UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE FÍSICA   DEPARTAMENTO DE FÍSICA DO ESTADO SÓLIDO

FIS 124 - FÍSICA GERAL E EXPERIMENTAL IV / LABORATÓRIO
PROF.: *José Fernando*
Turma: Teórica/ Prática T: P: 13   Data: 17/07/2002
Equipe: *Adriano L. do Valle*

OSCILOSCÓPIO DE RAIOS CATÓDICOS

(RELATÓRIO / EXPERIÊNCIA - 9)

I. OBJETIVO

"Familiarização com o osciloscópio para um melhor entendimento dos princípios de funcionamento e utilização"

II. INTRODUÇÃO

Neste experimento vamos efetuar algumas medidas relacionadas a fenômenos eletromagnéticos.

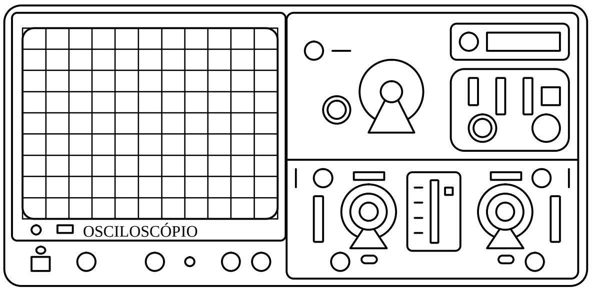
- *Produção de feixes de elétrons.*
- *Deflexão do feixe por ação de campos elétricos.*
- *Emissão de luz devido ao choque dos elétrons com as paredes da tela do aparelho*

As grandezas físicas lidas diretamente no osciloscópio são a ddp e o período de uma oscilação.
No osciloscópio faremos também as medidas indiretas de Amplitude, Freqüência e Diferença de Fase de sinais detectados pelo aparelho.

III. PARTE TEÓRICA

III.1. OSCILOSCÓPIO:

O osciloscópio é um instrumento de medida que torna possível medira ddp em uma tela, através do deslocamento de um ponto luminoso na tela



III.2. NOÇÕES SOBRE SINAIS (TENSÃO OU CORRENTE) ALTERNADOS

Dizemos que um sinal é alternado quando o mesmo altera o seu valor com o tempo. A forma mais comum de sinal alternado é a forma senoidal que pode ser escrita como

$$S(t) = S \cdot sen\,(w \cdot t + f\,)$$

Onde ***S(t)*** *representa a tensão,* ***v(t)****, ou corrente,* ***i(t)****,* ***S*** *é a amplitude,* $w \cdot t + f$ *é chamado de fase da senoide sendo* f *a fase inicial e* w *a freqüência angular e* $w = 2pf$, $f = 1/T$, *sendo* ***T*** *o período*

III.3. RESISTÊNCIA

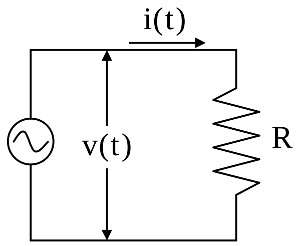
Considere que o elemento de circuito seja um resistor com valor de resistência R como mostra a figura.

v(t) = V·sen (w·t + f),   i(t) = I·sen (w·t + f)

V(t) = R· i(t).

V· sen (w·t + f)= R· I· sen (w·t + f)

Para f = 0 e V = R·I



$i(t) = \frac{V}{R}\,\mathrm{sen\,wt}$ *(corrente em fase com a tensão)*

A potência será dada por:

$$P_{(t)} = v(t) \cdot i(t) = \frac{v^2(t)}{R} = R \cdot i^2(t)$$

$$P_{(t)} = V \cdot \mathrm{sen}\,\omega t \cdot \frac{V}{R} \cdot \mathrm{sen}\,\omega t = \frac{V^2}{R}\mathrm{sen}^2\,\omega t$$

