

Prática 2 - Instrumentos de Medidas Elétricas 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.

Quando for usar os dois canais do osciloscópio, conecte sempre os terminais terra 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. Nos osciloscópios analógicos, 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 de 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.

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.

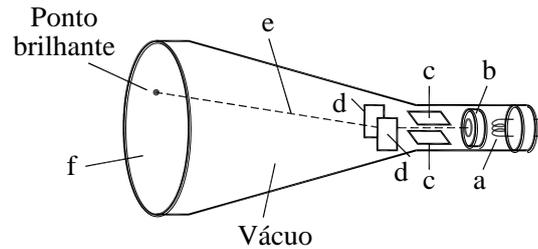


Figura 1 – Desenho esquemático do tubo de raios catódicos: a – filamento aquecido; b - filtro de velocidades; c - placas defletoras horizontais; d – placas defletoras verticais; e – feixe de elétrons; f - tela fosforescente.

1.1 - 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).

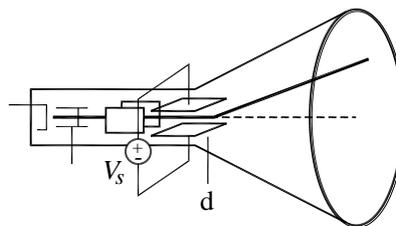


Figura 2 – sistema de deflexão vertical. O feixe de elétrons é desviado devido à aplicação de uma tensão V nas placas defletoras verticais.

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 a 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.

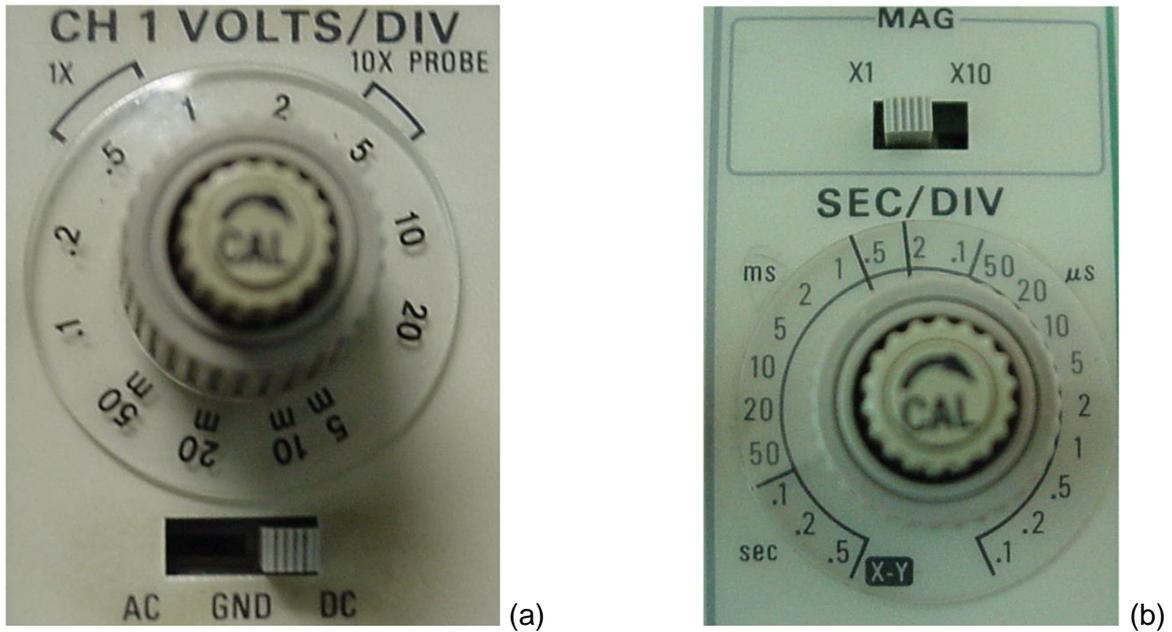


Figura 3 – Botões de seleção: (a) Escala vertical; (b) Base de tempo

1.2 - 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.

