

## **Instrumentos de Medidas II**

### **Osciloscópios**

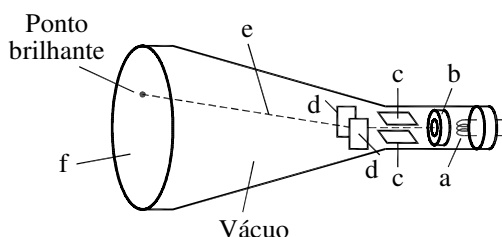
Nesta prática iremos nos familiarizar com o uso de osciloscópios, mostrando algumas das funcionalidades desses instrumentos. Através de exemplos específicos mostraremos como medir em tempo real sinais elétricos (correntes e tensões). Também utilizaremos estes equipamentos para medir a curva  $V \times I$  característica de resistores e de diodos semicondutores. Neste texto usamos o osciloscópio Tektronix 2205 como modelo para discussão, porém todos os osciloscópios comerciais que operam nesta faixa de frequência possuem as mesmas funções básicas. Portanto toda discussão pode se estendida para qualquer outro modelo de osciloscópio.

**Quando for usar os dois canais do osciloscópio, conecte sempre os terminais terras no mesmo ponto do circuito.**

**Sempre que surgir uma dúvida quanto à utilização de um instrumento ou componente, o aluno deverá consultar o professor para esclarecimentos.**

#### **I. O osciloscópio analógico**

Os osciloscópios são instrumentos que permitem medir a dependência temporal de tensões. Na maioria dos osciloscópios essa dependência é visualizada em um tubo de raios catódicos (mostrado na figura 1), no qual um feixe de elétrons produzido por um filamento aquecido é acelerado por uma fonte de alta tensão. O sistema de deflexão constituído por placas paralelas desvia o feixe horizontalmente e verticalmente. A visualização da variação temporal do sinal elétrico é obtida através uma tela fosforescente que se ilumina no ponto em que o feixe de elétrons nela colide. Essa tela possui divisões para facilitar a leitura e medidas quantitativas.

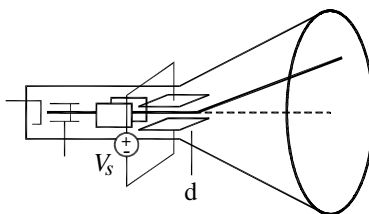


**Figura 1 – Desenho esquemático do tubo de raios catódicos: a – filamento aquecido; b - filtro de velocidades; c - placas defletoras horizontais; d – placas defletoras verticais; e – feixe de elétrons; f - tela fosforescente.**

O filamento a, mostrado na figura 1, produz um feixe colimado de elétrons, e o disco b atua como um seletor de velocidades. No interior do tubo de raios catódicos encontram-se dois pares de placas, c e d, perpendiculares entre si. Ao se aplicar uma diferença de potencial entre duas das placas cria-se um campo elétrico que irá desviar o feixe de elétrons. Por este motivo as placas são denominadas de *placas defletoras*. As placas c produzem deflexão vertical, e as placas d produzem deflexão horizontal.

## II. Deflexão vertical

A posição vertical do feixe é controlada pela tensão entre as placas defletoras verticais. Quanto maior for o campo elétrico entre elas maior será o desvio sofrido pelo feixe em relação a sua trajetória inicial (como mostrado na figura 2). Deste modo, a distância do ponto luminoso ao centro da tela tem uma correspondência direta com a amplitude da tensão aplicada entre as placas. A tensão a ser lida não é aplicada diretamente nas placas, mas passa por um circuito que ajusta a amplitude da tensão aplicada à dimensão vertical da tela. Assim, existe uma correspondência exata entre tensão e dimensão geométrica da tela (Volts/divisão). Em osciloscópios comerciais esse ajuste é realizado pelo botão de ajuste de escala vertical mostrado na figura 3a, e em geral pode variar desde 5 mV / div até 20 V / div.



**Figura 2 – sistema de deflexão vertical. O feixe de elétrons é desviado devido à aplicação de uma tensão V nas placas defletoras verticais.**

### III. Deflexão Horizontal (Base de tempo)

A amplitude de uma certa tensão pode ser medida através da deflexão vertical do osciloscópio, porém não é possível determinar sua dependência temporal somente através da deflexão vertical. Para isso é necessário aplicar uma tensão no sistema de deflexão horizontal que varie linearmente com o tempo (onda tipo dente de serra), como mostrado na figura 4.

