UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
Departamento de Engenharia Elétrica
EEL7040 – Circuitos Elétricos I - Laboratório

AULA 05 - OSCILOSCÓPIO

1. INTRODUÇÃO

Este roteiro fornece informações básicas sobre osciloscópios, tema da experiência 5, e sobre a montagem a ser realizada durante a aula de laboratório correspondente. Os apêndices 5.1 e 5.2, fornecem informações complementares sobre os osciloscópios analógicos e digitais, respectivamente. As informações contidas neste roteiro são necessárias para o uso de qualquer um dos osciloscópios do laboratório.

2. FUNDAMENTOS BÁSICOS PARA SE UTILIZAR UM OSCILOSCÓPIO

O osciloscópio é basicamente um dispositivo de visualização gráfico que mostra sinais elétricos no tempo. O osciloscópio pode ser utilizado entre outras funções para:

- Determinar diretamente o período e a amplitude de um sinal;
- Determinar indiretamente a freqüência de um sinal;
- Localizar avarias em um circuito;

Como muitas grandezas físicas são medidas através de um sinal elétrico, o osciloscópio é um instrumento indispensável em qualquer laboratório de Eng. Elétrica, e em situações tão diversas como o diagnóstico médico, mecânica de automóveis, prospecção mineral, etc.

O monitor de um osciloscópio é, geralmente, um retângulo de 10cmx8cm, subdividido em quadrículos que permitem a leitura dos sinais visualizados, conforme mostrado na Figura 01. Os eixos vertical e horizontal possuem escalas que são ajustadas pelos seletores de base de tempo e amplitude, que serão detalhados no Item 2.4.

Para se medir um sinal elétrico com um osciloscópio, é necessário se dispor das "ponteiras de prova", que deverão ser conectadas aos canais do osciloscópio e à fonte do sinal elétrico que se deseja medir.

2.1 Canais do osciloscópio

Os osciloscópios utilizados no laboratório são de dois canais, o que significa que dois sinais podem ser observados (simultaneamente ou não) com o instrumento. Existem também osciloscópios de quatro canais. Cada um dos canais possui uma entrada para uma ponteira de prova e alguns comandos independentes, que serão detalhados posteriormente.

2.1.1 Seleção do canal a ser mostrado na tela do osciloscópio

Tanto os osciloscópios analógicos quanto os digitais permitem a visualização de qualquer um dos seus dois canais, ou dos dois canais de forma simultânea. Para isso, existem botões com as seguintes funções:

CH1: mostra o sinal do canal 1;
CH2: mostra o sinal do canal 2;
ALT e CHOP: as duas opções mostram os dois canais de forma simultânea, a forma como isso é feito é diferente nos dois casos, mas para fins de observação o efeito é o mesmo (detalhes no Apêndice 5.1).
ADD: mostra um sinal correspondente à soma do sinal do canal 1 com o sinal do canal 2.

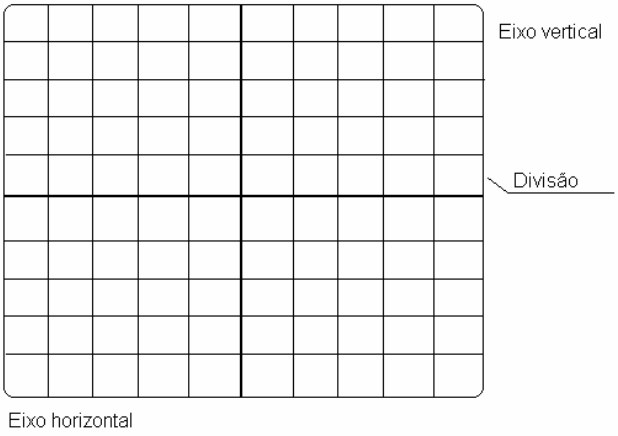


Figura 01: Tela de um osciloscópio.

2.2 Forma de onda para teste dos osciloscópios e das ponteiras.

Os osciloscópios do laboratório possuem uma forma de onda de tensão que é gerada internamente, para testar o próprio instrumento e as ponteiras de prova. Para observar essa forma de onda, deve-se conectar uma ponteira de prova a um dos canais do osciloscópio e à saída do próprio osciloscópio, que fornece essa forma de onda.