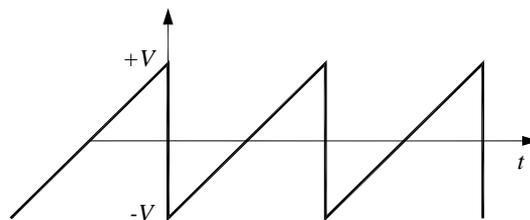


Figura 4 – Onda dente de serra aplicada no sistema de deflexão horizontal (base de tempo).

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 nesse modo tensão - tempo (X-T) 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.

1.3 - 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 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 frequente 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 terra no mesmo ponto do circuito.**

1.4 - 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 uma 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).

1.5 - 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.

- 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*.

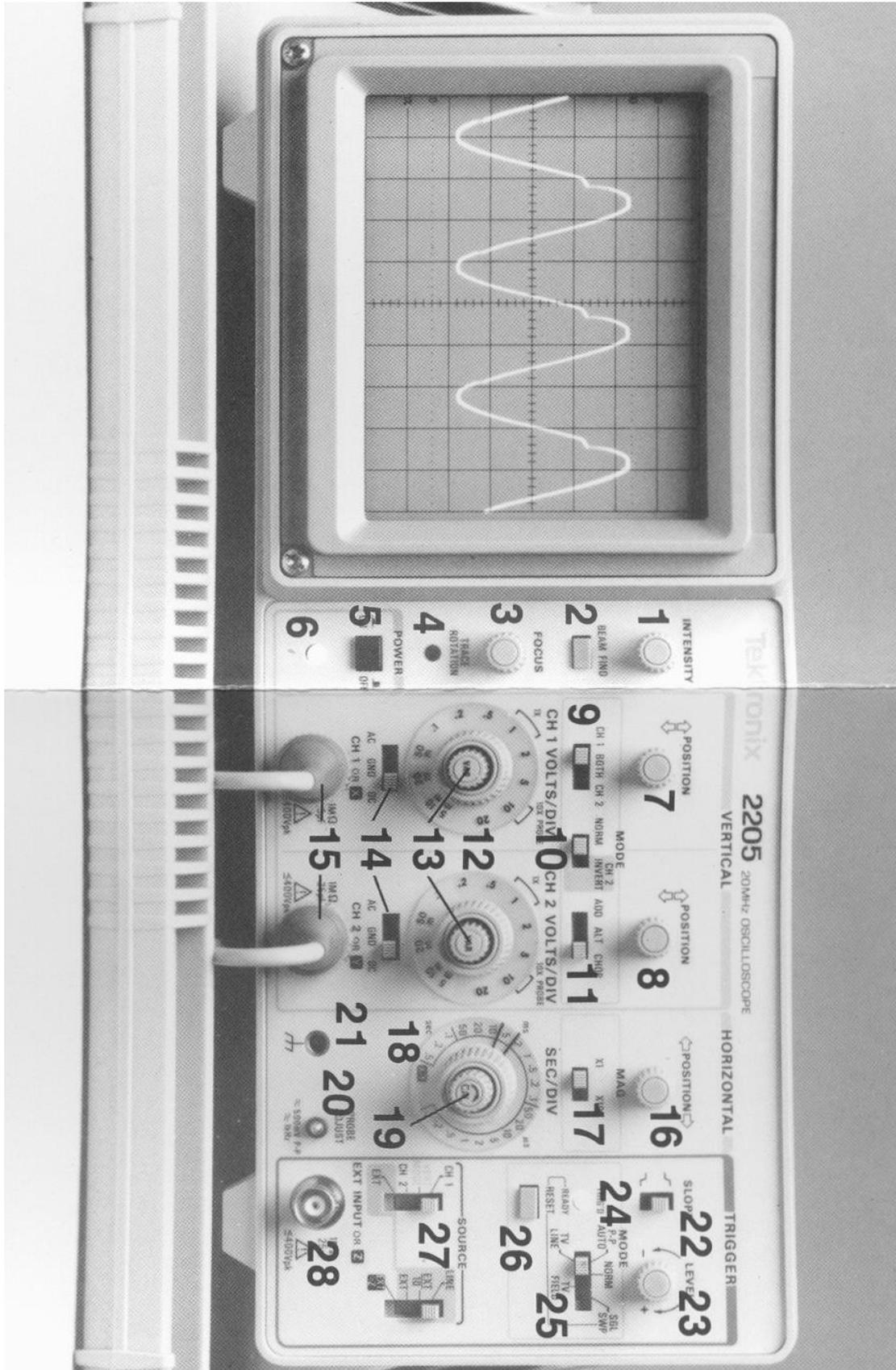


Figura 5 – Painel do osciloscópio Tektronix 2205

1.6 - 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 (*nível constante*) 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. Quando o acoplamento AC é utilizado, o *offset* 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 80 vezes maior. 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.

