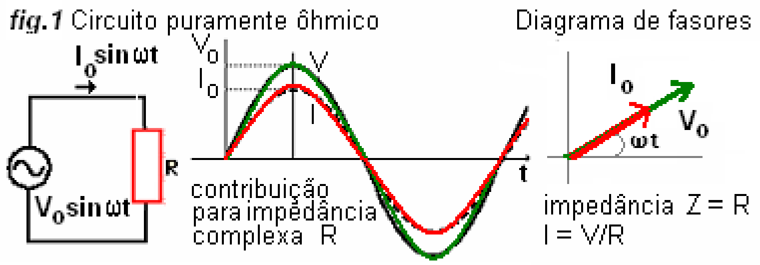
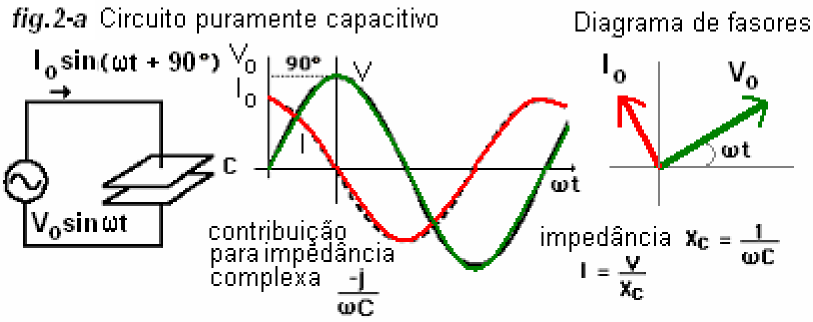
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
CCN/DEPARTAMENTO DE FÍSICA
Disciplina: Eletrônica Básica
Circuito de corrente alternada Prática 2

Objetivo: Analisar circuitos alimentados por gerador de corrente alternada.

Teoria: - Quando um resistor de resistência **R** é conectado entre os terminais de uma fonte a.c. como na fig.1, tanto a corrente como a voltagem variam com **sinωt**, de modo que a corrente está em fase com a tensão. As amplitudes da corrente e da voltagem, como mostra a fig.1, estão relacionadas da mesma maneira que em um circuito d.c.



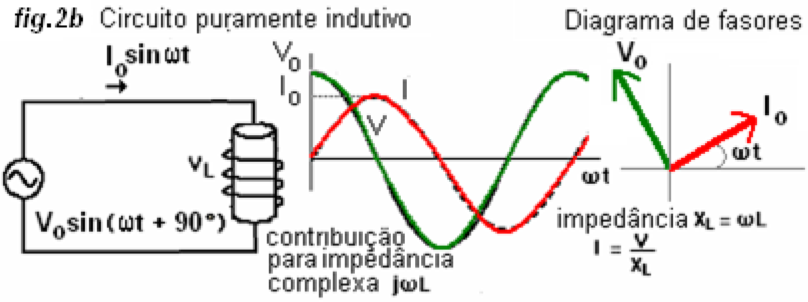
Para o capacitor, fig.2-a, submetido à tensão a.c. $V=V_o\sin\omega t$, a diferença de potencial instantânea é: $V=q/C$; $dV/dt = (1/C)dq/dt$
Substituindo V por (V_o sin ωt) e dq/dt por I, $\omega V_o \cos\omega t = (1/C)\, I$,
$I = \omega C V_o \cos\omega t = \omega C V_o \sin(\omega t + \pi/2)$
$I = I_o \sin(\omega t + \pi/2)$, onde $I_o = \omega C V_o$ é o valor de pico da corrente.
Observe que a corrente de pico chega ao capacitor ¼ de período antes da tensão, fig.2-a.
A relação entre a tensão de pico e a corrente de pico é: $V_o = (1/\omega C)\, I_o$.
A constante de proporcionalidade $1/\omega C$ é chamada reatância capacitiva, X_C.



$X_C = 1/\omega C$. Então, $V_o = I_o X_C$
Por causa deste comportamento na fase, é comum usar o plano complexo para representar tensão e corrente.