Geralmente, essa forma de onda é um pulso retangular de amplitude variável, especificada no próprio painel do instrumento. Assim, quando a referida conexão for feita, a imagem da Figura 02 deverá aparecer na tela do osciloscópio:

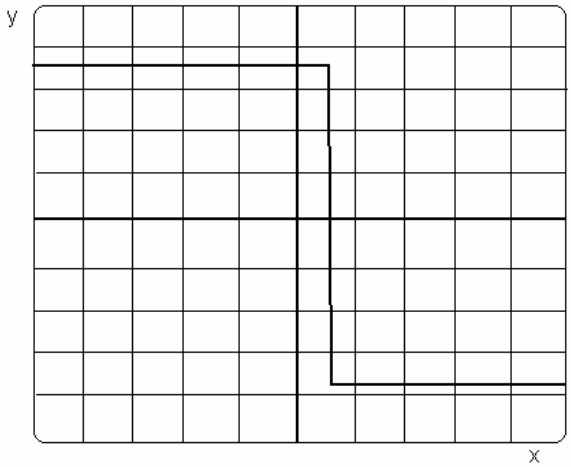


Figura 02: Onda de auto-teste, e teste das ponteiras de prova dos osciloscópios

2.3 Seleção do Modo de Funcionamento

Pode-se selecionar o modo de funcionamento dos osciloscópios conforme descrito a seguir:

a) Modo X-T

Neste modo de funcionamento observamos no monitor os sinais presentes nas entradas CH1 e/ou CH2 em função do tempo.

b) Modo X-Y

Neste modo de funcionamento observamos no monitor o sinal do canal CH1 em função do sinal do canal CH2.

2.4 Seleção das escalas de tempo e de amplitude

Os botões para selecionar as escalas horizontal e vertical do osciloscópios permitem um ajuste da imagem de acordo com a freqüência e a amplitude de um sinal.

O ajuste da escala de tempo é comum aos dois canais do osciloscópio. A escala de amplitude é independente para cada um dos canais do osciloscópio.

A Figura 03 mostra, entre outros comandos já descritos neste roteiro, os seletores de tempo (“Time Base”) e amplitude (Ampl. 1 e Ampl. 2) que aparecem no painel de um osciloscópio analógico. No caso dos valores selecionados para os seletores mostrados nessa figura, tem-se que cada divisão na escala horizontal da tela do osciloscópio corresponderia a 50.10^{-6} segundos, e cada divisão da escala vertical do osciloscópio corresponderia a 20 Volts.

O ajuste dos seletores das escalas de tempo e de amplitude varia de acordo com o sinal a ser analizado.

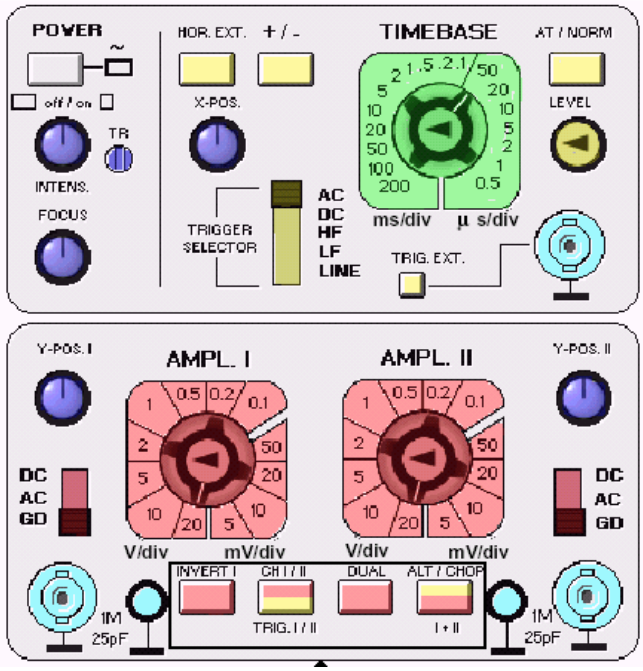


Figura 03: Seletores de tempo e amplitude.

2.5 O que significa o seletor AC/DC/GND

Os sinais elétricos a serem observados no laboratório são geralmente constituídos por duas componentes: uma componente variável no tempo, e uma componente contínua. O seletor AC/DC/GND permite a filtragem da componente contínua dos sinais, bem como visualizar na tela a posição correta para a referência (terra ou “tensão-zero”) do circuito que está sendo observado. Assim, esse seletor tem o seguinte significado:

DC: o sinal de entrada é mostrado integralmente (componente contínua e componente variável no tempo);

AC: apenas a componente do sinal variável no tempo é mostrada, sendo filtrada a componente contínua do sinal;

GND: mostra a posição do “terra” do circuito na tela do osciloscópio.