Potência média “ $\overline{P}$ ”

$$\overline{P} = \frac{1}{T}\int_0^T P(t)\,dt = \frac{1}{T}\int_0^T \frac{V^2}{R}\mathrm{sen}^2\,\omega t\,dt = \frac{V^2}{RT}\int_0^T \mathrm{sen}^2\,\omega t\,dt = \frac{V^2}{RT}\int_0^T \frac{1-\cos 2\omega t}{2}\,dt =$$

$$\overline{P} = \frac{V^2}{RT}\int_0^T \frac{1-\cos\frac{4\pi}{2T}t}{2}\,dt$$

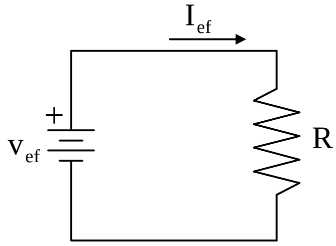
$$\overline{P} = \frac{V^2}{2RT}\left[t - \frac{\mathrm{sen}\,2\omega t}{2\omega}\right]_0^T = \frac{V^2}{2RT}\left[t - \frac{\mathrm{sen}\frac{4\pi}{T}t}{\frac{4\pi}{T}}\right]_0^T = \frac{V^2}{2RT}\left(T - \frac{\mathrm{sen}\frac{4\pi}{T}T}{\frac{4\pi}{T}}\right) - \frac{V^2}{2RT}\left(0 - \frac{\mathrm{sen}\frac{4\pi}{T}\cdot 0}{\frac{4\pi}{T}}\right) =$$

$$\overline{P} = \frac{V^2}{2RT}(T-0) - \frac{V^2}{2RT}(0-0) = \frac{V^2}{2RT}T = \frac{V^2}{2R}$$

$\overline{P} = \frac{V^2}{2R}$ *Como queríamos demonstrar*

Comparando com um circuito alimentado por uma fonte de tensão constante

$$P = \frac{V_{ef}^{\,2}}{R}, \qquad \frac{V^2}{2} = V_{ef}^2 \Rightarrow V_{ef} = \frac{V}{\sqrt{2}}$$

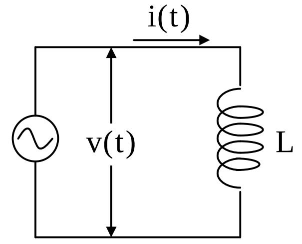


Onde V_{ef} é denominado de tensão eficaz

O mesmo raciocínio vale para a corrente eficaz, I_{ef}, que no caso senoidal é dada por $I_{ef} = \frac{I}{\sqrt{2}}$

III.4. INDUTÂNCIA

Considere o circuito da figura, onde o elemento de circuito é um indutor com valor de indutância L.



$$v(t) = L\frac{di}{dt}$$

Como $v(t) = V\,\text{sen}\,\omega t$ *e* $i(t) = I\,\text{sen}(\omega t + \phi)$ *temos*

$$V\,\text{sen}\,\omega t = L\frac{d[I\,\text{sen}(\omega t + \phi)]}{dt}$$

$$V\cos\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = L \cdot I \cdot \omega \cdot \cos(\omega t + \phi)$$ *com V = L w I Þ* $I = \frac{V}{L\omega}$ *e* $\phi = -\frac{\pi}{2}$

$$i(t) = I\,\text{sen}(\omega t + \phi)$$

$$i(t) = \frac{V}{L\omega} \cdot \text{sen}\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right)$$

Vemos então que a amplitude da corrente depende da freqüência angular w e que a corrente se encontra atrasada de p/2 rad com relação à tensão (ou então a tensão está adiantada de p/2 rad com relação à corrente).

Observamos também que:

w ® µ Þ I ® 0 e o circuito se comporta como circuito aberto

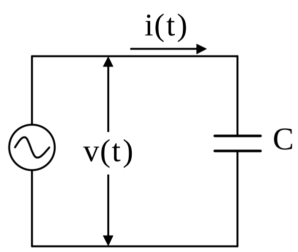
w ® 0 Þ I ® µ e o circuito se comporta como curto circuito

O termo Lw no denominador da amplitude da corrente é chamado de reatância indutiva(X_L) e tem um papel análogo ao da resistência.

X_L = L× w = L×2p f (ohms)

III.5. CAPACITÂNCIA

Considere o circuito da figura, onde o elemento de circuito é um capacitor com valor de capacitância C.