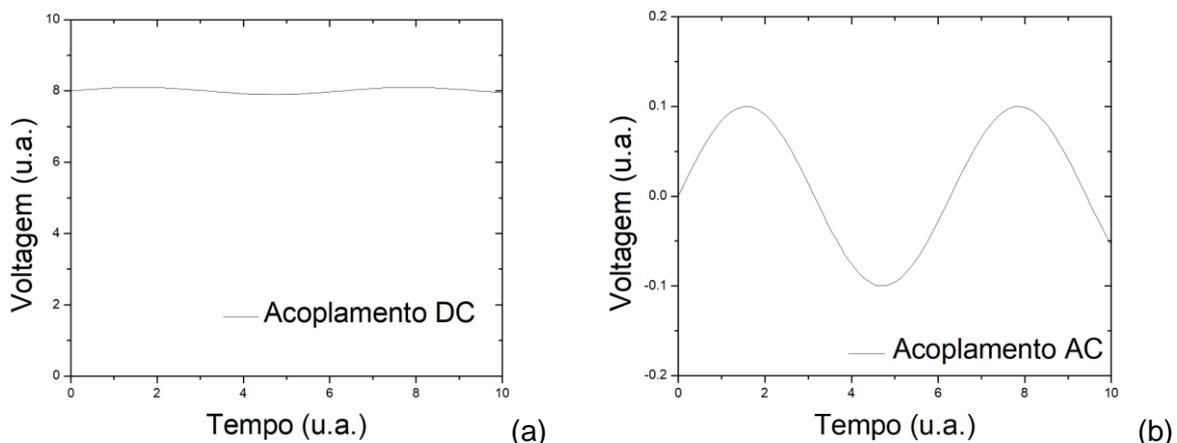


Figura 6 – Sinal alternado (de amplitude 0,1) somado a um sinal constante (de amplitude 8), como visto em um osciloscópio nos acoplamentos DC (a) e AC (b).

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

1.7 - 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.

1.8 - 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.

1.9 - Sincronização dos sistemas de varredura vertical e horizontal (trigger) (Botões 22 a 28)

No modo de operação X-T (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 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 subsequentes a mesma situação pode ocorrer causando a impressão visual de uma sucessão de imagens em movimento. Para se obter uma sequência 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 disparo (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).

1.10 - 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 $V(t) = V_0 \cos(\omega t)$, para a qual é possível determinar a amplitude máxima (V_0) e o período de oscilação (T) correspondente.