2.6 Ajustando a posição do sinal na tela do osciloscópio

Os osciloscópios permitem ajustar a posição de um sinal na tela. Para isso, deve-se utilizar os botões giratórios, denotados por “X-POS” (posição horizontal) e “Y-POS”(posição vertical). Estes comandos aparecem na Figura 03.

2.7 Medidas com o osciloscópio

Pode-se realizar uma série de medidas com o osciloscópio. Algumas delas serão exploradas nesta seção.

2.7.1 Período e Freqüência

A Figura 04 mostra um exemplo de medição de período e freqüência de um sinal periódico (que se repete no tempo). No caso mostrado, a forma de onda se repete 3 vezes em um segundo, ou seja, leva 1/3 de segunda para completar um ciclo, o que corresponde ao período. A freqüência é o inverso do período, assim a onda mostrada nessa figura tem freqüência de 3 Hz (três ciclos por segundo).

Importante: para se medir o período (e a freqüência) de uma onda em um osciloscópio, deve-se estar atento à escala de tempo que está sendo utilizada, para saber a quantos segundos corresponde cada divisão horizontal do gráfico mostrado na tela.

$$f = \frac{1}{T}$$

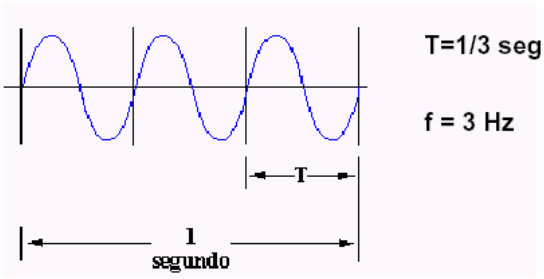


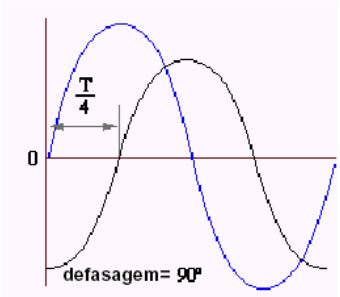
Figura 04: Medição de período e freqüência.

2.7.2 Amplitude de um sinal

A amplitude dos sinais mostrados por um osciloscópio pode ser determinada diretamente. Para isso, basta observar a escala do eixo vertical do osciloscópio, quando um determinado sinal está sendo mostrado em função do tempo (modo X-T). Deve-se contar o número de divisões e multiplicar pela escala que está sendo utilizada.

2.7.3 Diferença de Fase

A diferença de fase entre duas formas de onda senoidais pode ser determinada por uma simples regra de três, conforme mostrado na Figura 05.



$$T \rightarrow 360°$$
$$\frac{T}{4} \rightarrow X°$$
$$X = \frac{360.T/4}{T} = 90°$$

Figura 05: Medição de defasagem.

Sabe-se da trigonometria que a Função Senoidal pode ser mapeada em uma circunferência (360 graus). Então, a cada ciclo completo da senoide, é como se 360 graus fossem completados. Quanto duas senóides (de mesmo período) são analisadas

simultaneamente em um osciloscópio, a diferença entre as duas quanto ao tempo em que elas cruzam o eixo horizontal é uma informação importante, sendo chamada de "defasagem"entre as duas ondas. A medida da defasagem "X" (em graus), é determinada observando-se os tempos T e T/4, na tela do osciloscópio, e fazendo-se a regra de três mostrada na Figura 05. No caso mostrado, a onda de menor amplitude está atrasada 90 graus em relação à de amplitude maior.

Importante: conexão das ponteiras para medir dois sinais simultâneos

Quando utilizamos o osciloscópio para a medição simultânea de duas grandezas simultâneas (dois canais), devemos tomar cuidado com a conexão das referências (terras) das duas ponteiras. Internamente, o osciloscópio irá conectar as duas referências (garras pretas). Assim, deve-se sempre tomar o cuidado de se *ligar os dois terras no mesmo ponto do circuito*. Caso contrário, o osciloscópio irá conectar internamente dois pontos distintos do circuito. A Figura 06 apresenta dois exemplos de ligação para exemplificar a ligação errônea e a correta.

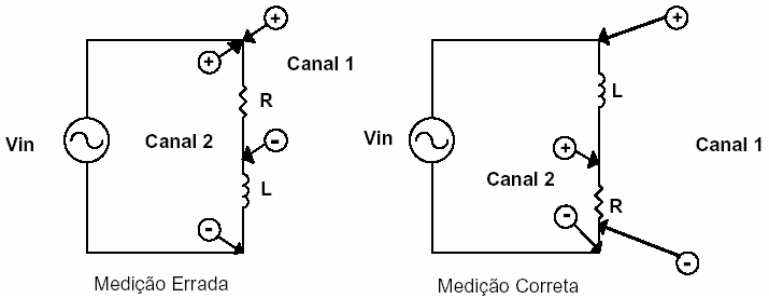


Figura 06: Exemplos de medição errônea e correta com o osciloscópio.
A questão do terra das ponteiras.