$v(t) = \frac{1}{C}\int i\,dt$ *ou* $i(t) = C\frac{dv(t)}{dt}$

$v(t) = V\,\text{sen}\,\omega t$ *e* $i(t) = I\,\text{sen}(\omega t + \phi)$

$$I\,\text{sen}(\omega t + \phi) = C \cdot \frac{d(V\,\text{sen}\,\omega t)}{dt}$$

$$I \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) = C \cdot \omega \cdot V \cdot \cos\omega t$$

$I \cdot \text{sen}(\omega t + \phi) = C \cdot \omega \cdot V \cdot \text{sen}\,(\omega t + \pi/2)$ $\quad I = C \cdot \omega \cdot V$ *ou* $I = \frac{V}{1/C \cdot \omega}$ *e* $\phi = \pi/2$

$$i(t) = \frac{V}{1/C \cdot \omega}\text{sen}(\omega t + \pi/2)$$

Vemos que a amplitude da corrente depende da freqüência angular w e que a corrente está adiantada de p/2 com relação à tensão.

Observamos que:

w ® µ Þ I ® µ e o circuito se comporta como curto circuito

w ® 0 Þ I ® 0 e o circuito se comporta como circuito aberto

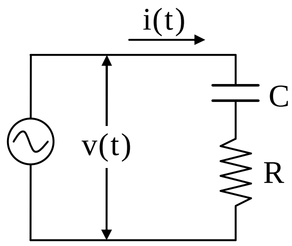
Um comportamento inverso de um indutor

O termo $\frac{1}{C\omega}$ *no denominador da amplitude da corrente é chamado de reatância capacitiva(X_C) e tem um papel análogo ao da resistência.*

$$X_C = \frac{1}{C\omega} = \frac{1}{C2\pi f} \quad \textit{(ohms)}$$

III.6. RESISTÊNCIA E CAPACITÂNCIA

Considere o circuito da figura, onde os elementos de circuito são um capacitor, um resistor e um gerador.



$$v_G(t) = v_C(t) + v_R(t)$$

$v_G(t) = V_G \cdot \text{sen}\,(\omega \cdot t + \phi)$, $\quad i(t) = I \cdot \text{sen}\,(\omega \cdot t + \phi)$

$$v_C(t) = \frac{I}{C\omega}(-\cos\omega t) \qquad V_R(t) = R \cdot I \cdot \text{sen}\ w \cdot t$$

$$V_G \cdot \text{sen}\,(\omega \cdot t + \phi) = -\frac{I}{C\omega}\cos\omega t + R \cdot I \cdot \text{sen}\ w \cdot t$$

$$i(t) = \frac{V_G}{\left[R^2 + (1/C\omega)^2\right]^{1/2}} \cdot \text{sen}\,\omega t$$

O termo $\left[R^2 + (1/C\omega)^2\right]^{1/2}$ *no denominador da amplitude da corrente é chamado de impedância Z do circuito RC em série*

$$Z(\omega) = \left[R^2 + (1/C\omega)^2\right]^{1/2}$$

IV. TEORIA DA MEDIDA

O osciloscópio alem de permitir a realização de medidas de amplitude, período(freqüência) e diferença de fase, diretamente na tela,permite ainda visualizar a composição de sinais periódicos em eixos perpendiculares e retirar informações de diferença de fase e de relação de freqüência a partir de figuras formadas

IV.1. MEDIDA DA DIFERENÇA DE FASE PELO MÉTODO DA ELIPSE

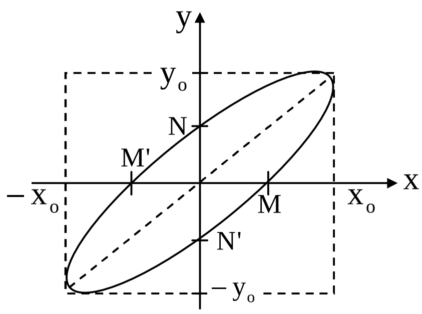
Considere que as coordenadas de um ponto (x, y)variem de forma senoidal, no tempo,conforme as equações paramétricas:

$x = x_o \cdot \text{sen}\ \omega t$

e

$y = y_o \cdot \text{sen}\ (\omega t + \phi)$

A curva y(x) representa uma elipse inclinada



Essa figura se completará toda vez que t atingir um múltiplo do período $T = 2\pi/\omega$

Os pontos de interseção N e N' possuem coordenadas $x = 0$ *,* $x_o \cdot \text{sen}\omega t = 0$*, logo* $\omega t = k\pi$*, k = 0, 1, 2, 3 ... . Para valores consecutivos de k teremos N e N'.*

