

SFQ-2011 - FÍSICA EXPERIMENTAL II
Turma 241 – Engenharia Mecânica
“Calibração de um Osciloscópio Analógico”
06/03/2014

I - OBJETIVOS

Estudo das características de funcionamento de um osciloscópio e calibração das escalas vertical e horizontal do mesmo.

II – DESCRIÇÃO DO OSCILOSCÓPIO

O osciloscópio MINIPA modelo MO-1221S é um osciloscópio de dois canais, com faixa de frequência DC a 20 MHz (-3 dB), sensibilidade máxima de 1 mV/div e tempo de varredura de 20 ns/div (esta é a máxima resolução temporal do osciloscópio). O osciloscópio emprega um CRT (cathode-ray tube), tubo de raios catódicos, tipo retangular, de 152,4 mm, provido de reticulado interno. O tubo de raios catódicos é do tipo com feixe de alta transmissão, oferecendo alta luminosidade sob elevada tensão aceleradora de 2,2 kV. Mesmo em elevadas velocidades de varredura os traços luminosos são claramente visíveis na tela. O esquema do tubo de raios catódicos se encontra apresentado na figura 1, abaixo:

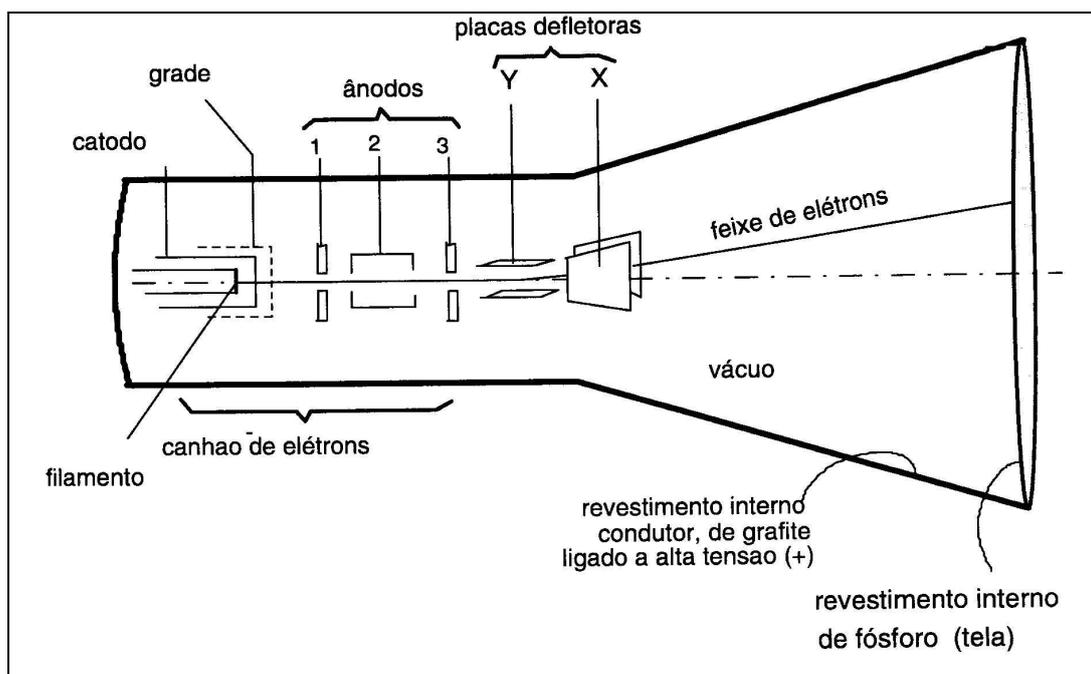


Figura 1: Esquema do tubo de raios catódicos empregado nos osciloscópios convencionais.

O cátodo, aquecido pelo filamento, emite elétrons que formam o feixe. O controle quantitativo da corrente de elétrons participantes do feixe é realizado pelo eletrodo

chamado grade sendo sua polarização negativa em relação ao cátodo. O número de elétrons que atinge a camada de fósforo define a intensidade ou o brilho do ponto luz na tela e a polarização da grade controla esta característica. Sucessivos ânodos com polarizações positivas crescentes (em relação ao potencial do cátodo) são utilizados para acelerar os elétrons e focalizá-los em um feixe fino. O controle da qualidade do foco, ou seja, a focalização é realizada pelo ajuste fino do potencial aplicado no ânodo cilíndrico 2 esquematizado na figura 1.