3. O ENSAIO DE LABORATÓRIO

3.1 Fundamentos Teóricos

Para a realização do ensaio de laboratório são necessários alguns fundamentos teóricos importantes, descritos a seguir:

3.1.1 Defasagem e fator de potência

A Figura 07 mostra duas formas de onda senoidais, defasadas de um ângulo ø.

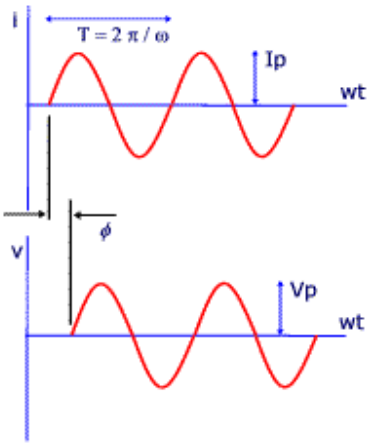


Figura 07: Ondas de tensão e corrente senoidais defasadas
Onde: I = Corrente
V = Tensão
T=Tempo
V_p = Valor de pico da onda de tensão
I_p = Valor de pico da onda de corrente
Ø = Ângulo de defasagem entre as ondas
w = freqüência angular calculada em função do período (T) ou da freqüência (f) da onda (w=2.π.f ou w=2. π/T)

Essas formas de onda podem ser descritas, utilizando as mesmas variáveis definidas para a Figura 07, pelas Equações (1) e (2);

$$i = I_p \, sen(wt) \quad (1)$$
$$v = V_p \, sen(wt + ø) \quad (2)$$

Dado um circuito em que tensão e corrente na carga estejam defasadas desse ângulo ø: A potência instantânea dissipada nessa carga é dada por:

$$p=V.I \quad (3)$$

Onde: V = Tensão
I = Corrente

A potência média, por sua vez, é dada por:

$$P = (1/T) \int_{0,T} V.I.dt \quad (4)$$

Onde: V = Tensão
I = Corrente
T = Período

Substituindo os valores de V e I pelas equações do (1) e (2) e resolvendo a integral, tem-se que:

$$P = V_e I_e \cos ø \quad (5)$$

Onde: V_e = Valor eficaz da onda de tensão
I_e = Valor eficaz da onda de corrente

O valor eficaz de uma onda senoidal, é o valor associado à energia útil que o sinal produz. Para uma onda de tensão senoidal, o valor eficaz é dado por $V_p/\sqrt{2}$. Assim, a energia desse sinal em um dado intervalo de tempo é a mesma de uma onda contínua com amplitude igual ao valor eficaz. Detalhes do cálculo do valor eficaz de uma onda podem ser encontrados na Referência [1]. Na Equação (5), a quantidade "cos ø" é chamada de *fator de potência*, e é característica de uma determinada carga que causa uma defasagem ø entre a tensão e a corrente.

Isto significa que, em um circuito de corrente senoidal alternada, se não há defasagem (ø = 0º), toda a potência é transferida para a carga (como no caso de uma resistência). Caso a carga contenha indutores ou capacitores, essa potência começa a diminuir, podendo inclusive ser nula se ø = 90º (casos onde a carga só contém indutores ou capacitores). Este conceito é muito importante na geração, transformação e distribuição de energia elétrica. Na prática, revela quanto da energia fornecida é realmente utilizada. Essa quantidade, embora usualmente chamada apenas de potência, é chamada de potência ativa de uma carga. A parcela de potência fornecida pela carga que não é convertida em energia útil, é chamada de potência reativa.

A seguir, serão definidos capacitores e indutores e a razão porque eles defasam tensões e correntes.