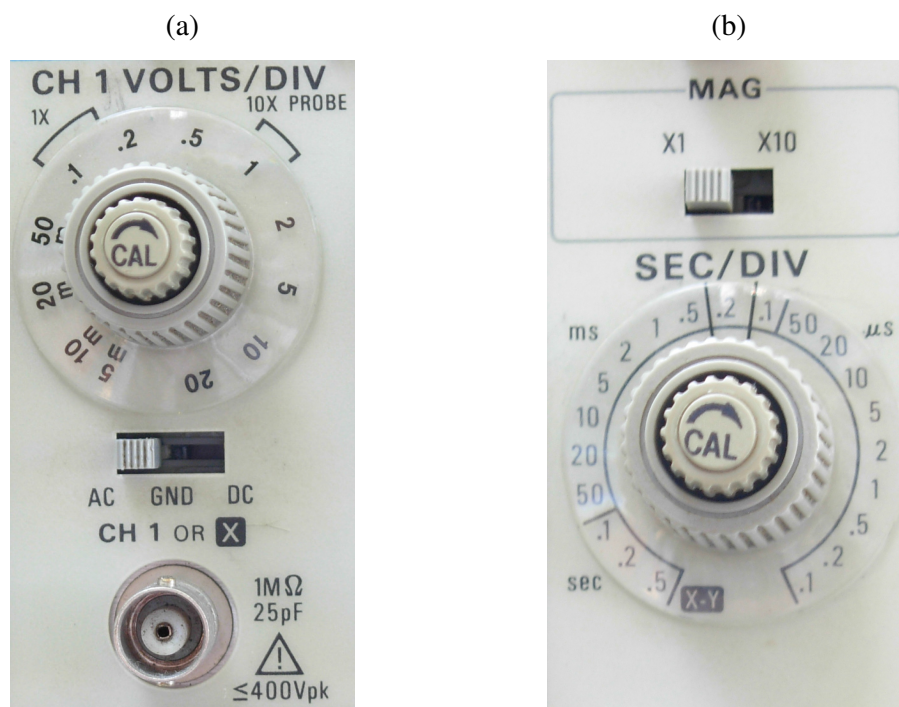


Figura 3 – Botões de seleção: (a) Escala vertical; (b) Base de tempo

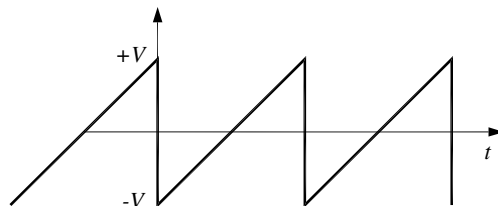


Figura 4 – Onda dente de serra aplicada no sistema de deflexão horizontal (base de tempo).

A tensão entre placas de deflexão horizontal parte de um valor negativo, para que o feixe apareça do lado esquerdo da tela, e vai progressivamente aumentando até seu valor máximo, deslocando o feixe totalmente para a direita. Como esta variação é

linear teremos uma correspondência direta entre o tempo e o desvio do feixe eletrônico na horizontal. A descida abrupta da onda dente de serra faz com que o feixe retorne ao lado esquerdo da tela de modo a reiniciar o processo de varredura. Para isso, o tempo de transição  $+V$  para  $-V$  deve ser o mais curto possível (durante essa transição o feixe de elétrons é eletronicamente bloqueado).

A rapidez com que se faz a varredura é determinada pela inclinação da onda dente de serra. Deste modo, a taxa de amostragem da escala temporal pode ser escolhida alterando-se a frequência dessa onda. Para gerá-la, o osciloscópio possui um oscilador local cuja frequência pode ser ajustada.

O botão de ajuste da base de tempo (frequência do oscilador local), mostrado na figura 3b, possui várias escalas de varredura de tempo / comprimento (seg/divisão). O osciloscópio apresentado operando no modo tensão frequência (XT) é capaz de amostrar sinais constantes no tempo (DC), até sinais que variam a uma frequência de 20 MHz. A chave MAG (x1 e x10) permite que a base de tempo seja ampliada de um fator 10 em relação à escala original.