Os valores correspondentes das ordenadas y serão:

$y = y_o \cdot \text{sen}\ (k\pi + \phi) =$ $\quad y_o \cdot \text{sen}\ \phi$ *para k par*

$\qquad\qquad - y_o \cdot \text{sen}\ \phi$ *para k impar*

A medida $\overline{NN'}$ *(positiva) valerá, portanto:*

$$\overline{NN'} = 2y_o|\text{sen}\,\phi| \quad ou \quad |\text{sen}\,\phi| = \frac{\overline{NN'}}{2y_o}$$

De modo análogo encontramos também que:

$$|\text{sen}\,\phi| = \frac{\overline{MM'}}{2x_o}$$

A medida da inclinação da elipse e o sentido de giro nos permitem identificar o valor correto de ϕ.

Estando a elipse enquadrada ($x_o = y_o$*), a observação da inclinação reduz o valor de* ϕ *a dois valores* $+\phi$ *e* $-\phi$*, e a observação do sentido de giro permite identificar qual desses dois valores é correto.*

IV.2. FIGURA DE LISSAJOUS

Essas figuras são obtidas pela composição de dois movimentos periódicos em eixos ortogonais.

$x = x_o \times sen\ w_x\ t$ *com* $\omega_x = \dfrac{2\pi}{T_x} = 2\pi f_x$

e

$y = y_o \times sen\ (w_y\ t + f\ )$ *com* $\omega_y = \dfrac{2\pi}{T_y} = 2\pi f_y$

A figura obtida é fechada, ou seja, o ponto que descreve volta ao ponto de partida e se repete periodicamente quando a relação entre as freqüências é igual a uma relação entre números inteiros.

$$\frac{\omega_y}{\omega_x} = \frac{n}{n'}$$

O intervalo de tempo T (período) para descrever completamente a figura é dado por:

$$T = n \times T_y = n' \times T_x$$

Propriedade dos extremos das figuras:

$$\frac{\omega_y}{\omega_x} = \frac{f_y}{f_x} = \frac{\text{número de extremos em x}}{\text{número de extremos em y}}$$

V. PARTE EXPERIMENTAL

V.1. LISTA DE MATERIAL

- *osciloscópio*
- *voltímetro*
- *plaqueta de ligação*
- *resistor*
- *capacitor*
- *gerador de audiofreqüência*
- *fios de ligação*
- *transformador*

V.2. MEDIDAS

V.3. PRIMEIROS AJUSTES

Ligamos o osciloscópio e esperamos um minuto para aquecimento.

Colocamos as entradas verticais em curto circuito, posição GND.

Colocamos a chave SWEET MODE (modo varredura) na posição AUTO.

A chave VER MODE (modo vertical) na posição DUAL (dois canais).

Ajustamos a taxa de varredura (TIME DIV) em 1ms/div.

Apareceram dois traços na tela.

Ajustamos o controle de intensidade (INTEN) e foco (FOCUS).

Posicionamos os dois traços na tela girando os botões de posicionamento vertical (POSITION).

Alteramos a taxa de varredura girando no sentido anti-horário o botão (TIME DIV), até que podemos perceber um ponto se movimentando na tela.

Colocamos a chave VERT MODE na posição CH2, observamos apenas um ponto se movimentando. Posicionamos esse movimento na metade vertical da tela.

Giramos o botão de controle da taxa de varredura no sentido anti-horário e o fixamos na posição X - Y.

Colocamos a chave SOURCE na posição X - Y (canal 1 ® eixo x e canal 2 ® y)

Posicionamos o ponto no centro da tela utilizando o controle POSITION dos canais 1 e 2.

V.4. OBSERVAÇÃO DO DESLOCAMENTO DO PONTO LUMINOSO COM A D.D.P. APLICADA.

Canal 2

Ajustamos a sensibilidade (Volt/div) do canal 2 para 1 volt/div e conectamos a entrada desse canal a uma bateria de 3 V.

Colocamos a chave de entrada do canal 2 na posição DC.

O ponto luminoso se deslocou para cima de ***2,8 div***

Levamos a chave de entrada de volta para a posição GND.

Invertemos a polaridade da bateria e observamos que o ponto se deslocou para baixo de ***2,8 div***

Logo (quando usamos o canal 2) o ddp nos terminais da bateria é de:

V = 2,8 div ´ (1 vol/div) = ± 2,8 V

Canal 1

Repetimos os mesmos passos no canal 1 que está atuando como eixo x.