3.1.2 Capacitores (C), indutores (L) e cargas RLC

Capacitores são elementos basicamente formados por 2 superfícies condutoras separadas por uma camada isolante. Uma tensão elétrica aplicada entre as mesmas fará uma atração entre pólos opostos e a propriedade de armazenar carga elétrica. Em um capacitor a carga elétrica armazenada é proporcional à tensão aplicada: q = C V. Onde o *fator de proporcionalidade C é denominado capacitância* (unidade Farad-F). Como a corrente é dada por dq/dt, temos:

$$i = dq/dt = C\, dv/dt = C\, d(V_p \operatorname{sen} wt)/dt$$

$$i = wC V_p \cos wt = wC V_p \operatorname{sen}(wt + \pi/2) \quad (6)$$

Assim, a corrente é senoidal e adiantada de 90º em relação à tensão. Esta equação pode ser calculada em valores eficazes e então:

$$V_e = (1/wC)\, I_e \quad (7)$$

Indutores são condutores dispostos em forma de espiral nos quais os campos eletromagnéticos formados geram correntes que tendem a se opor às variações da corrente aplicada nos mesmos. Em um indutor a relação entre tensão e corrente é dada por: V = L di/dt. Onde *o fator L é denominado indutância* (unidade Henry - H).

Substituindo i pela equação do item 2 temos:

$$v = L\, d(I_p \operatorname{sen} wt)/dt = wL\, I_p \cos wt$$
$$v = wL\, I_p \operatorname{sen}(wt + \pi/2) \quad (8)$$

Ou seja a corrente é atrasada de 90º em relação à tensão.
De forma similar ao caso do capacitor, tem-se::

$$V_e = w\, L\, I_e \quad (9)$$

No caso de circuitos contendo resistores associados em série com capacitores ou indutores, a defasagem irá depender da freqüência, e dos valores de R, L, e C. O item seguinte introduz o conceito de impedância, para análise desse tipo de situação.

3.1.3 Impedância (resistência e reatância)

A impedância de um resistor, é o próprio valor da sua resistência, que relaciona a tensão com a corrente no circuito (V=RI). De forma similar, a impedância de um capacitor, observando-se a Equação (7), é dada por: $X_c=(1/wC)$. X_c é chamada de reatância capacitiva. É importante lembrara que como $w=2\pi f$, a *reatância depende da freqüência.*

O nome reatância é dado para a parte da impedância de uma carga que causa defasagem entre as ondas de tensão e corrente. A parte da impedância que não causa essa defasagem é chamada de resistência.

No caso de um indutor, observando-se a Equação (9), tem-se que a reatância é dada por $X_L=wL$, onde X_L é a reatância indutiva.

Para cargas contendo um resistor associado em série com um indutor, como no primeiro circuito a ser montado na aula de laboratório, a impedância total será dada pela seguinte expressão:

$$Z_L = R + jwL \quad (11)$$
Onde ZL = Impedância da carga

O operador “j”, que vem da teoria dos números complexos, indica que a quantidade wL está 90º adiantada em relação à componente R, conforme ilustra a Figura 8:

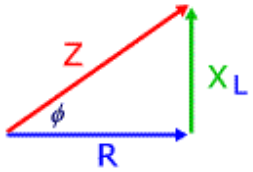


Figura 08: Impedância de uma associação série Resistor-Indutor

Assim, a defasagem que a carga de impedância Z mostrada na Figura 08 iria produzir entre as formas de onda de tensão e corrente seria dada pelo ângulo ø (cujo cosseno é o fator de potência da carga). Da trigonometria, pode-se concluir que o módulo da impedância mostrada na figura 08 é dado por:

$$|Z| = \sqrt{R^2 + X_L{}^2} \qquad (12)$$

Como o módulo depende de X_L, ele depende também da freqüência do sinal senoidal. Esse conceito, juntamente com o conceito de defasagem serão importantes na realização do ensaio de laboratório descrito a seguir.

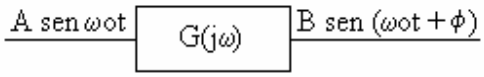
3.1.4 Análise de Resposta em Freqüência

Entende-se como resposta em freqüência a resposta em regime estacionário de um sistema de entrada senoidal onde variamos a freqüência dos sinal de entrada em uma faixa de interesse e estudamos a resposta em freqüência resultante.

Verificamos que um sistema linear, estável, invariante no tempo e sujeito a uma entrada senoidal possuirá, em regime permanente, uma saída senoidal com a mesma freqüência da entrada. Porém, a amplitude e o ângulo de fase da saída, em geral, serão diferentes daqueles da entrada, conforme a figura 9. Com base no exposto, obtemos este importante resultado, para entradas senoidais:

$|\mathrm{G}(\mathrm{j}\omega)| = \left|\frac{\mathrm{Y}(\mathrm{j}\omega)}{\mathrm{X}(\mathrm{j}\omega)}\right|$; relação de amplitude da onda senoidal da saída para a onda senoidal de entrada.

