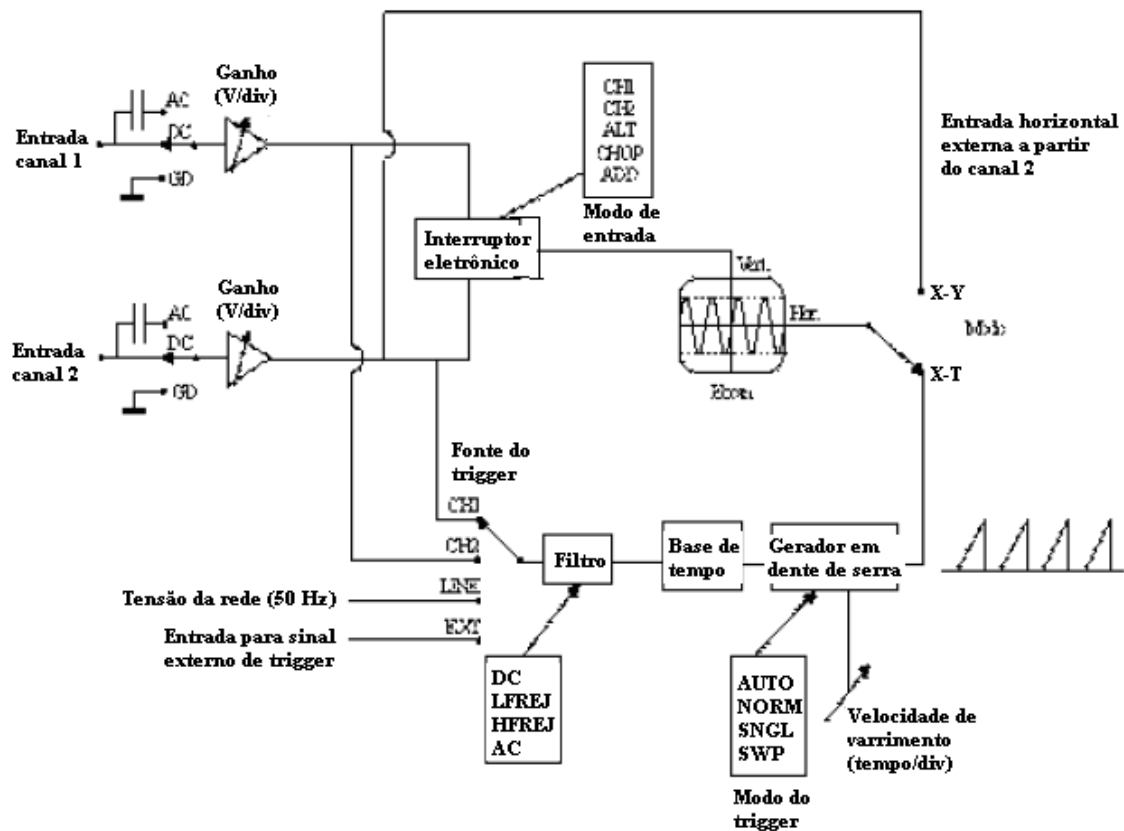


Figura 62: Diagrama de blocos dos circuitos eletrônicos do osciloscópio.

8.3.1 Circuitos de Entrada

Os sinais podem ser aplicados ao osciloscópio através das entradas Y (Canal 1 e Canal 2) e TRIGGER EXT (sinal opcional para trigger) que apresentam uma resistência interna de entrada de 1 MΩ. Normalmente, os osciloscópios dispõem de duas entradas, mas também se encontram aparelhos com quatro entradas. Junto de cada entrada Y encontra-se o seletor do tipo de acoplamento ao módulo de amplificação com o qual se seleciona a escala do

monitor. A Figura 63 apresenta o esquema do circuito de entrada onde se pode ver o seletor de comutação entre os vários tipos de acoplamento. O comutador permite seleccionar o tipo de acoplamento: AC, DC, ou GND. O amplificador de ganho variável controla a escala de visualização do sinal.

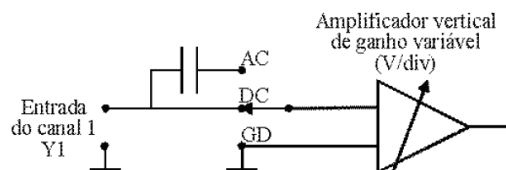


Figura 63: Esquema do circuito de entrada.