Colocamos a chave de entrada do canal 1 na posição DC.

O ponto luminoso se deslocou para direita de ***2,2 div***

Levamos a chave de entrada de volta para a posição GND.

Invertemos a polaridade da bateria e observamos que o ponto se deslocou para esquerda de ***1,4 div***

Logo (quando usamos o canal 1) o ddp nos terminais da bateria é de:

V = 2,2 div ´ (1 vol/div) = +2,2 V ou V = **-***1,4 div ´ (1 vol/div) = 2,2 V*

Concluímos que o canal 1 estava com problemas de calibração do equipamento.

V.5. OBSERVAÇÃO DOS SINAIS FORNECIDOS PELO GERADOR DE FUNÇÃO

Ligamos o gerador

- *Ajustamos a função no modo* ***senoidal***

  Ajustamos a freqüência do gerador para 2Hz

  Giramos o controle de amplitude do gerador até a metade do valor máximo.

  Conectamos o gerador á entrada do canal 2 (eixo y) e colocamos a chave de entrada desse canal na posição DC.

  Ajustamos a sensibilidade vertical de modo que o ponto luminoso não ultrapasse os limites da tela.

  Observando o movimento do ponto e achamos que a velocidade do ponto parecia ser maior na região próxima ao centro da tela.

  Observando o movimento, não conseguimos reconhecer o deslocamento como uma função senoidal (movimento de vai e vem no eixo y).

  Levamos a chave para a posição GND

- *Ajustamos a função no gerador no modo* ***triangular****.*

  Nesse modo a velocidade nos parece ser constante até atingir os extremos.

  A inversão do movimento nos parece ser mais brusca que no modo senoidal.

  Levamos a chave para a posição GND

- *Ajustamos a função no gerador no modo* ***quadrada****.*

  Nesse modo os pontos se alternam entre os extremos.

  Levamos a chave para a posição GND

- **Canal 1**

  Conectamos agora o gerador, em função senoidal, ao canal 1 (eixo x)

  Observamos um movimento idêntico ao do canal 2, só que agora no eixo vertical.

- **Modo de varredura**

  Ajustamos a taxa de varredura (TIME DIV) em 0,1 s/div e posicionamos o traço (POSITION) de modo que o mesmo começasse o traçado no canto esquerdo da tela. Levamos a chave VERT/MODE para a posição CH1 (canal 1) para que pudéssemos utilizá-lo como eixo y.

  Conectamos novamente o gerador de função.

  Ajustamos a freqüência do gerador para 2Hz

Giramos o controle de amplitude do gerador até a metade do valor máximo.

Conectamos o gerador á entrada do canal 1 e colocamos a chave de entrada desse canal na posição DC.

Ajustamos a sensibilidade vertical de modo que o ponto luminoso não ultrapasse os limites da tela.

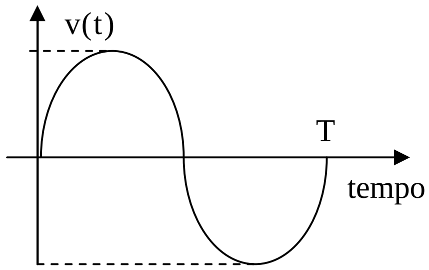
Ai, percebemos o movimento senoidal, o movimento triangular e o movimento quadrado.

V.6. MEDIDA DE FREQÜÊNCIA

Ajustamos o gerador para 2,0 kHz e a taxa de varredura de modo a observarmos um período
Medimos na tela que um período ocupa 4,9 divisões.
Determinamos o desvio absoluto em DT = 0,1 div ´ 0,1 ms/div = 0,01 ms = 0,1 ´ 10^{-4} s
Calculamos o período:

T = 4,9 div ´ 10^{-4} s/div = 4,5 ´ 10^{-4} s

T = (4,5 ± 0,1) ´ 10^{-4} s



Calculamos a freqüência

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{4{,}9\times10^{-4}} = 2{,}0\times10^{3}\,\text{Hz} = 2{,}0\,\text{kHz}$$

$$\Delta f = \left|\frac{\partial f}{\partial T}\right| \cdot \Delta T = \frac{1}{\left(4{,}9\times10^{-4}\right)^{2}} \times 0{,}1\times10^{-4} = 41{,}7\text{Hz}$$

$$\Delta f == 0{,}1\,\text{kHz}$$

$$f = (2{,}0 \pm 0{,}1)\,\text{kHz}$$

Chegamos a um valor coerente com o valor ajustado no gerador 2,0 KHz

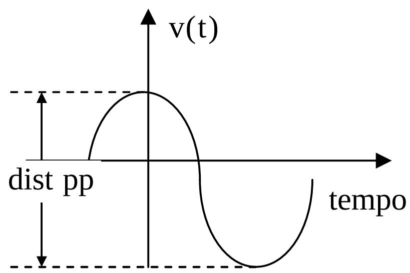
V.7. MEDIDA DE AMPLITUDE DOS SINAIS SENOIDAL E QUADRADO

Ajustamos o gerador para amplitude máxima e a sensibilidade vertical do osciloscópio para obter a maior ***senóide*** *possível, sem ultrapassar os limites da tela.*
Deslocamos a senóide para baixo até que sua parte mais baixa tangenciasse a linha inferior da gratícula da tela.
Deslocamos, agora, na horizontal de modo que a crista corte o eixo vertical. Medimos o valor pico a pico

dist pp = (3,6 ± 0,1)div

Cálculo da tensão pico a pico

V_{pp} = 3,6 div ´ (5 ± 0,1) volts/div = (18± 0,5) Volts



Cálculo da tensão eficaz "V_{ef}"

$$V_{ef} = \frac{\frac{V_{pp}}{2}}{\sqrt{2}} = \frac{\frac{18}{2}}{\sqrt{2}} = 6{,}4\,\text{V}$$

$$\Delta V_{ef} = \left|\frac{\partial V_{ef}}{\partial V_{pp}}\right| \cdot \Delta V_{pp} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot 0{,}5 = 0{,}2\,\text{V}$$

$$V_{ef} = (6{,}4 \pm 0{,}2\,)\,\text{V}$$

Selecionamos no gerador a função ***quadrada,*** *repetimos o procedimento e obtivemos:*
Cálculo da tensão pico a pico

V_{pp} = 3,6 div ´ (5 ± 0,1) volts/div = (18± 0,5) Volts

Cálculo da tensão eficaz "V_{ef}"

$$V_{ef} = \frac{V_{pp}}{2} = \frac{18}{2} = 9{,}0\ \text{V}$$

$$\Delta V_{ef} = \left|\frac{\partial V_{ef}}{\partial V_{pp}}\right| \cdot \Delta V_{pp} = \frac{1}{2} \cdot 0{,}5 = 0{,}3\ \text{Volts}$$

$$V_{ef} = (9{,}0 \pm 0{,}3)\ \text{Volts}$$

V.8. MEDIDAS DE TENSÃO CONTÍNUA

Conectamos a bateria ao canal 1. Levamos a chave de entrada do canal 1 para a posição GND e posicionamos o traço coincidindo com a linha inferior da gratícula da tela.

Ajustamos a sensibilidade vertical para 5 volts/div e levamos a chave de entrada para posição DC.

Medida da ddp:

Com o osciloscópio

V = (5,5 ± 0,1)div ´ 0,5 Volts/div = (2,75 ± 0,05)Volts

Fizemos a medição da ddp, agora, com um multímetro
V = (2,7 ± 0,1) Volts

Notamos que a ddp do osciloscópio é um pouco maior que a ddp do voltímetro. Isto se deve ao fato da resistência interna do osciloscópio ser muito maior que a do voltímetro, com isso ao passar maior corrente através do voltímetro, a queda de tensão interna da bateria será maior.

V.9. MEDIDA DA TENSÃO DA REDE COM UM TRANSFORMADOR

Para medir a tensão da rede utilizamos um transformador abaixador de tensão.

Ligamos o transformador á rede e conectamos a saída à entrada do canal 1. Ajustamos a taxa de varredura e a sensibilidade vertical , para obtermos uma senóide com um período. Medimos o período, calculamos a freqüência, a tensão pico a pico, V_{pp}, e calculamos o valor eficaz.