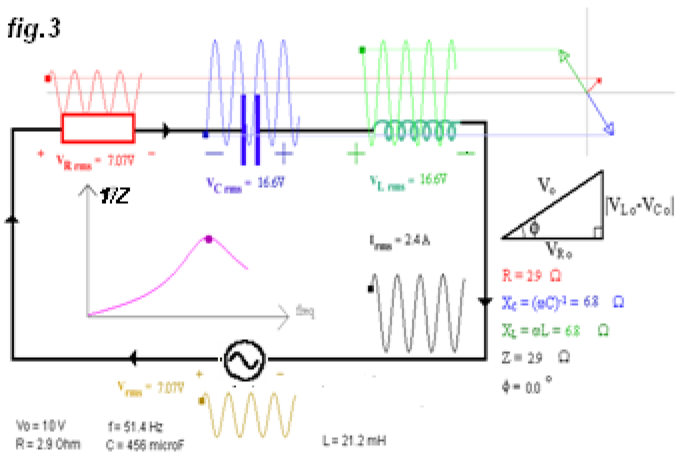
$V = V_o e^{j\omega t}$ $X_C = (V_o/I_o)e^{-j\pi/2}$
$I = I_o e^{j(\omega t + \pi/2)}$ $X_C = -j/\omega C$

Se um gerador de corrente alternada for conectado a uma indutância, o circuito será o que é mostrado na fig.2-b, onde $I = I_o \sin \omega t$. (O fenômeno não se altera se no lugar da corrente, $I = I_o \sin \omega t$ toma-se como referência o valor da tensão no circuito).



$V = - V_L$, $V_L = - L\, dI/dt$, $V = L dI/dt$.
$dI/dt = \omega I_o \cos \omega t$
$V = L\omega I_o \cos \omega t$
$V = L\omega I_o \sin(\omega t + 90°)$
$V = V_o \sin(\omega t + 90°)$

A corrente segue a tensão. Neste caso, a corrente se atrasa de 90^0 em relação à tensão (ou a tensão está avançada de 90^0 em relação à corrente). Como $V_o = I_o \omega L$, temos, para a reatância indutiva $X_L \equiv \omega L$ (reatância indutiva). O termo genérico reator é usado para se referir tanto a um indutor como a um capacitor.
As diferenças de potencial instantâneas em um circuito a.c. em série se somam algebricamente, tal como em um circuito d.c, mas as amplitudes de voltagem se somam como vetores, fig.3.



Quando o gerador de corrente alternada é conectado a um circuito composto por um resistor **R**, um indutor **L** e um capacitor **C**, todos ligados em série, como é mostrado na fig.3, para manter a corrente $I = I_o \sin \omega t$ no circuito, são necessárias tensões para vencer a resistência ôhmica, a reatância capacitiva e a reatância indutiva.

$V_1 = RI$ $\qquad V_1 = I_o R\sin \omega t$

$V_2 = LdI/dt$ $\qquad V_2 = L\omega\, I_o \cos\omega t$

$V_3 = (1/C)\int Idt$ $\qquad V_3 = -(1/\omega C)\, I_o \cos\omega t$

$V = V_o \sin(\omega t + \phi) = R\, I_o \sin\omega t + \omega L\, I_o \cos\omega t - (1/\omega C)\, I_o \cos\omega t$

$V = V_o \sin(\omega t + \phi) = R\, I_o \sin\omega t + (\omega L - 1/\omega C)\, I_o \cos\omega t$

Para $t = 0$, $\qquad V_o \sin\phi = (\omega L - 1/\omega C)\, I_o$

Para $\omega t = \pi/2$, $\qquad V_o \cos\phi = R\, I_o$ $\qquad V_o / I_o = Z$

$$\left.\begin{array}{l} Z\sin\phi = (\omega L - 1/\omega C) \\ Z\cos\phi = R \end{array}\right\} \qquad \begin{array}{l} Z = [\,R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2]^{1/2} \\ \text{tg}\,\phi = (\omega L - 1/\omega C)/R \end{array}$$