Na maioria dos osciloscópios a deflexão controlada do feixe de elétrons é obtida pela atuação de campos elétricos gerados entre as placas defletoras (horizontais e verticais), as quais são polarizadas e se encontram na trajetória do feixe de elétrons definida pelos ânodos colimadores 1 e 3 (figura 1).

Com a deflexão do feixe de elétrons o tubo de raios catódicos do osciloscópio mostra em sua tela um ponto luminoso que se desloca seguindo uma trajetória Y(X), controlada pelos sinais analisados pelo osciloscópio. Para permitir a visualização da própria trajetória e não somente do ponto, o funcionamento do osciloscópio baseia-se em dois fenômenos interessantes; i.e.:

1. A persistência das imagens na visão humana (i.e., a propriedade da visão manter a imagem durante uma fração de segundo além da existência real do estímulo luminoso).
2. A propriedade dos compostos de fósforo de converter parte da energia do feixe de elétrons em luz por fosforescência ($<10^{-6}$ s). Assim a luz emitida pelo ponto do feixe na tela permanece por mais algum tempo sem o estímulo.

Para facilitar a leitura e a quantificação dos sinais na tela do osciloscópio uma grade reticular é gravada e pode aparecer sobreposta à tela. Em alguns modelos de osciloscópio o retículo torna-se luminoso sob o efeito de uma iluminação interna, controlável. Um dos cuidados à serem tomados durante as medidas é evitar os erros de paralaxe que podem ocorrer quando são utilizados alguns modelos de osciloscópio nos quais a tela de fósforo e a grade reticular se encontram montadas em planos paralelos relativamente distantes.

Consideremos agora a descrição dos principais controles do osciloscópio MINIPA MO-1221S. A figura 2 apresenta uma foto do painel do osciloscópio mostrando os botões de controle do eixo horizontal X (varredura de tempo).

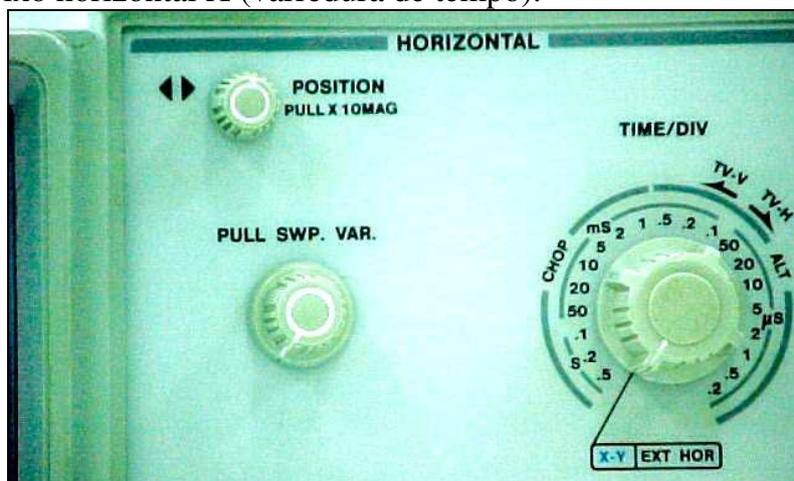


Figura 2: Botões de controle de varredura horizontal do osciloscópio Minipa MO-1221S

O botão à direita, i.e., TIME/DIV seleciona o tempo de varredura, ou o tempo de retardo quando se opera no modo de varredura com atraso. O botão permite selecionar vinte faixas de varredura, variando de $0,2 \mu\text{s}/\text{div}$ a $0,5 \text{ s}/\text{div}$. Quando girado totalmente à

esquerda o botão desativa a varredura temporal colocando o osciloscópio no modo de operação X-Y. Neste caso a varredura horizontal é realizada pelo sinal injetado no canal 1 (CH1-X) sendo a amplitude do sinal definida pelo amplificador que controla a varredura vertical do canal 1, i.e. botão VOLT/DIV (CH1-X). O botão pequeno à esquerda abaixo, i.e. PULL SWP. VAR. (pull sweep variable), quando puxado permite realizar o ajuste fino do tempo de varredura. O valor do tempo de varredura indicado no painel pode ser diminuído por um fator de 2,5 ou mais girando-se o referido botão. Os valores indicados no painel ficarão calibrados quando este controle estiver posicionado em CAL (puxado e girado totalmente à direita). O botão à esquerda, superior, quando puxado, permite a realização da operação com um fator de amplificação de dez vezes (PULL X 10 MAG). Ao se girar o referido botão realiza-se o deslocamento horizontal do feixe permitindo o controle do posicionamento horizontal do traço ou do ponto luminoso na tela do osciloscópio.