#### IV. As entradas do osciloscópio

O conector de entrada do osciloscópio é em geral do tipo BNC, o circuito de entrada tem uma resistência interna da ordem de  $1\text{ M}\Omega$  e uma capacitância de dezenas de pF ( $1\text{ M}\Omega$  e  $25\text{ pF}$  para o Tektronix 2205). Muitos osciloscópios possuem duas entradas; no entanto, nas duas entradas o terminal terra (a referência) é o mesmo (estão conectados internamente no aparelho). Essa é uma fonte freqüente de erros em medidas com o osciloscópio. Conectar os terras em pontos diferentes de um circuito significa colocá-los em curto, o que pode afetar a medida. Portanto, **quando for usar ambos os canais, sempre conecte os terminais terras no mesmo ponto do circuito.**

#### V. Modo X-Y

Além da amostragem de tensão por tempo, os osciloscópios também podem operar de modo a mostrar a relação instantânea entre duas tensões. Neste modo de operação (conhecido como modo X-Y), as duas tensões (por exemplo,  $V_1$  e  $V_2$ ) são

aplicadas simultaneamente nos dois conjuntos de placas, fazendo aparecer na tela um ponto com coordenadas  $(V_1, V_2)$ . Assim, se os valores de  $V_1$  e  $V_2$  variarem no tempo isso imediatamente alterará as coordenadas do feixe de elétrons, ou seja trata-se de um relação instantânea.

Esse modo de operação é muito útil para traçar curvas  $V \times I$ , se colocarmos no eixo horizontal a tensão sobre um resistor (que é proporcional a corrente) e no eixo vertical a tensão sobre o componente cuja curva se quer medir.

O modo de operação X-Y é ativado posicionando o seletor de base de tempo para a posição X-Y, a primeira posição à esquerda (figura 3b).

## VI. O painel do osciloscópio

O painel do osciloscópio está mostrado na figura 5, e contém todos os controles necessários para sua operação. As funções de cada controle serão relacionadas a seguir:

- 1 – **Intensity**: ajusta a intensidade do traço
- 2 – **Beam find**: move o traço para dentro dos limites da tela.
- 3 – **Focus**: focaliza o feixe para produzir uma linha fina na tela.
- 4 – **Trace rotation**: ajusta o traço para ser paralelo às linhas da grade.
- 5 – **Power**: liga e desliga o aparelho.
- 6 – **Power Indicator**: acende quando o aparelho está ligado
- 7, 8 – **Vertical position**: move o traço verticalmente (controle independente para cada canal)
- 9 – **CH1-Both-CH2**: seleciona os canais que serão mostrados (apenas canal 1, ambos ou apenas canal 2)
- 10 – **Norm-Invert**: inverte o sinal do canal 2
- 11 – **Add-Alt-Chop**: ver “Observação simultânea de dois canais (funções Alt, Chop e Add)” abaixo.
- 12 – **Volts/div**: escolhe a escala vertical (controle independente para cada canal)
- 13 – **CAL**: calibra a escala vertical. É recomendado deixar girado todo para a direita (sentido horário), que é a calibração de fábrica.
- 14 – **AC-GND-DC**: ver “Acoplamentos AC e DC” abaixo.
- 15 – **CH1, CH2**: conector BNC para entrada do sinal dos canais 1 e 2.