O acoplamento pode ser:

- DC (acoplamento contínuo) - O sinal na entrada é aplicado diretamente ao circuito de amplificação e assim registra níveis alternados e contínuos superpostos.
- AC (acoplamento filtrado) - Só a componente variável no tempo do sinal é aplicada ao amplificador, a componente contínua é filtrada pelo capacitor C, ou seja, registra apenas níveis de tensão alternados.
- GND - O sinal presente na entrada é curto-circuitado com a massa. Esta posição do comutador é usada sempre que se pretende ajustar o nível de tensão zero, também designado por linha de base.

A Figura 64 apresenta a visualização de um sinal V_y nos modos AC, DC e GND, respetivamente.

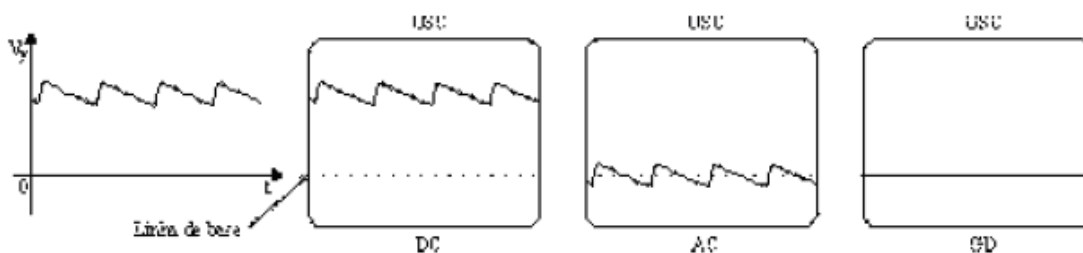


Figura 64: Sinal V_y nos modos AC, DC e GND.

8.3.2 Ganho do Módulo de Amplificação

Junto de cada entrada encontra-se também o regulador de ganho do amplificador vertical que regula a escala de tensões na tela. Habitualmente as escalas de tensão variam entre 5 mV/div a 20 V/div, podendo ser selecionada de acordo com a amplitude do sinal em observação. Como o número total de divisões na tela do osciloscópio é igual a 8, é possível observar ddp até um máximo de 160 V, pico a pico. No entanto, quando necessário, é possível a medição de ddp de amplitudes maiores, bastando para tal atenuar o sinal por um fator conhecido. As pontas de prova permitem, geralmente, atenuações do sinal por um fator de 10, 100 ou 1000, o que nos permite medir ddps bastante elevadas.

Para medir uma ddp basta multiplicar o número de divisões que o sinal abrange na escala vertical, relativamente à linha de base, pelo valor do ganho selecionado. Por exemplo, se um sinal apresenta uma amplitude de 5 divisões na tela e a escala utilizada é 0,1 V/div., a amplitude do sinal em volts vale: $(5 \text{ div}) \times (0,1 \text{ V/div}) = 0,5 \text{ V}$.

8.3.3 Seleção do Modo de Entrada

O osciloscópio, mostrado na Figura 57, permite selecionar o modo de amostragem dos vários canais de entrada do osciloscópio:

- CH1 - mostra apenas o canal 1;
- CH2 - mostra apenas o canal 2;
- ALT - mostra alternadamente varreduras completas de cada um dos canais. Para que a alternância não seja perceptível a varredura deve apresentar um período inferior a $1/n$ da persistência da retina do olho humano, onde n é o número de canais amostrados. Para dois canais, por exemplo, um período de 50 Hz é suficiente. Resumidamente, as formas de onda dos dois canais são mostradas alternadamente, um canal de cada vez, sendo utilizado para a visualização de sinais de alta frequência;
- CHOP - a apresentação dos dois canais é efetuada numa única varredura completa do feixe de elétrons por partilha de tempo. A comutação efetua-se a elevada frequência (100 kHz) de forma a garantir que a distância entre traços consecutivos seja inferior ao diâmetro da mancha luminosa. Deste modo a sequência de pequenos traços é percebida

como uma linha contínua. No entanto, se a frequência de varredura for inferior a 1 kHz, pode-se observar um traço descontínuo. Assim, as formas de onda dos dois canais são mostradas simultaneamente de forma segmentada, sendo utilizado para a visualização de sinais de baixa frequência.