A figura 3 apresenta uma foto do painel do osciloscópio mostrando os botões de controle do eixo vertical do osciloscópio.



Figura 3: Botões de controle de varredura vertical do osciloscópio Minipa MO-1221S

O botão à esquerda superior, (POSITION), permite ajustar a posição vertical do traço ou do ponto luminoso na tela do osciloscópio. A chave seletora, abaixo do mesmo, permite realizar a seleção de sinais de entrada e o amplificador vertical. Na posição AC (tensão alternada), na posição DC (tensão contínua), na posição GND (ground level) aterrada a entrada do amplificador vertical permitindo escolher a posição do traço ou do ponto luminoso, na tela, para o nível zero de tensão de entrada. O botão maior, à direita, VOLT/DIV, permite realizar a seleção da sensibilidade do eixo vertical entre dez faixas de valores de 5 V/div a 5 mV/div. O botão menor (cor cinza), centrado no seletor de escala vertical, permite efetuar-se o ajuste fino da sensibilidade, com um fator de 1/2,5 do valor indicado no painel. Na posição CAL, (botão girado e travado totalmente à direita), a escala fica calibrada para o valor indicado no painel. Quando este botão for puxado, i.e. (X 5 MAG), a escala indicada no painel fica multiplicada por um fator de 5. O botão de controle VOLT/DIV do canal 2 (CH2-Y) apresenta um funcionamento análogo ao do controle do canal 1. A chave seletora à direita, VERT MOD (vertical mode), permite selecionar o modo de operação dos amplificadores verticais CH1 e CH2 (channel 1, channel 2). Permite selecionar ainda a fonte de disparo interna (internal trigger). Na

posição CH1 opera apenas o canal 1 sendo que o sinal de entrada do canal 1 é utilizado como fonte de gatilho interna. Na posição CH2 opera apenas o canal 2 sendo o sinal de entrada neste utilizado como gatilho interno. Na posição DUAL operam ambos os canais. A fonte de gatilho interna é selecionada pela chave SOURCE cujo funcionamento será descrito posteriormente. Na posição ADD o osciloscópio mostra na tela a soma algébrica dos sinais nos canais 1 e 2, i.e. (CH1+CH2) ou a diferença (CH1-CH2). A diferença dos sinais é obtida puxando-se o botão de posicionamento do traço vertical do sinal no canal 2, i.e. CH2 POSITION. A fonte de gatilho interna é selecionada pela chave SOURCE.

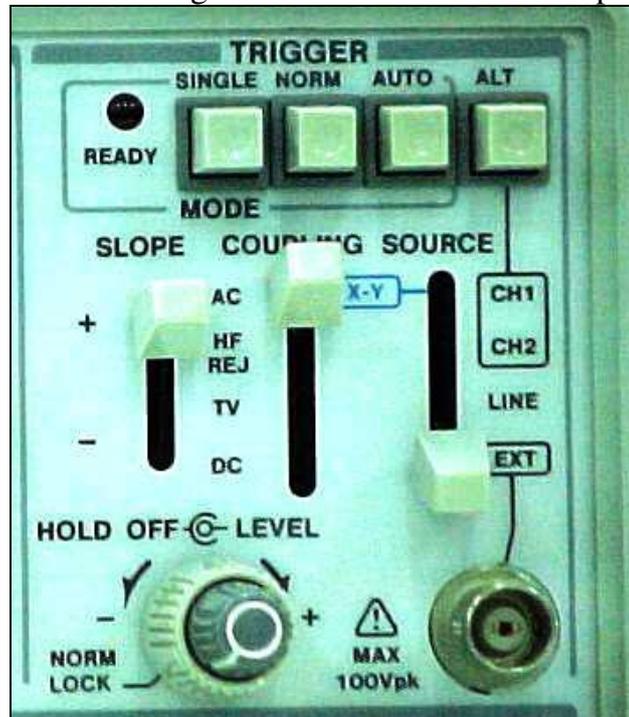


Figura 4: Botões de controle do circuito de disparo do osciloscópio Minipa MO-1221S