Deslocamento = (8,4 ± 0,1)div

$$T = (8,4 \pm 0,1)\text{div} \times 2 \cdot 10^{-3}\ \text{div/s}$$

$$T = (16,8 \pm 0,2) \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{16,8 \times 10^{-3}} = 59,5\ \text{Hz}$$

$$\Delta f = \left|\frac{\partial f}{\partial T}\right| \cdot \Delta T = \frac{1}{T^2} = \frac{1}{\left(16,8 \times 10^{-3}\right)^2} \times 0,2 \times 10^{-3} = 0,7\ \text{Hz}$$

$$f = \left(59,5 \pm 0,7\right)\text{Hz}$$

Deslocamento pp = 3,8 div

V_{pp} = (3,8 ± 0,1)div ´ 5 volts/div = (19 ± 0,5) volts

$$V_{ef} = \frac{V_{pp}}{2\sqrt{2}} = \frac{19}{2\sqrt{2}} = 6,7\ \text{volts}$$

$$\Delta V_{ef} = \left|\frac{\partial V_{ef}}{\partial V_{pp}}\right| \cdot \Delta V_{pp} = \frac{1}{2\sqrt{2}} \cdot 0,5 = 0,2\ \text{volts}$$

$$V_{ef} = (6,7 \pm 0,2)\ \text{volts}$$

Tensão eficaz da rede (N = 19,4)

V_{rede} = N×V_{ef}

V_{rede} = 19,4 ´ 6,7 = 129,9 volts = 130 volts

DV = 19,4 ´ 0,2 = 3,9 = 4 volts

V_{rede} = (130 ± 4) volts

*Fizemos a medição da ddp, agora, com um **multímetro.***

V = (6,8 ± 0,1) Volts

V_{rede} = 19,4 ´ 6,8 = 131,9 volts = 132 volts

DV = 19,4 ´ 0,1 = 1,9 = 2 volts

V_{rede} = (132 ± 2) volts

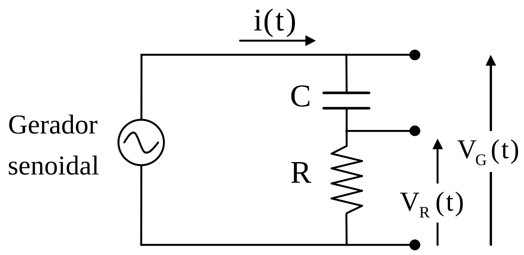
V.10. ESTUDO DO CIRCUITO RC

Vamos mostrar a diferença de fase entre a tensão e a corrente em um circuito RC em regime estacionário.

Montamos o circuito RC.

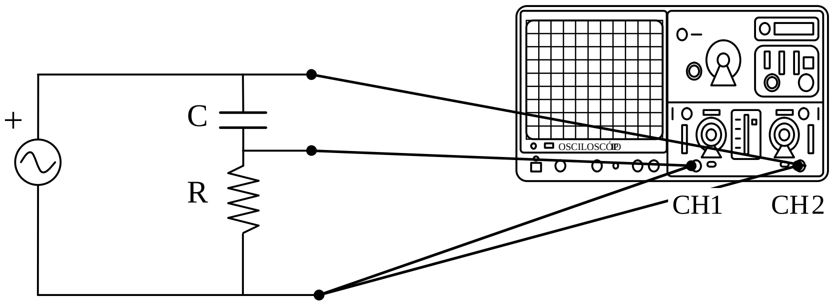
R = 1139 Ω

C = 1,1 μF



MÉTODO DIRETO

Conectamos o resistor e o capacitor ao osciloscópio conforme o esquema.



Defasagem da senoide

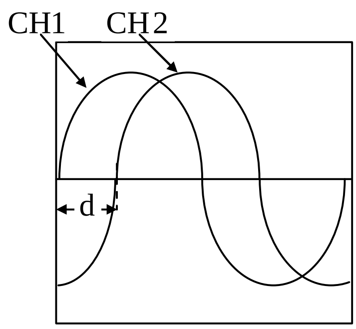
d = 1,4 div

2p rad ® 10 div

f ® d div

$$\phi = \frac{2\pi \cdot d}{10}$$

$$\Delta\phi = \left|\frac{\partial\phi}{\partial d}\right| \cdot \Delta d = \frac{2\pi}{10} \cdot 0{,}1 = 0{,}02\,\pi\,\text{rad}$$