$\angle G(j\omega) = \angle \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)}$; defasagem da onda senoidal de saída com respeito à onda senoidal de entrada.



onde: $B = A \cdot \left|G(j\omega)\right|_{\omega=\omega_0}$

$\phi = \angle G(j\omega)\Big|_{\omega=\omega_0}$

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Figura 9 – Relação entrada-saída para um sistema linear

Portanto, as características de resposta de um sistema para entrada senoidal podem ser obtidas diretamente de:

$$G(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} \qquad (13)$$

A função $G(j\omega)$ chamada função de transferência senoidal, e é a relação entra a saída $Y(j\omega)$ e a entrada $X(j\omega)$, é uma grandeza complexa que pode ser representada pelo módulo e ângulo de fase, tendo a freqüência como variável ou parâmetro.

Muitas vezes $G(j\omega)$ é representada por dois gráficos, um de módulo e outro de fase. Para acomodar informações em uma faixa ampla de freqüências é comum usar-se escala logarítmica.

3.2 Montagem a ser realizada no laboratório

Montar os circuitos ilustrados na Figura 10. Para cada circuito, variar a freqüência da onda senoidal de entrada em valores compreendidos na faixa de 10 Hz a 100kHz e medir para cada variação, as tensões de entrada e saída indicadas no circuito.

Utilizar o gerador de funções disponível no laboratório que apresenta resistência de saída de 50 ohms.

Utilize uma tensão de alimentação com amplitude de 5 V de pico.

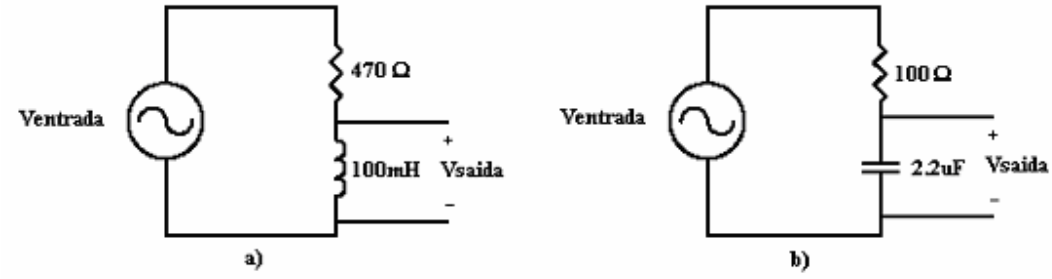


Figura 10: Circuitos a serem montados

a) Indicar na figura 11 a relação de amplitude da entrada em relação à saída do circuito RL (Fig 10a)

b) Indicar na figura 12 a defasagem angular da saída em relação à entrada do circuito RL (Fig 10a)

c) Indicar na figura 13 a relação de amplitude da entrada em relação à saída do circuito RC (Fig 10b)

d) Indicar na figura 14 a defasagem angular da saída em relação à entrada do circuito RC (Fig 10b)