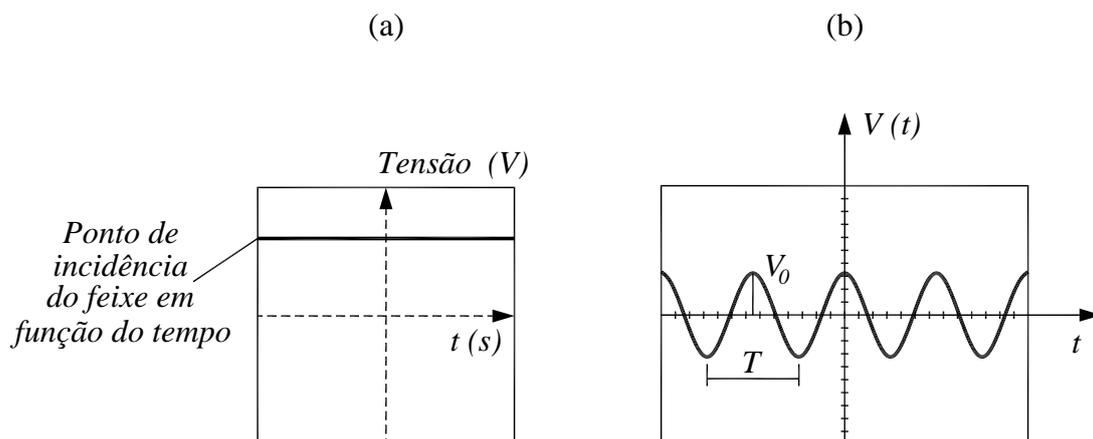


Figura 7 – Exemplos de medidas elétricas realizadas com um osciloscópio. (a) Tensão contínua. (b) Tensão alternada

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:

$$I_{rms} = \sqrt{\langle I^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_0^2 \cos^2(\omega.t) dt} = \frac{I_0}{\sqrt{2}} \quad [1a]$$

$$V_{rms} = \sqrt{\langle V^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V_0^2 \cos^2(\omega.t) dt} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \quad [1b]$$

II - Experimentos

II.1 - Medida da tensão nos terminais de um transformador.

➤ 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.

➤ 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 | | |

II.2 - Medida da tensão de um gerador de funções

➤ 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 |
| $f = 100 \text{ Hz}$ | | | |
| $f = 10 \text{ kHz}$ | | | |

II.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 .

➤ 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.

➤ 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 X à partir da curva V-I.

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

| Corrente (mA) | Tensão (V) | Corrente (mA) | Tensão (V) |
|---------------|------------|---------------|------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

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

➤ 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.

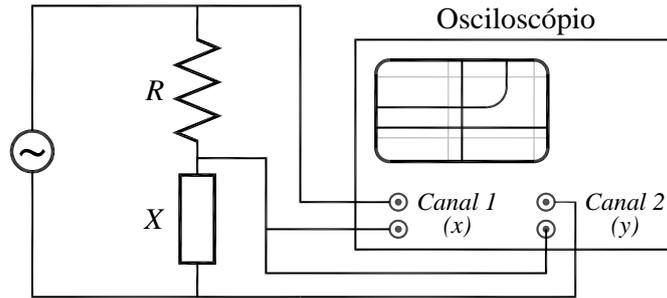


Figura 8 – Circuito utilizado para medir a curva V-I característica de componentes eletrônicos.

II.3a - Observação da curva V-I de termo resistores (Modo X-Y)

➤ Substitua o componente X por um termo-resistor do tipo PTC. Obtenha a resistência do mesmo na temperatura ambiente (~ 300K) 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, qualitativamente?

- 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 (qualitativo) | | |

II.3b - Observação da curva V-I de um LDR (Modo X-Y)

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

➤ 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

| | Claro | Escuro |
|--------------------|-------|--------|
| Resistência do LDR | | |

II.3c - Determinação da curva V-I de um diodo (Modo X-Y)

➤ 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 V / divisão . Descreva o comportamento da curva V por I e a reproduza em escala no papel milimetrado.

Curva V-I de um diodo

| Corrente (mA) | Tensão (V) | Corrente (mA) | Tensão (V) |
|---------------|------------|---------------|------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

II.3d - Determinação da curva V-I de um LED (modo X-Y)

➤ 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 V / divisão . Descreva o comportamento da curva V por I e a reproduza em escala no mesmo gráfico do diodo anterior. Determine a tensão de limiar de condução.

Curva V-I de um LED vermelho

| Corrente (mA) | Tensão (V) | Corrente (mA) | Tensão (V) |
|---------------|------------|---------------|------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

➤ 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 V / divisão . Descreva o comportamento da curva V por I e a reproduza em escala, no mesmo gráfico dos diodos anteriores. Determine novamente o limiar de condução. Compare com o resultado obtido com os outros diodos.

Curva V-I de um LED azul

| Corrente (mA) | Tensão (V) | Corrente (mA) | Tensão (V) |
|----------------------|-------------------|----------------------|-------------------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