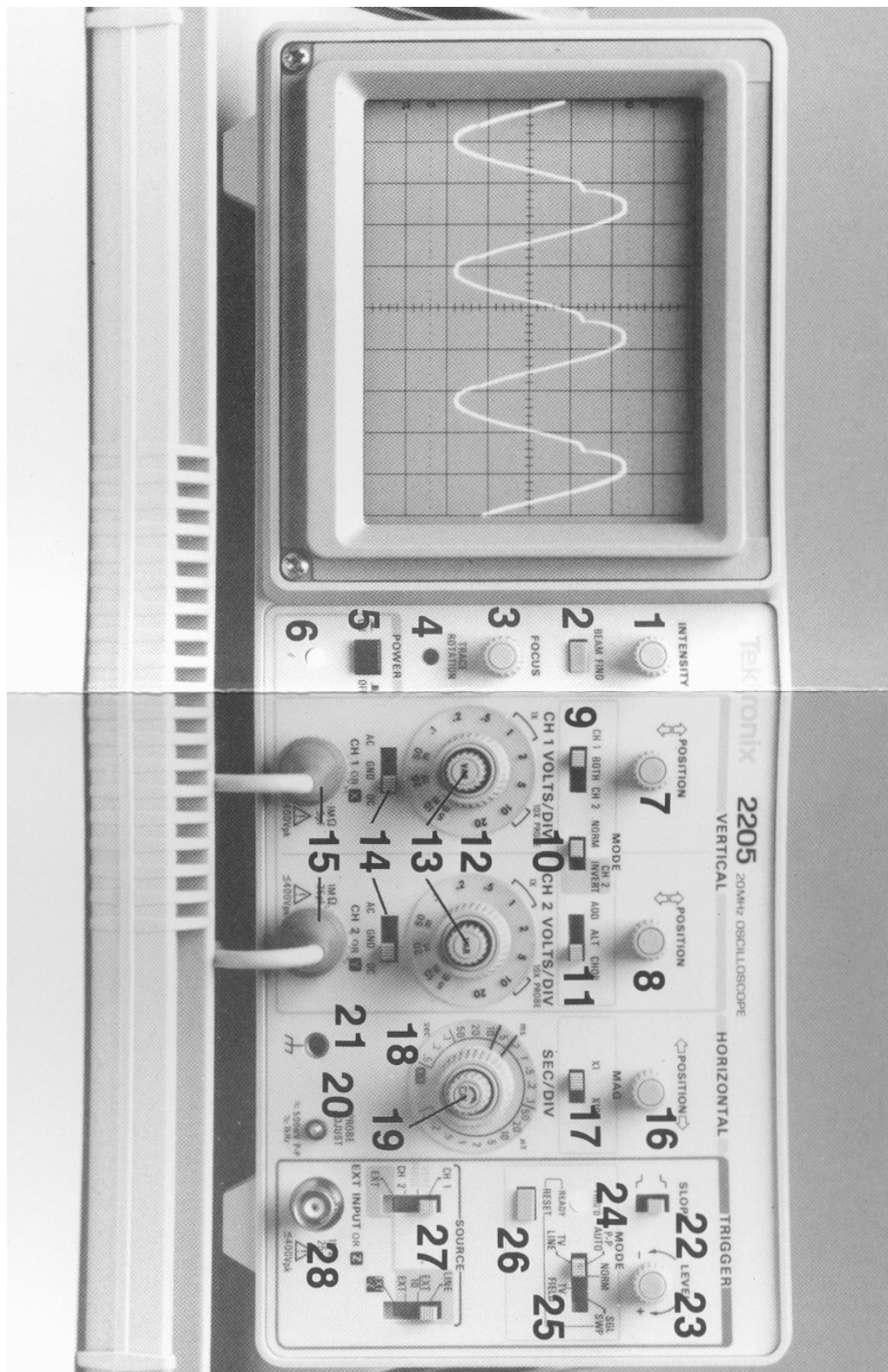


Figura 5 – Painel do osciloscópio Tektronix 2205

- 16 – **Horizontal position**: move o traço horizontalmente na tela.
- 17 – **MAG (x1,x10)**: permite expandir a escala horizontal por um fator 10.
- 18 – **Sec/div**: escolhe a escala da base de tempo.
- 19 – **CAL**: calibra a escala horizontal. É recomendado deixar girado todo para a direita (sentido horário), que é a calibração de fábrica.
- 20 – **Probe adjust**: gera uma onda quadrada de amplitude 0,5 V e frequência 1 kHz para testes.
- 21 – **Ground**: terra conectado à carcaça do equipamento.
- 22 – **Slope**: seleciona se o sinal produzirá um *trigger* quando estiver subindo ou descendo. Ver seção sobre *trigger* abaixo.
- 23 – **Level**: seleciona a amplitude que deve atingir um sinal para ativar o *trigger*. Ver seção sobre *trigger* abaixo.
- 24 – **Trig'd ready**: luz que indica o estado do *trigger* (acesa se o osciloscópio está medindo, apagada se o osciloscópio está esperando um sinal de *trigger*).
- 25 – **Mode**: seleciona o tipo de *trigger*: Ver seção sobre *trigger* abaixo.
- 26 – **Reset**: prepara o *trigger* novamente (funciona apenas no modo *Sgl Swp*)
- 27 – **Source**: indica a fonte do *trigger*. No controle esquerdo, pode-se escolher canal 1 ou 2, *Vert Mode* ou *Ext*. Se for usado *Ext*, o controle direito deve ser usado para escolher entre o sinal de 60 Hz da rede (*Line*) ou um sinal externo colocado na entrada 28. Ver seção sobre *trigger* abaixo.
- 28 – **Ext Input**: entrada para o sinal externo que servirá de *trigger*.