A figura 4 apresenta uma foto do painel do osciloscópio mostrando os botões de controle do circuito de disparo. Os botões superiores permitem a escolha do modo de disparo da varredura temporal dos sinais à serem analisados pelo osciloscópio. Quando o botão AUTO for pressionado a varredura flui no modo excursão livre. Neste caso nenhum sinal de gatilhamento é aplicado. Este modo se aplica ainda quando a frequência do sinal de gatilhamento for inferior a 50 Hz. Quando o botão NORM for pressionado e nenhum sinal de gatilhamento for aplicado, a varredura fica num estado de prontidão e o traço fica apagado. Este modo de operação é utilizado principalmente para a observação de sinais de frequência de 50 Hz ou menos. Quando a tecla SINGLE for pressionada a varredura ocorre uma única vez. Esta se dá no momento em que o mesmo é pressionado. Quando o tecla SINGLE for desacionada e as demais teclas estiverem desativadas o circuito de disparo permanecerá no modo de varredura única. O circuito será rearmado quando a tecla PUSH TO RESET for pressionada. Quando o circuito estiver rearmado o LED READY deverá se encontrar aceso. Finalizada a operação de varredura única o LED READY deverá se apagar.

A chave seletora à direita, i.e., SOURCE (fonte), permite selecionar a fonte de disparo. Na posição EXT (external source) o sinal de disparo deve ser injetado, por uma fonte externa, no borne BNC localizado logo abaixo, à direita, da chave seletora. A tensão de pico máxima permitida é de 100 V. Na posição CH1 (X-Y), quando a chave VERT MOD está na posição DUAL ou ADD, seleciona o CH1 para o disparo interno. Na posição CH2, quando a chave VERT MOD está na posição DUAL ou ADD, seleciona o

sinal do canal 2 para o gatilhamento interno. Quando o botão superior à direita, i.e., ALT, estiver pressionado e a chave seletora VERT MOD estiver nas posições DUAL ou ADD, a chave seletora SOURCE estiver posicionada em CH1 ou CH2 os canais 1 e 2 são selecionados alternadamente para o gatilhamento interno.

Quando a chave VERT MODE estiver selecionada nas posições CH1 ou CH2, selecionado o sinal de gatilhamento interno este não pode ser alterado pela chave SOURCE. Neste caso o sinal de gatilhamento interno pode ser alterado através da chave VERT MODE.

A chave seletora COUPLING (acoplamento) seleciona os sinais da fonte de disparo e os circuitos de gatilhamento. Esta chave permite ainda a conexão do circuito de gatilhamento com sincronismo de TV. Na posição AC o acoplamento se dá com um sinal de tensão alternada. Na posição DC o acoplamento se dá com um sinal de tensão contínua. Na posição TV o circuito separador de sincronismo de TV é conectado ao circuito de gatilho e a varredura é gatilhada em sincronismo com o sinal de TV-V ou TV-H, a uma velocidade de varredura selecionada pelo botão TIME/DIV. A faixa TV-V varre de 0,5 s/div a 0,1 ms/div e a TV-H de 50 μ s/div a 0,2 μ s/div. A chave seletora SLOPE seleciona a inclinação do sinal de gatilhamento. Na posição “+” o gatilhamento ocorre quando o sinal cruza o nível de gatilhamento no sentido crescente do sinal (inclinação positiva). Na posição “-” o gatilhamento ocorre quando o sinal cruza o nível de gatilhamento no sentido decrescente do sinal (inclinação negativa).