- ADD - os sinais presentes nos canais 1 e 2 são somados e mostrados.

8.3.4 Seleção do Modo de Funcionamento

Existe um comutador que permite selecionar o sinal que é aplicado às placas verticais do tubo de raios catódicos: o sinal do tipo de dente de serra da base de tempo (explicado depois), ou o sinal presente na entrada 2 (CH2).

a) MODO Y-T

Neste modo de funcionamento observamos no monitor os sinais presentes nas entradas CH1 e/ou CH2 em função do tempo. Este efeito é conseguido aplicando uma onda do tipo dente de serra às placas verticais do tubo de raios catódicos. Deste modo o feixe de elétrons movimenta-se da esquerda para a direita do monitor (varredura do feixe) com uma velocidade constante, monitorando instantaneamente a tensão aplicada às placas horizontais. A escala temporal do monitor é determinada pelo declive da onda em dente de serra que pode ser ajustado pelo seletor da BASE DE TEMPO do painel de comandos do osciloscópio. Tipicamente, encontram-se osciloscópios com escalas temporais que variam entre cerca de 0,5 ms/div e 200ms/div.

b) Modo X-Y

Neste modo de funcionamento observamos no monitor o sinal do canal CH1 em função do sinal do canal CH2. O circuito da base de tempo é desligado, logo o sincronismo de amostragem da figura monitorada depende do tipo de sinais usados. Se os sinais amostrados forem periódicos o traço resultante descreve uma figura fechada, em geral complexa e instável. No caso particular de sinais senoidais em que a razão entre as frequências é um inteiro ou uma fração racional formam-se as conhecidas figuras de Lissajous. Estas figuras, estudadas mais adiante, apresentam uma forma característica que depende da razão entre as frequências e da diferença de fase inicial das duas ondas. Esta característica pode ser usada para efetuar medidas de frequência de sinais com base num sinal de frequência conhecida.

8.3.5 Base de Tempo

A análise de sinais desconhecidos com o osciloscópio é sempre dada em função de outra tensão de características conhecidas. Normalmente aplica-se a tensão conhecida às placas de deflexão horizontal que geralmente é uma função linear no tempo. Essa função tem a forma de um dente de serra, como se pode ver na Figura 65, e origina um movimento horizontal do feixe eletrônico que proporciona uma base de tempo.

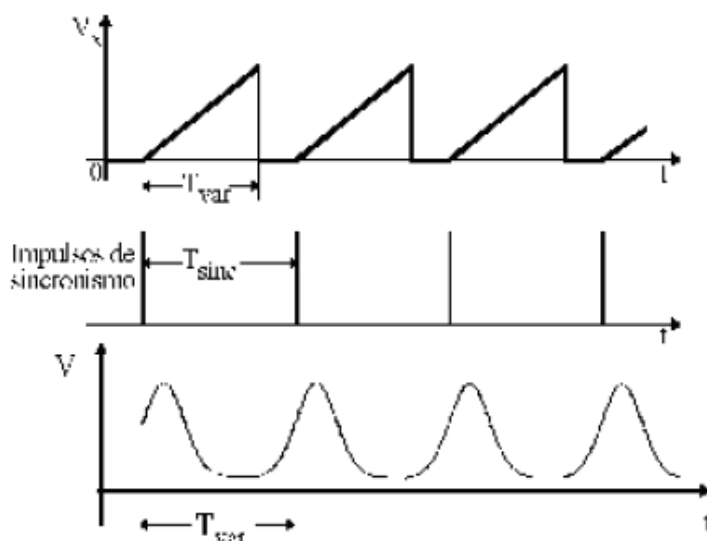


Figura 65: Tensão dente-de-serra aplicada às placas verticais do tubo de raios catódicos e impulsos de sincronismo.

O movimento do feixe inicia-se quando o circuito de trigger aplica um impulso de sincronização à entrada do circuito da base de tempo. O feixe desloca-se da esquerda para a direita, sendo o período de varredura, T_{var} , dado pelo tempo de subida do dente de serra. Atingido o extremo direito da tela a grelha de Wehnelt é sujeita a uma tensão mais negativa que o catodo, impedindo os elétrons de atingirem o alvo fosforescente. Simultaneamente, a tensão de varredura desce rapidamente a zero, desviando assim o feixe para o extremo esquerdo da tela. A varredura seguinte inicia-se quando o circuito da base de tempo receber outro impulso de sincronismo.