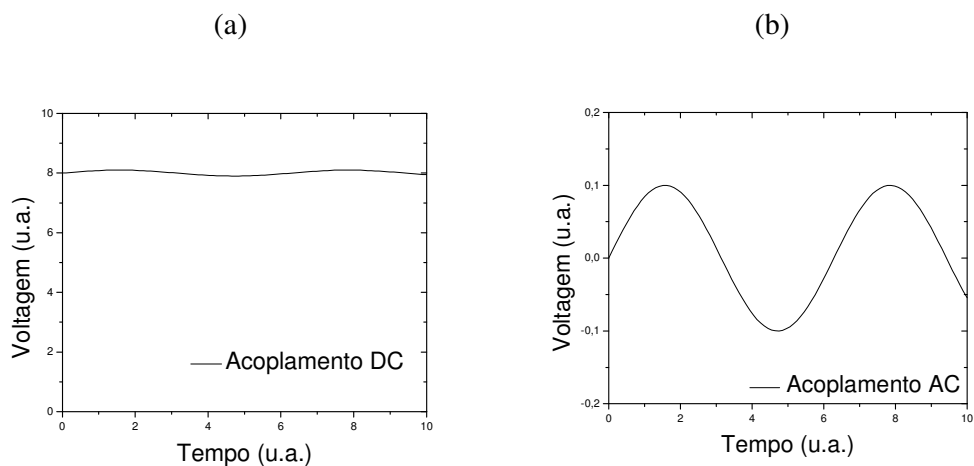
## VII. Acoplamento AC e DC (Botão 14)

Abaixo do botão de seleção da escala vertical, há o botão de seleção de acoplamento AC ou DC, e a opção GND (ground, ou terra). No acoplamento DC, o sinal é aplicado diretamente para o circuito amplificador, enquanto no acoplamento AC há um capacitor entre a entrada e o amplificador, que é chamado capacitor de desacoplamento. Sua função é eliminar *offsets* DC presentes no sinal. Esse sistema é um filtro passa-alta, com uma frequência de corte baixa (da ordem de Hertz).

O acoplamento AC é usado, por exemplo, para medir sinais que consistem de uma tensão constante somada a oscilações alternadas de pequena amplitude em comparação ao nível constante. Para medir um sinal como este usando o acoplamento

DC, teria que se usar uma escala de baixa sensibilidade ou o feixe sairia da tela; essa escala, no entanto, não permite medir o sinal alternado. Quanto o acoplamento AC é utilizado, o *offset (nível constante)* é retirado, e podemos usar uma escala de maior sensibilidade para medir as oscilações.

A figura 6 mostra um exemplo, de um sinal alternado de amplitude 0,1 somado a um sinal constante de amplitude bem maior (8). Na figura 6a, o osciloscópio está configurado para acoplamento DC, e a componente alternada é difícil de ser visualizada. A figura 6b mostra o que é visto se o osciloscópio for configurado para acoplamento AC; Neste caso, devido a remoção do sinal constante (por um capacitor de entrada) a escala pode ser expandida, permitindo uma medida de maior sensibilidade.



**Figura 6 – Sinal alternado (de amplitude 0,1) somado a um sinal constante (de amplitude 8), como visto em um osciloscópio nos acoplamentos DC (a) e AC (b).**

Por último, a opção GND aterra a entrada do osciloscópio, fazendo com que apareça na tela um sinal constante correspondente a 0 V.

### VIII. Observação simultânea de dois canais (funções Alt, Chop e Add) (Botão 11)

A maioria dos osciloscópios comerciais possui dois canais de entrada, mas apenas um feixe de elétrons. Um botão permite selecionar a tensão de apenas um canal, ou de ambos simultaneamente. Nesse caso, o feixe de elétrons tem que mostrar ora o sinal de um canal e ora o sinal do outro canal. Existem dois modos de dividir o tempo do feixe entre os canais, chamados de ALT e CHOP.



No modo ALT, o feixe varre a tela completa uma vez com o sinal vindo de um canal, e na vez seguinte varre com o sinal do outro canal. Se o tempo de varredura for suficientemente rápido (em comparação com os tempos de persistência da tela e da retina), poderão ser vistos dois traços distintos, correspondentes a cada canal. No modo CHOP, o feixe alterna entre cada canal várias vezes por varredura da tela (no Tektronix 2205, essa taxa é de 500 kHz), e é mais indicado para sinais de baixa frequência. Há também a opção ADD, que mostra um único sinal correspondente à soma dos sinais de cada canal.

### **IX. Função CH2 Invert (Botão 10)**

Como o nome em inglês sugere, o botão “CH2 Invert” inverte o sinal do canal 2. Usado em conjunto com o modo Add, o sinal resultante será o sinal do canal 1 menos o sinal do canal 2. Quando fazemos uma medida com um canal do osciloscópio, estamos comparando uma tensão com relação ao terra. No entanto, em alguns circuitos, queremos saber a diferença de potencial entre dois pontos e não sabemos onde está o terra. Para isso, usa-se o osciloscópio no modo Add com a opção CH2 Invert, e coloca-se as sondas dos canais 1 e 2 nos pontos desejados, enquanto os terras ficam flutuantes (não conectados ao circuito). A leitura será simplesmente a diferença de potencial entre os dois pontos. A desvantagem desse método é que são necessárias as duas pontas do osciloscópio para fazer apenas uma medida, e a grande vantagem é que o usuário não terá o problema de conflito de terra.