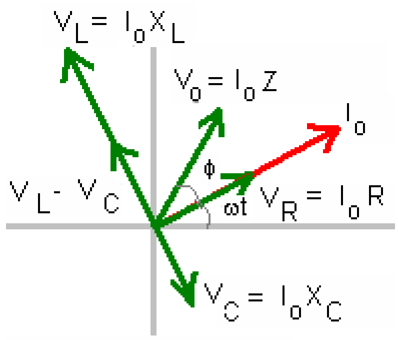


diagrama de fasores

$$\left.\begin{array}{l} R \\ X_L = \omega L \\ X_C = 1/\omega C \end{array}\right\} \qquad Z = [\,R^2 + (X_L - X_C)^2]^{1/2}$$

A amplitude da tensão a.c. é $V_o = Z\, I_o$ mas a tensão tem um avanço de um angulo ϕ em relação à corrente. A constante de proporcionalidade Z entre V_o e I_o é chamada impedância e é análoga a R na lei de Ohm:

$V_o / I_o = Z = [\,R^2 + (\omega L - 1/\omega C)^2]^{1/2}$

A fórmula para a impedância de um circuito de corrente alternada em série tem um mínimo, quando: $(\omega L - 1/\omega C) = 0$ $\omega = (1/LC)^{½}$. Este valor de ω é denominado freqüência de ressonância ω_o: $\omega_o = (1/LC)^{1/2}$.

No caso de associação em paralelo, fig. 8-a, as três ramificações tem a tensão total $V = V_o \sin\omega t$, a qual origina as correntes I_1, I_2 e I_3, que estão relacionadas, entre si, do modo seguinte:

$V = RI_1$ $\qquad I_1 = (V_o / R) \sin \omega t$

$V = L\,(dI_2/dt)$ $\qquad I_2 = (1/L)\int Vdt = -(V_o / \omega L) \cos \omega t$

$V = (1/C)\int I_3 dt$ $\qquad I_3 = C\,(dV/dt) = \omega C\, V_o \cos \omega t$

$I = I_1 + I_2 + I_3$

$I = I_o \sin(\omega t + \phi) = (V_o / R)\sin\omega t - (V_o / \omega L) \cos \omega t + \omega C\, V_o \cos \omega t$

$I = I_o \sin(\omega t + \phi) = (V_o / R)\sin\omega t + (\omega C - 1/\omega L)\, V_o \cos \omega t$

Para $t = 0$, $\qquad I_o \sin\phi = (\omega C - 1/\omega L)\, V_o$

Para $\omega t = \pi/2$, $\qquad I_o \cos\phi = V_o / R$ $\qquad I_o / V_o = 1/Z$

$$\left.\begin{array}{l} 1/Z\sin\phi = (\,wC - 1/\omega L \\ 1/Z\cos\phi = 1/R \end{array}\right\} \qquad \begin{array}{l} 1/Z = [\,1/R^2 + (\omega C - 1/\omega L)^2]^{1/2} \\ \text{tg}\,\phi = R\,(\omega C - 1/\omega L) \end{array}$$

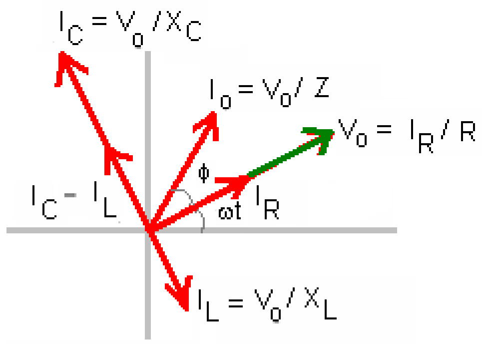


diagrama de fasores

$$\left.\begin{array}{l} 1/R \\ 1/X_L = 1/\omega L \\ 1/X_C = \omega C \end{array}\right\} \qquad 1/Z = [\,1/R^2 + (1/X_C - 1/X_L)^2]^{1/2}$$

Para $X_L = X_C$ ou $\omega L = 1/\omega C$, $\omega = (1/LC)^{1/2}$ Z é máximo.