O tempo de varredura, e, portanto a escala da base de tempo, é determinada pelo tempo T_{var} . Este valor pode ser ajustado através de um seletor, chamado TIME BASE, que permite a seleção de valores entre 200 ms e 0,5 ms, dependendo da qualidade dos aparelhos.

8.3.6 Gatilhamento (Trigger)

O passeio horizontal da mancha luminosa à velocidade constante designa-se por varredura e inicia-se no lado esquerdo da tela e termina no lado direito. Mas quando e como se deve iniciar a varredura? Se a varredura se repetir sem interrupção, só por mero acaso se obteria a sincronização das frequências de varredura e do sinal. Conseqüentemente os ciclos consecutivos de varredura não se sobreporiam coerentemente, surgindo na tela uma imagem desordenada e incompreensível, como se pode ver no exemplo da Figura 66.

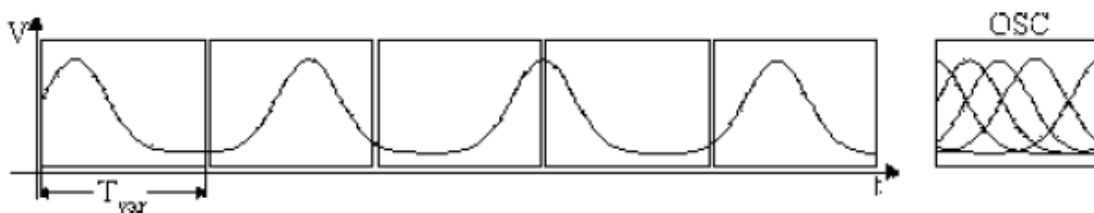


Figura 66: Varredura.

O movimento do feixe eletrônico no sentido horizontal deve funcionar sincronizado com o movimento vertical do feixe, de modo a reproduzir fielmente na tela a forma de onda do sinal de entrada sob observação. Essa sincronização obedece a um sinal de disparo ou gatilhamento (Trigger). O trigger designa um circuito eletrônico que produz um sinal de disparo sempre que o sinal presente na sua entrada, sinal de trigger, satisfaz certas condições. O sinal de disparo é aplicado ao circuito da BASE DE TEMPO, marcando o início de uma varredura.

O sinal de trigger pode ser um dos sinais em análise ou um outro sinal externo, dependendo do modo de trigger selecionado. As condições que o sinal de trigger deve satisfazer incluem o declive e a amplitude, e podem ser ajustados manualmente. Deste modo é possível selecionar um ponto preciso do sinal de trigger para iniciar a varredura, produzindo-se na tela do osciloscópio um traço estável.

Como a frequência dos sinais normalmente observados no osciloscópio é relativamente alta, a varredura horizontal deve ser automática e rápida. A persistência das imagens na retina do olho humano é, em geral, muito maior que o intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas do ponto luminoso. Por isso, não nos é possível observar o deslocamento da mancha luminosa, vendo-se apenas um traço brilhante contínuo sobre a tela. Só com frequências de varreduras menores que 4 Hz ou 5 Hz é possível observar o movimento da mancha sobre a tela.

O gatilhamento inicia a varredura e pode ser obtido de fontes externas ou internas (canais verticais). Para sinais de frequência variável, tais como a saída de contadores, deve-se escolher a menor frequência envolvida para o gatilhamento. No caso de observar sinais de frequências distintas aplicados aos dois canais de um osciloscópio de duplo traço, só será obtida uma tela com ambas as formas de ondas estáveis na tela se houver disponibilidade da opção Alternada (ALT). Caso contrário, uma forma de onda aparecerá estável e a outra ficará correndo na tela.

O trigger designa um circuito eletrônico de sincronização entre a varredura da base de tempo e o sinal a medir. Este circuito sobrepõe as imagens consecutivas do sinal permitindo uma visualização cômoda deste. O sincronismo é obtido a partir da comparação de uma tensão de referência V_r , regulável e constante (designada por nível de trigger ou trigger level) com o valor e inclinação do sinal a medir V_y . Quando o valor da tensão do sinal iguala o nível de trigger, o circuito de trigger aplica à entrada do circuito da base de tempo um impulso que assinala o início da varredura. O circuito de sincronização produz o disparo sempre numa das fases ascendente ou descendente do sinal.