*Defasagem da senoide (**para f = 100 Hz**)*

d = 1,4 div

2p rad ® 10 div

f ® 1,4 div

$$\phi = \frac{2\pi \cdot 1{,}4}{10} = 0{,}28\,\pi\,\text{rad}$$

$$\phi = (0{,}28 \pm 0{,}02)\,\pi\,\text{rad}$$

Defasagem da senoide ***(para f = 300 Hz)***

d = 1,4 div

2p rad ® 10 div

f ® 0,6 div

$$\phi = \frac{2\pi \cdot 0,6}{10} = 0,12\,\pi\,\text{rad}$$

$$\phi = (0,12 \pm 0,02)\,\pi\,\text{rad}$$

Defasagem da senoide ***(para f = 1000 Hz)***

d = 1,4 div

2p rad ® 10 div

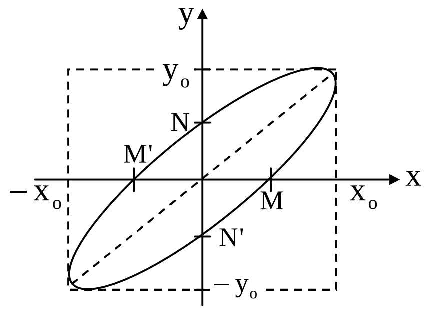
f ® 0,1 div

$$\phi = \frac{2\pi \cdot 0,1}{10} = 0,02\,\pi\,\text{rad}$$

$$\phi = (0,02 \pm 0,02)\,\pi\,\text{rad}$$

MÉTODO DA ELIPSE

Para utilizarmos o método da elipse, colocamos o sinal $v_R(t)$ no eixo x e o sinal $v_G(t)$ no eixo y.



Ajustamos o controle da taxa de varredura na posição X-Y e as chaves VERT MODE e SOURCE na posição X-Y.

Ajustamos o gerador para ***100 Hz****, senoidal e amplitude máxima. Levamos as chaves de ambos os canais para a posição AC e ajustamos a sensibilidade.*

Ajustamos a elipse para caber em um quadrado de 8 ´ 8

$\overline{NN'} = 6,2\,\text{div}$ *e $2y_o$ = 8 div*

O giro é no sentido anti-horário

$$|\text{sen}\,\phi| = \frac{\overline{NN'}}{2y_o} = \frac{6,2}{8} = 0,775$$

f = arc sen 0,775

Para f = 300 Hz

$\overline{NN'} = 2,8\,\text{div}$ *e $2y_o$ = 8 div*

O giro é no sentido anti-horário

$$|\text{sen}\,\phi| = \frac{\overline{NN'}}{2y_o} = \frac{2,8}{8} = 0,35$$

f = arc sen 0,35

Para f = 1000 Hz

$\overline{NN'} = 0{,}9\ \text{div}$ *e* $2y_o = 8$ *div*

O giro é no sentido anti-horário

$$\left|\text{sen}\,\phi\right| = \frac{\overline{NN'}}{2y_o} = \frac{0{,}9}{8} = 0{,}1125$$

f = arc sen 0,1125

FIGURA DE LISSAJOUS

$$\frac{f_y}{f_x} = \frac{n_x}{n_y} \quad f_y = f_x \cdot \frac{n_x}{n_y} \quad \textit{como } f_x = 60 \text{ Hz } Þ \quad f_y = 60 \cdot \frac{n_x}{n_y}$$

f(x) (hz)	f(G)	n(x)	n(y)	n(x)/n(y)	f(y) (Hz)
60	***20***	***3***	***1***	***3,000***	***180***
60	***30***	***1***	***2***	***0,500***	***30***
60	40	2	3	0,667	40
60	46	4	3	1,333	80
60	***60***	***1***	***1***	***1,000***	***60***
60	80	5	4	1,250	75
60	82	4	3	1,333	80
60	94	3	2	1,500	90
60	***120***	***5***	***2***	***2,500***	***150***
60	***170***	***3***	***1***	***3,000***	***180***
60	220	4	1	4,000	240
60	280	5	1	5,000	300
60	340	6	1	6,000	360
60	400	7	1	7,000	420

Algumas medidas teóricas de freqüências (f_y) não coincidem com as freqüências indicadas no gerador.

CONCLUSÃO

Com os experimentos feitos ficamos familiarizados com um poderoso instrumento de medidas elétricas, que é o osciloscópio.