### **X. Sincronização dos sistemas de varredura vertical e horizontal (*trigger*) (Botões 22 a 28)**

No modo de operação XT (tensão-tempo), para cada período da onda dente de serra o sinal a ser amostrado pode ser visualizado na tela fosforescente do osciloscópio. Entretanto, depois de cada varredura da tela o feixe de elétrons é transferido para o início (horizontal) da tela, com a posição vertical correspondente ao valor de tensão aplicada na placa vertical. Assim, no início da segunda varredura o sinal pode começar a ser mostrado a partir de um nível de correspondente a uma tensão diferente do início

da primeira varredura, o que resultará em amostragem de uma onda aparentemente defasada em relação àquela da primeira varredura. Nas varreduras subseqüentes a mesma situação pode ocorrer causando a impressão visual de uma sucessão de imagens em movimento. Para se obter uma seqüência de imagens fixas e permanentes na tela, é preciso sincronizar o sistema de varredura do osciloscópio com o sinal que se deseja amostrar. Isso quer dizer que varreduras sucessivas devem iniciar sempre dos pontos correspondentes ao mesmo nível de tensão que a varredura anterior.

Para obter esse sincronismo, devemos selecionar o modo de sincronismo (modo de *trigger*) através do botão 25. No modo *Auto* a sincronização do osciloscópio é automática pelo sinal de entrada. No modo *Normal* o operador define a fonte do sinal de sincronismo (*trigger*) e o nível de tensão de siparo (no botão Level, 23). No modo *Sgl Swp* (*Single Sweep*), o *trigger* irá disparar apenas quando o sinal atingir o nível determinado pela primeira vez; para dispará-lo novamente, é preciso apertar o botão *Reset*.

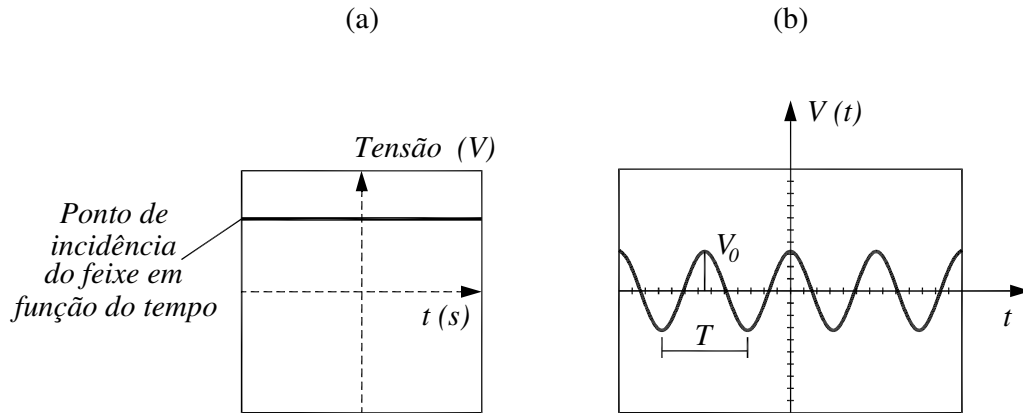
O próximo passo é escolher a fonte do sinal de *trigger* (através do botão 27). A varredura começará quando o sinal de *trigger* alcançar o nível de tensão determinado pelo botão 23 e o comportamento (subindo ou descendo) definido pelo botão 22.

A fonte do sinal de *trigger* pode ser um dos próprios canais de entrada; nessa opção, o sinal será desenhado sempre a partir do mesmo ponto, formando uma imagem fixa. A fonte de *trigger* também pode ser o sinal de 60 Hertz da rede de alimentação ou até mesmo um sinal externo. Na opção *Vert Mode*, a fonte será o canal que está sendo mostrado no osciloscópio (definido pelo controle 9). Para escolher o sinal da rede (*Line*) ou um outro sinal, é preciso colocar o botão esquerdo em *Ext* e o botão direito em *Line* ou *Ext*, respectivamente.