A ação da tensão de varredura V_x cessa quando o feixe de elétrons atinge o lado direito da tela. Durante o intervalo de tempo em que a ddp V_x retorna a 0 V, a grelha G é sujeita a uma tensão mais negativa que o catodo de forma a impedir os elétrons de atingirem o alvo, não se observando assim o traço de retorno. A varredura subsequente inicia-se no instante seguinte em que a tensão do sinal transitar pelo nível de trigger segundo a inclinação selecionada.

Existem dois tipos básicos de sincronização que se designam por TRIGGER AUTO e TRIGGER NORMAL.

8.3.6.1 Trigger Auto

A varredura processa-se permanentemente em intervalos regulares, mesmo quando não exista nenhum sinal nas entradas. É usado para sinais simples ou CC. Selecionando na base de tempo um intervalo de varredura lento (digamos maior que 500 ms/div) é possível ver a mancha luminosa deslocar-se horizontalmente através da tela. Para varreduras mais rápidas tem-se a percepção de uma linha contínua devido à persistência das imagens na retina do olho humano (cerca de 40 ms). Nos modelos mais simples de osciloscópios, este tipo de trigger obtém-se selecionando a posição AT (AUTO) do controle de trigger.

8.3.6.2 Trigger Normal

A varredura inicia-se desde que exista um sinal de entrada compatível com o nível de trigger selecionado. Neste tipo de trigger não há visualização na tela quando não existe nenhum sinal nas entradas ou sincronismo, além de que exige a regulação freqüente do nível de trigger quando se observam diversas ddps. É utilizada para sinais complexos ou de alta freqüência. Existem 2 modos básicos de operação do TRIGGER, o modo EXTERNAL e o modo INTERNAL.

- **Trigger Internal:** O sincronismo do trigger é efetuado com um dos sinais presentes nas entradas do osciloscópio. Nos osciloscópios de dois canais, o sincronismo obtém-se a partir da tensão aplicada ao Canal 1 ou 2, conforme a posição do interruptor TRIG estando em I ou II, respectivamente. Neste último caso é possível ter um sinal num canal utilizando o outro como sinal de sincronização, bastando selecionar MONO e TRIG II para se obter esse efeito.
- **Trigger External:** Neste modo o sinal de sincronização é aplicado numa entrada própria para esse fim. Este modo é usado quando, por exemplo, o sinal que se pretende mostrar contém ruído que se pretende eliminar e se dispõe de outro sinal com freqüência igual. A maioria dos modelos de osciloscópio permite a escolha de outras fontes para o sinal de sincronização, nomeada TV e LINE. No modo LINE o trigger é comandado pela freqüência de alimentação da rede pública de eletricidade. No modo TV o sinal de sincronismo interno (I ou II) é filtrado por um filtro passa-baixa (cerca de 500 Hz) de forma a facilitar a visualização do sinal de televisão. Alguns modelos de osciloscópios mais complexos apresentam um seletor adicional TRIG SEL que permite selecionar os modos AC, DC, LF e HF que filtram as componentes alternada, contínua, de baixas e altas freqüências do sinal de sincronização, respectivamente.

8.3.6.3 Vídeo Trigger

Um circuito que extrai pulsos sincronizadores de formatos de vídeo tais como PAL e NTSC e disparam a base de tempo em todas as linhas, em uma linha específica, em todos os campos, ou em um quadro. Este circuito é tipicamente encontrado dos dispositivos monitores de forma de onda.

8.3.6.4 Gatilhamento Simples

É utilizado para registro de eventos unitários (que só ocorrem uma vez) com pequenas taxas de variação.

8.3.7 Modos de Varredura

Geralmente, são três:

- Normal - a figura apresentada na tela está em perfeito acordo com as indicações dos comandos horizontal e vertical do osciloscópio;
- Magnificada - o tempo de varredura é multiplicado por um valor fixo especificado no comando de Magnificação (Magnifier - Mag: Pull x K);
- Retardada (Delaied) - ocorrem duas varreduras em conjunto, a normal e a de retardo. A operação do retardo permite abrir uma janela de tempo no sinal sob observação de modo a possibilitar a expansão deste na horizontal (modo mixed) ou expandi-lo totalmente (modo delaied) com relação à base de tempo principal (main).