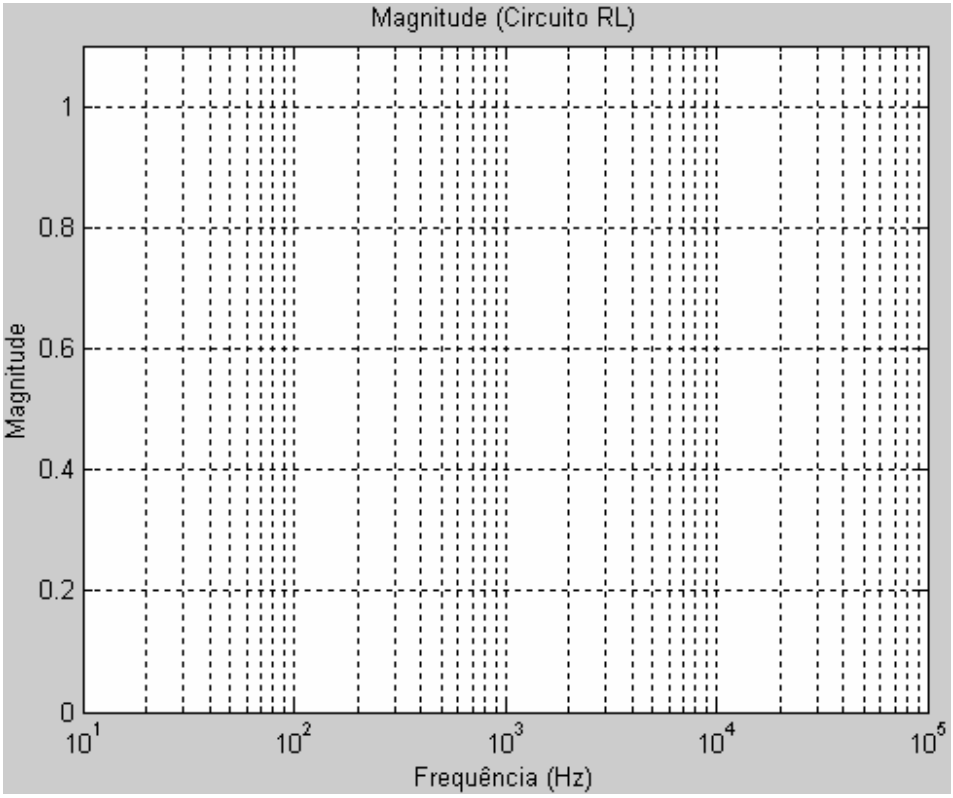


Figura 11 – Relação de Amplitude da saída em relação à entrada

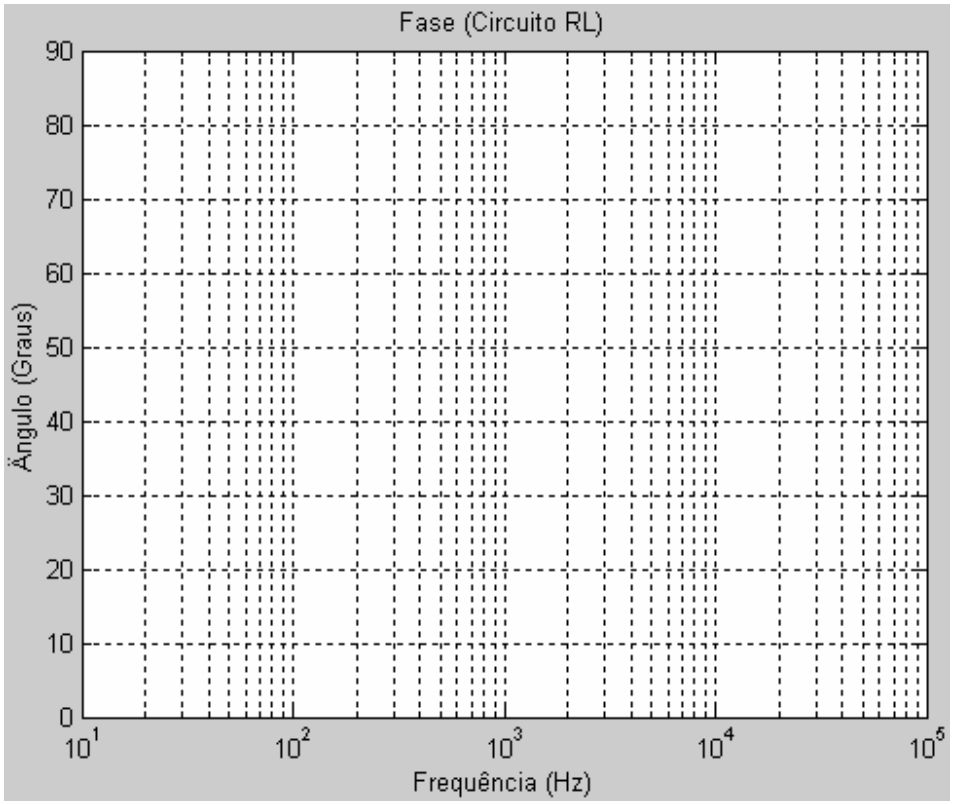


Figura 12 – Defasagem angular da saída em relação à entrada

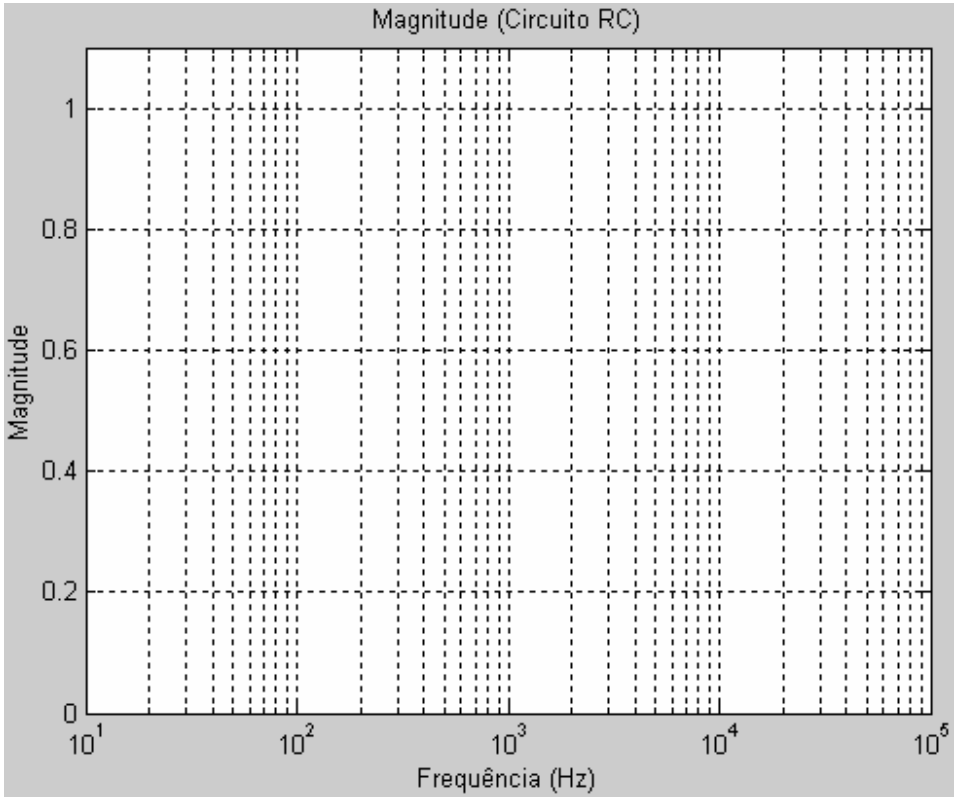


Figura 13 – Relação de Amplitude da saída em relação à entrada