Os botões de controle do “HOLD OFF time” (tempo de espera) e do nível de gatilhamento, i.e., LEVEL, são utilizados conjuntamente quando a forma de onda à ser analisada pelo osciloscópio for complexa. Muitas vezes nestas situações o ajuste de nível não é suficiente para estabilizar o sinal na tela do osciloscópio (gatilhamento instável), sendo necessário ajustar o HOLD OFF time. Se o botão central (cinza) for girado no sentido “+” o nível de gatilhamento mover-se-á para cima na forma de onda mostrada, se girado no sentido “-” o nível de gatilhamento mover-se-á para baixo. Se o botão central for posicionado em LOCK o nível de gatilhamento será mantido automaticamente em um valor ótimo qualquer que seja a amplitude do sinal (pequena ou grande) não exigindo desta feita qualquer ajuste manual do nível de gatilhamento.

III – PARTE PRÁTICA

1. Ligue o osciloscópio e ajuste a intensidade, o foco e a posição do traço na tela. Efetuado os ajustes monte o circuito esquematizado na figura 5.
2. Conecte a entrada do canal 1 (CH1) o sinal proveniente de um gerador de funções selecionado em uma forma de onda senoidal.
3. Ajuste a chave seletora VERT MODE na posição CH1. Pressione o botão TRIGGER MODE AUTO (modo de disparo automático).
4. Ajuste o botão VOLT/DIV na posição 1 V/div e varie a intensidade do sinal proveniente do gerador até que os valores de pico a pico ocupem seis quadrinhos do reticulado, i.e., 6 Volts de pico a pico (6 Vpp).
5. Com auxílio de um freqüencímetro ajuste o sinal em 60 Hz. (grosso modo o ajuste pode ser feito diretamente a partir do botão seletor de freqüências do gerador de funções).
6. Ajuste o botão TIME/DIV na posição 2 ms/div. Feito os ajustes conecte em paralelo com a saída do gerador de funções um multímetro digital ajustado na escala de tensão alternada (AC).

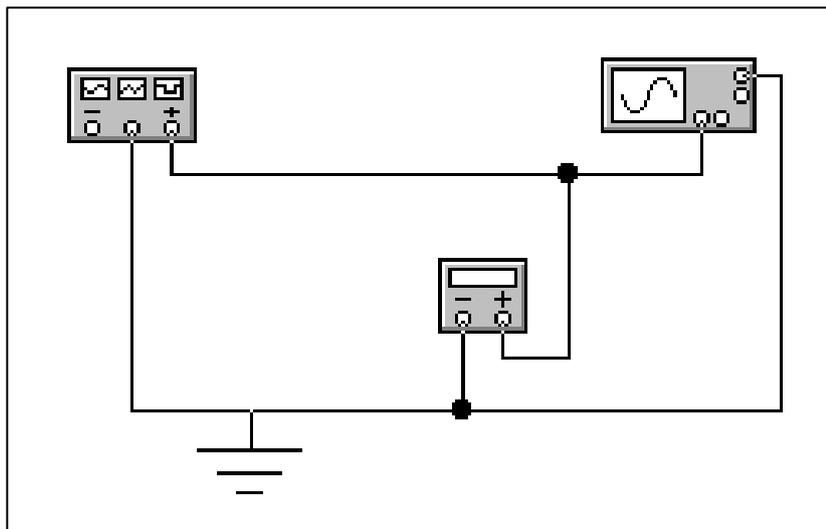


Figura 5: Esquema do circuito utilizado para a calibração do osciloscópio.

7. Obtenha uma forma de onda senoidal estável na tela do osciloscópio. A forma de onda obtida pode ser representada pela função:

$$Y = Y_0 \text{sen}(kX + \theta) \quad (1)$$

O disparo da varredura horizontal ocorre sempre que a amplitude do sinal atinge um valor que depende do nível de ajuste do TRIGGER MODE. Uma vez disparado o feixe irá adquirir, independentemente do movimento na direção vertical, um deslocamento horizontal de velocidade constante, a qual por sua vez depende da seleção definida pela posição do botão TIME/DIV. Desta feita a posição horizontal (coordenada X) do ponto onde se encontra momentaneamente o feixe é dada por $X = Vt$. Assim a escala horizontal da posição do feixe corresponde a uma escala temporal. O deslocamento vertical, entretanto, é sempre proporcional à tensão aplicada no terminal de entrada do amplificador de varredura vertical do referido canal. Desta feita tem-se $Y = \alpha V$ e $Y_0 = \alpha V_0$. Podemos escrever a equação (1) na forma:

$$\alpha V = \alpha V_0 \text{sen}(kVt + \theta) \quad (2)$$

ou seja:

$$V = V_0 \text{sen}(\omega t + \theta) \quad (3)$$

onde $k = \frac{\omega}{V}$, conforme o enunciado acima, e $\omega = 2\pi\nu$.