8.4 Medidas Básicas com os Osciloscópios

1. Medida de tensão (ou amplitude) - é o tamanho do sinal na vertical e é obtida multiplicando a quantidade de divisões e suas frações, ocupadas pelo sinal na vertical, pela indicação da chave Volts/div, com os comandos contínuos calibrados.
2. Medida de tempo (período)/frequência - o período de um sinal periódico é o tempo necessário para que este realize um ciclo completo. Seu valor é obtido multiplicando-se a quantidade de divisões e suas frações ocupadas pelo ciclo completo na horizontal pela indicação da chave ms(s)/div, estando todos os comandos contínuos calibrados. O inverso deste produto é a frequência do sinal. Para sinais não periódicos ou porções de sinais periódicos o tempo de duração pode ser obtido da mesma forma.
3. Figuras de Lissajous: permitem determinar a frequência de um sinal periódico a partir da frequência de um sinal padrão conhecido, ou a diferença de fase entre dois sinais de

mesma frequência, injetados um no vertical e outro no horizontal, ou nos dois canais verticais operando da forma X-Y. A seguir, é mostrado alguns casos de aplicação dessas figuras.

- (a) Diferença de Fase (sinais de mesma frequência) - dois sinais de mesma frequência aplicados ao osciloscópio da forma supracitada fazem aparecer na tela uma ELIPSE que permite calcular a diferença de fase entre os dois sinais. Centrando-se a elipse na tela, tem-se:

$$\text{sen}\varphi = \frac{Y_0}{Y_m} \rightarrow \varphi = \text{arcsen}\frac{Y_0}{Y_m}$$

onde Y_0 é a ordenada da interseção da elipse com o eixo vertical e Y_m ordenada máxima da elipse, conforme mostrado na Figura 67.

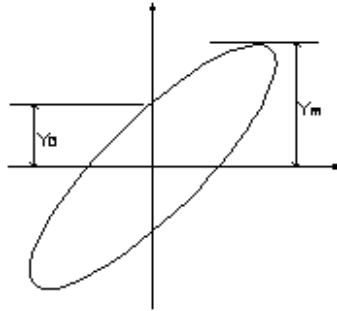


Figura 67: Elipse.

- (b) Frequência (sinais de frequências diferentes) - dois sinais de frequências distintas dão origem a uma figura complexa devida a várias elipses que mudam de eixo de simetria seguidamente, admitindo um retângulo envoltório com lados tangentes à figura e que correspondem às tensões pico-a-pico dos sinais injetados. Há uma relação, mostrada na Figura 68, entre os pontos de tangência da figura, na vertical e na horizontal com os lados do retângulo envoltório, e as frequências dos sinais que é:

$$f_V \cdot N_V = f_H \cdot N_H$$

onde f_V é a frequência do sinal do eixo vertical, f_H é a frequência do sinal do eixo horizontal, N_V é o número de pontos de tangência do sinal na vertical e N_H é o número de pontos de tangência do sinal na horizontal.

4. Medida de frequência pelo eixo Z - consiste em aplicar o sinal de frequência desconhecida no vertical de modo a aparecer pelo menos dois ciclos na tela. Um sinal de frequência