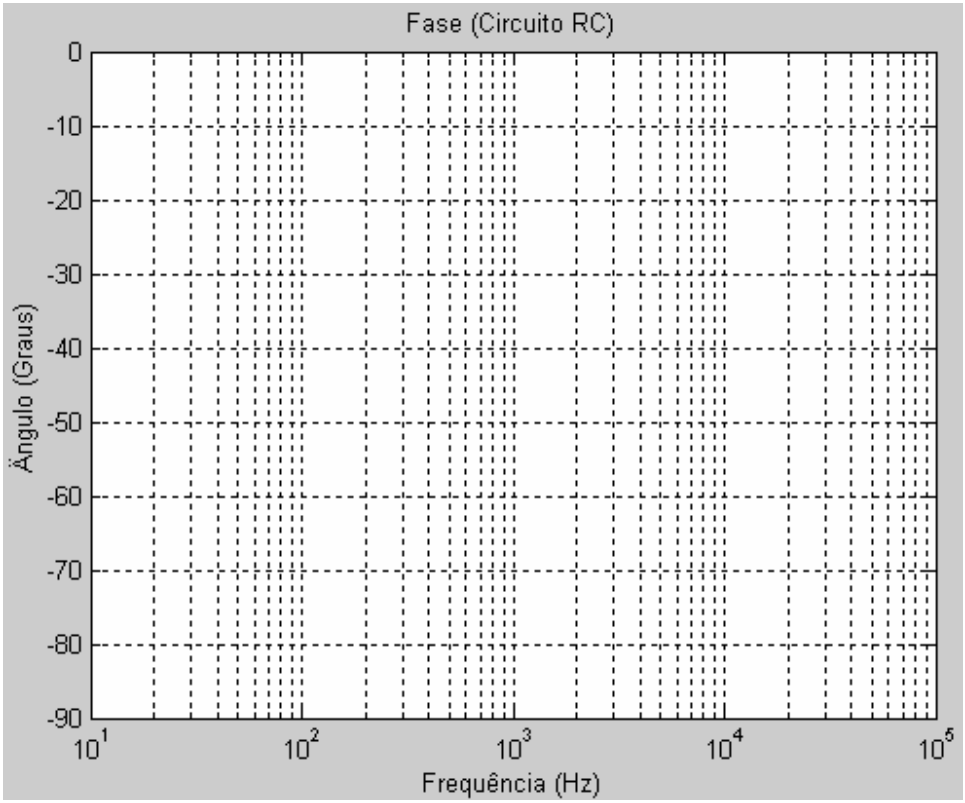


Figura 14 – Defasagem angular da saída em relação à entrada

REFERÊNCIAS IMPORTANTES

[1] HAYT, Willian H.; KEMMERLY, J. E.. Análise de Circuitos em Engenharia. McGraw-Hill. São Paulo, 1975.

[2] OGATA, Katsuhiko. Engenharia de Controle Moderno, PHB. Rio de Janeiro, 1990.

.