8. Em uma folha de papel milimetrado faça uma figura em escala mostrando a curva obtida na tela do osciloscópio para a forma de onda do sinal de saída do gerador de funções. Meça o comprimento de onda da forma de onda obtida. Lembrando que para $X = \lambda$, o tempo transcorrido é $T = 1/\nu$.
9. Efetue a calibração da base de tempo do osciloscópio para a escala escolhida (a frequência do sinal, ν , é igual a 60 Hz).
10. Mude a posição do botão seletor TIME/DIV para a escala de 1 ms/div e repita o procedimento considerando agora o valor $X = \lambda/2$.
11. Compare os valores obtidos com o esperado teoricamente, considerando que a frequência medida utilizando o freqüencímetro seja exata.
12. Calcule o desvio relativo para o período da forma de onda medido pelo osciloscópio. Considere que o valor exato para o período seja o inverso do valor da frequência

medida utilizando o freqüencímetro. O que se pode dizer da precisão das medidas temporais efetuadas utilizando-se o osciloscópio Minipa modelo MO-1221S ?

Observações: Não se esqueça de colocar o controle de ganho do canal 1, CH1 na posição CAL. Faça o mesmo com o controle variável da base de tempo, caso contrário não prevalecerão os valores indicados nas respectivas escalas.

O voltímetro utilizado no experimento fornece o valor eficaz da tensão aplicada no osciloscópio. A tensão eficaz é definida pela equação:

$$V_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V_0 \text{sen}(\omega t + \phi)]^2 dt} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} \quad (4)$$

onde V_{pp} é o valor da tensão de pico a pico do sinal, ou seja $V_{pp}=2V_0$. O valor eficaz da tensão é também conhecido como valor rms, ou seja; *raiz quadrada do valor quadrático médio* do sinal. A origem da denominação eficaz advém da tradução “mal feita” da palavra inglesa “effective” uma vez que o significado físico do valor eficaz de uma tensão alternada corresponde a tensão DC (contínua) equivalente que produz a mesma potência média dissipada pelo sinal AC correspondente. Desta feita a melhor tradução para o termo “effective” seria, como o correto, efetivo. Portanto o valor eficaz da tensão seria o valor efetivo da mesma.

13. A partir do valor obtido para a tensão de pico a pico medida com o osciloscópio determine o valor eficaz da referida tensão.
14. Compare este com o valor medido pelo voltímetro.
15. Considerando que a medida do mesmo seja exata calcule o desvio relativo dos valores eficazes. Qual é a diferença percentual obtida ? O que se pode afirmar a respeito da precisão do osciloscópio para se efetuar medidas de tensão ?
16. Coloque os valores obtidos na forma de onda desenhada no papel milimetrado.

Quais as conclusões que podem ser externadas à partir das medidas efetuadas no que se refere à precisão das escalas horizontal e vertical do osciloscópio Minipa MO-1221S ?

Referências:

1. “Osciloscópio Analógico 20 MHz MO-1225 - Manual de Instruções”, guia do usuário. Contém detalhes das características de funcionamento de um modelo análogo ao MINIPA MO-1221S. Disponível no site <http://www.minipa.com.br> .
2. F-429: Física Experimental IV. Guia para as Disciplinas de Laboratório Básico, Instituto de Física “Gleb Wataghin”, UNICAMP. Metodologia proposta por René Brezinkofer. Guia elaborado com a colaboração de Mário Bica de Moraes. IFGW, UNICAMP, (1998).
3. 8110 Function Generator, Operation Manual.
4. Roteiro de Aula “Calibração de um Osciloscópio e Medidas de Defasagem em um Circuito RC Série”, elaborado por Mauricio Antonio Algatti, UNESP, Campus de Guaratinguetá, (2002).

Roteiro elaborado pelo professor *Mauricio Antonio Algatti* com a colaboração do técnico *Tiago Raimundo da Silva*. Revisado pelo autor em 06/03/2014.