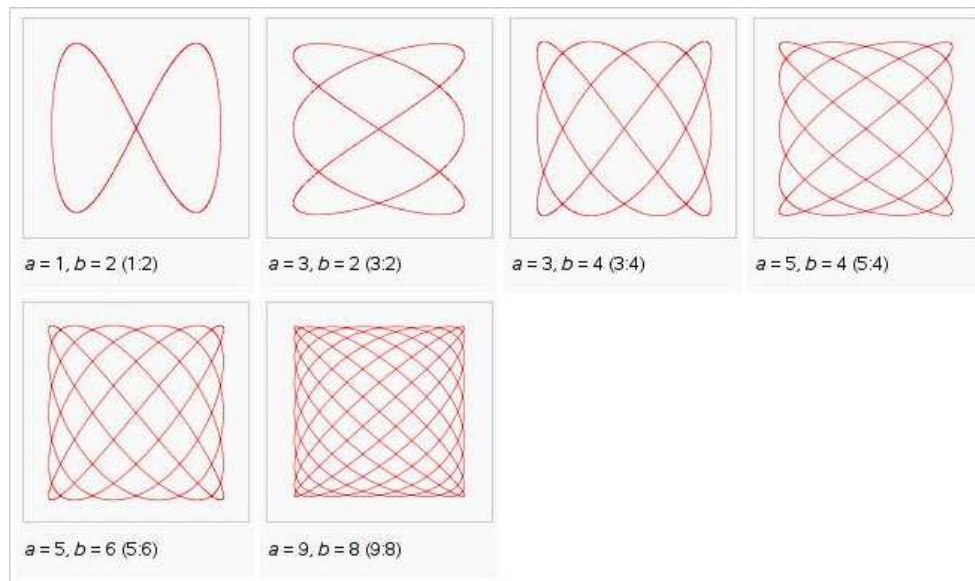


Figura 68: Relação de frequências. A razão a/b representa a relação entre N_V/N_H .

conhecida deve ser aplicado no eixo Z do osciloscópio. Este eixo corresponde a uma entrada capaz de controlar a intensidade do feixe de elétrons. Cada pico do sinal aplicado no eixo Z promoverá o apagamento do TRC produzindo apagamentos no sinal da vertical mostrado na tela. Se o número de apagamentos no sinal mostrado é NAPAG a frequência desconhecida é igual à frequência conhecida dividida por NAPAG. É um método de alto grau de precisão e aplicável a sinais de formas de onda diferentes.

8.5 Pontas de Prova

As pontas de prova realizam a interface entre o osciloscópio e o circuito elétrico no qual desejamos medir alguma diferença de potencial. É muito importante utilizar as pontas de prova projetadas para se trabalhar especificamente com determinado tipo de osciloscópio. As pontas de prova não devem introduzir ruídos que possam vir a perturbar o sinal a ser medido. Existem diversos tipos de pontas de prova. Dentre elas, podemos destacar na Figura 69:

- **Pontas diretas** - As pontas diretas são cabos com um par de garras do tipo “jacaré” e com um conector do tipo BNC na outra extremidade para se realizar a conexão no osciloscópio. Através das garras jacaré se realiza a medida desejada de diferença de potencial no circuito a ser estudado ou testado.

- **Pontas com atenuação** - Este tipo utiliza um atenuador passivo, com atenuações típicas de 10X e 100X, ou ainda sem atenuação (1X). Por convenção, os fatores de atenuação vêm impressos na sonda com o sinal X logo após o fator de divisão, ao contrário dos fatores de amplificação, onde o sinal X aparece antes (X10 ou X100). Algumas pontas apresentam uma chave comutadora, onde o usuário poderá escolher a atenuação desejada (1X ou 10X).

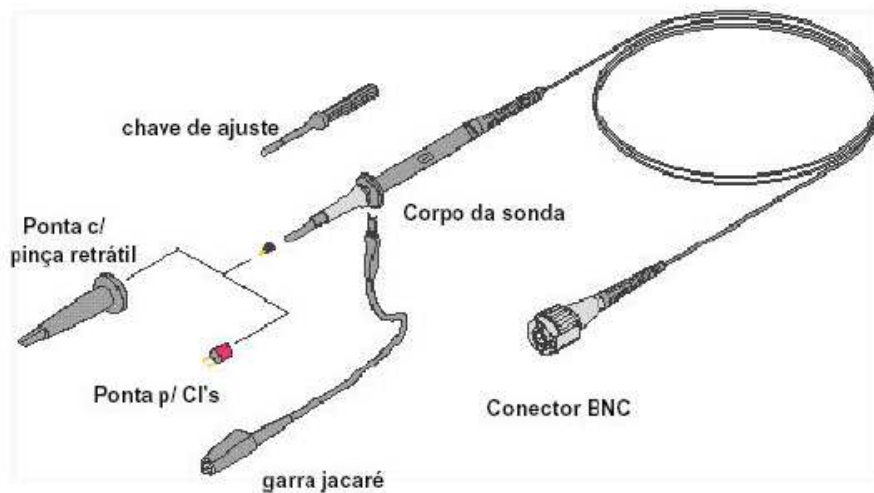


Figura 69: Exemplo de ponta de prova para medida com osciloscópio.