Após definir a fonte do sinal (*Source*), o nível e o tipo de transição (subida / descida) da tensão de disparo, deve se observar na tela do osciloscópio uma figura fixa e permanente; caso tal situação não seja atingida o sinal que se deseja medir não será visualizado ou aparecerá uma sucessão de imagens em movimento horizontal. (Solicite ao seu professor esclarecimentos sobre os modos de *trigger* e as possíveis *source* não discutidas nesta nota, ou consulte o manual do osciloscópio Tektronix 2205 disponível na página do LEF – [www.lef.ifsc.usp.br](http://www.lef.ifsc.usp.br)).

## XI. Medidas de tensões alternadas utilizando o osciloscópio

Na figura 7 estão apresentados exemplos de duas tensões elétricas vistas na tela de um osciloscópio: em 7a, tensão elétrica contínua, e em 7b tensão alternada do tipo  $V(t) = V_o \cos(\omega t)$ , para a qual é possível determinar a amplitude máxima ( $V_o$ ) e o período de oscilação ( $T$ ) correspondente.



**Figura 7 – Exemplos de medidas elétricas realizadas com um osciloscópio. (a) Tensão contínua. (b) Tensão alternada**

O osciloscópio só pode medir tensões. Para medir corrente, é preciso inserir um resistor no circuito e medir a diferença de potencial entre os terminais do resistor. Conhecendo a resistência do resistor, é possível converter a escala de volts para ampères.

O osciloscópio tem algumas vantagens com relação aos multímetros. Uma delas é a de permitir visualizar tensões que variam no tempo muito rapidamente. Como discutido na prática de Instrumentos de Medida I, o multímetro mede o valor médio rms (“*root mean square*”) da tensão.

No caso de tensões e correntes senoidais, a relação entre o valor rms (valor medido com o multímetro) e o valor de pico (valor medido com o osciloscópio) é dada por:

$$I_{rms} = \sqrt{\langle I^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_o^2 \cos^2(\omega t) dt} = \frac{I_o}{\sqrt{2}} \quad (1a)$$

$$V_{rms} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_o^2 \cos^2(\omega t) dt} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \quad (1b)$$

## Experimentos

### 1. Medida da tensão nos terminais de um transformador.

a) Utilizando um transformador (220 V - 6.3 V) e um osciloscópio analógico, meça a tensão alternada estabelecida, determinando sua amplitude máxima e sua frequência de oscilação. Para fazer a medida, coloque os terminais de um canal do osciloscópio nos terminais do transformador, e ajuste para visualização de apenas um canal, com base de tempo 5 ms/div e escala vertical 5 V/div e *trigger* Auto.

b) Meça a mesma tensão elétrica alternada com um voltímetro digital e compare o resultado com o valor obtido no item anterior. Discuta o observado.

**Resultados da medida da tensão e frequência de um transformador**

	Osciloscópio	Voltímetro
Tensão de pico		
Tensão rms		
Frequência		

### 2. Medida da tensão de um Gerador de Funções

a) Utilizando um gerador de funções, posicione o botão de ajuste de amplitudes para o máximo e ajuste a frequência de saída para 100 Hz. Determine a amplitude máxima e a frequência de oscilação da tensão gerada, utilizando um osciloscópio (com as mesmas configurações anteriores) e um multímetro digital. Altere a frequência de saída do gerador de funções para 10 kHz e repita as medidas (você precisará ajustar convenientemente a base de tempo).

**Resultados da medida da tensão e frequência de um gerador de funções**

	Osciloscópio		Multímetro
	Tensão	Frequência	Tensão
$f = 100 \text{ Hz}$			
$f = 10 \text{ kHz}$			

### 3. Observação da curva V-I de componentes eletrônicos (Modo X-Y)

O osciloscópio permite observar a curva V-I de um componente. Isso pode ser realizado através da montagem mostrada na figura 8, que usa uma fonte de tensão alternada (gerador de funções) conectada a um circuito formado por um resistor R e um componente X cuja curva V-I se deseja conhecer. O osciloscópio é utilizado para medir a diferença de potencial no resistor e no componente X. Devido à alta impedância do osciloscópio, a corrente flui somente através do circuito série R-X. Os terminais do resistor R estão conectados no canal 1 do osciloscópio, enquanto que os terminais do componente X estão conectados no canal 2. Veja que os terras dos dois canais estão no mesmo ponto (entre R e X). Assim, uma queda de tensão no resistor aparece como positiva, e uma queda de tensão no componente X aparece como negativa. Para visualizarmos corretamente na tela do osciloscópio, devemos ativar a função CH2 Invert.

No modo de operação X-Y o ponto luminoso na tela do osciloscópio executa um movimento cuja coordenada X é proporcional à tensão na entrada 1 e a coordenada Y proporcional à entrada 2. Desta forma, o ponto luminoso descreve uma trajetória que corresponde ao gráfico de  $V_X$  (vertical-Y) versus  $V_R$  (horizontal-X). Pela Lei de Ohm, a tensão no resistor R é proporcional à corrente I; portanto, o gráfico resultante pode ser analisado como uma curva de  $V_X$  por I.

a) Monte o circuito da figura 8 com  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . A configuração sugerida para o osciloscópio é modo horizontal X-Y, 5 V/divisão, canal 2 em modo invert e acoplamento DC em ambos os canais. (você poderá otimizar esta configuração). Use o gerador de funções, com sinal senoidal de amplitude máxima e frequência 100 Hz.

b) Coloque outro resistor de  $10 \text{ k}\Omega$  no lugar do componente X. Observe a curva V-I para o resistor. Qual o comportamento observado? Obtenha o valor da resistência à partir da curva V-I.

c) Descreva o que acontece com a curva quando usamos  $R = 4,7 \text{ k}\Omega$  no lugar do componente X. Explique.

d) Varie a amplitude, a frequência e a forma do sinal do gerador de funções. O que acontece com a curva mostrada na tela? Justifique suas observações.

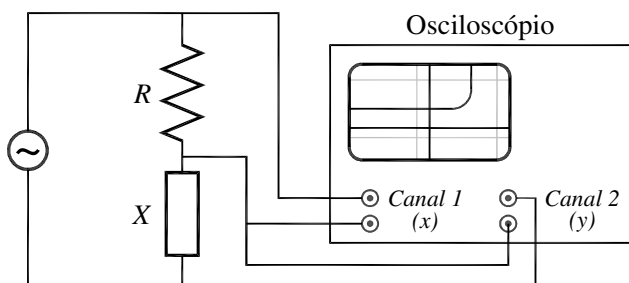


Figura 8 – Circuito utilizado para medir a curva V-I característica de componentes eletrônicos.

Curva V-I de um resistor de 10 k $\Omega$

Corrente (mA)	Tensão (V)	Corrente (mA)	Tensão (V)

#### 4. Observação da curva V-I de termo resistores (Modo X-Y)

a) Substitua o componente X por um termo-resistor do tipo PTC. Obtenha a resistência do mesmo na temperatura ambiente ( $\sim 300\text{K}$ ) à partir da curva V-I. Se for necessário, você pode alterar a escala de tensão dos canais do osciloscópio. Aproxime um ferro de solda ligado do PTC (cuidado para não tocar o ferro no PTC). Qual o comportamento da resistência como função da temperatura?

- Repita o procedimento para um resistor do tipo NTC.
- Descreva uma aplicação para os termo-resistores.

Resistência de termo-resistores em diferentes temperaturas

Temperatura	PTC	NTC
Ambiente		
Aquecido		

#### 5. Observação da curva V-I de um LDR (Modo X-Y)

a) Substitua o termo-resistor por um resistor sensível à luz, LDR. Obtenha a sua resistência na iluminação ambiente utilizando a curva V-I.

b) Cubra o resistor com a mão e descreva o que acontece como a curva V-I. Obtenha a resistência do LDR no escuro.

**Resistência de LDR em diferentes situações de luminosidade**

	<b>Claro</b>	<b>Escuro</b>
Resistência do LDR		

**6. Determinação da curva V-I de um diodo (Modo X-Y)**

a) No lugar do componente X coloque agora um diodo do tipo 1N4007 e mude o resistor para  $R = 1 \text{ k}\Omega$ . Aumente a sensibilidade do canal Y para  $0.2 \text{ V / divisão}$ . Descreva o comportamento da curva I por V e a reproduza em escala.

**Curva V-I de um diodo**

<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>

**7. Determinação da curva V-I de um LED (modo X-Y)**

a) Substitua o componente X por um LED vermelho. Use ainda o resistor de  $R = 1\text{k}\Omega$ , e a sensibilidade do canal Y em  $0.2 \text{ V / divisão}$ . Descreva o comportamento da curva I por V e a reproduza em escala. Determine o limiar de condução.

**Curva V-I de um LED vermelho**

<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>

b) Substitua o componente X por um LED azul. Use ainda o resistor de  $R = 1\text{k}\Omega$ , e a sensibilidade do canal Y em  $0.2 \text{ V / divisão}$ . Descreva o comportamento

da curva I por V e a reproduza em escala. Determine o limiar de condução. Compare com o resultado obtido com o LED vermelho e justifique as diferenças observadas.

**Curva V-I de um LED azul**

<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>	<b>Corrente (mA)</b>	<b>Tensão (V)</b>