Conceitos examinados: freqüência, amplitude e fase, reatância capacitiva, reatância indutiva, filtro RL, filtro RC, leis de Kirchhoff, ressonância série, ressonância paralela.

Experimento

Material:

Osciloscópio

Gerador de ondas

Protoboard

Resistores - 10Ω, 500Ω/5w, 2,2KΩ

Capacitores - 0.01μF, 0.1μF

Indutores - 10mH, 35mH

Conectores

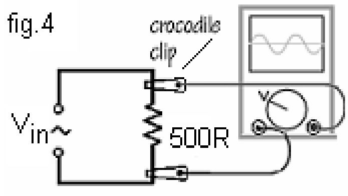
Procedimento:

1) Conecte no "board" o circuito da **fig 4**.

a)Conecte o osciloscópio em paralelo com o resistor. Ajuste os controles do gerador e do osciloscópio para obter uma onda senoidal no "scope".

b)Ajuste a freqüência do gerador de ondas para o menor valor (18 Hz ou próximo). Aumente lentamente a freqüência do gerador até o valor máximo 18khz. Meça V_R com o osciloscópio.

Responda: - Há variação na amplitude da tensão, $V_{R,}$ no resistor? (A amplitude de uma onda é metade do valor pico a pico)



FILTRO RL

2)Conecte no "board" o circuito da **fig 5-a**.

a)Estabeleça no gerador uma onda de amplitude máxima. Meça este valor V_o usando o osciloscópio.

Nota: Define-se a impedância Z do circuito como a relação entre a amplitude da onda fornecida pelo gerador V_o e a amplitude da corrente no circuito I_o, $Z = V_o/I_o$.

A amplitude I_o pode ser obtida, conhecida a tensão no resistor V_R, $I_o = V_R/R$.

b)Ajuste a freqüência do gerador de ondas para o menor valor (18 Hz ou próximo). Aumente lentamente a freqüência do gerador até o valor máximo 18KHz. Responda: **-** Há variação da amplitude de corrente no circuito?

c)Varie a freqüência em "steps" de 2KHz, entre 1KHz e 10KHz ou próximo. Obtenha a amplitude de corrente no circuito para cada valor da freqüência e complete a tabela da fig. 5-b. Calcule a impedância do circuito usando o valor conhecido de V_o.

Esboce em gráfico **Z = Z (f).** Responda: - Como se comporta a impedância do circuito RL com a freqüência?

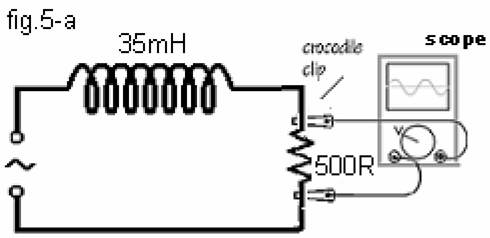
Trace a curva de resposta de freqüência do filtro RL passa-baixas. O que poderá ser obtido é ilustrado na fig.5-c.

FILTRO RC

3) Substitua a bobina por um capacitor de 100nF, fig.6-a. Varie a freqüência em "steps" de 2KHz, entre 1KHz e 10KHz ou próximo. Obtenha a amplitude de corrente no circuito para cada valor da freqüência e complete a tabela da fig. 6-b. Faça o gráfico da impedância do circuito em função da freqüência superposto ao mesmo gráfico para o circuito RL. Responda: - Como se comporta a impedância do circuito RC com a freqüência?

Trace a curva de resposta de freqüência do filtro RC passa-altas. O que poderá ser obtido é ilustrado na fig.6-c.

Questão: - Determine a corrente em cada circuito, usando a forma a.c. da lei de Ohm, e mostre que o resultado é idêntico à solução da equação diferencial do circuito.



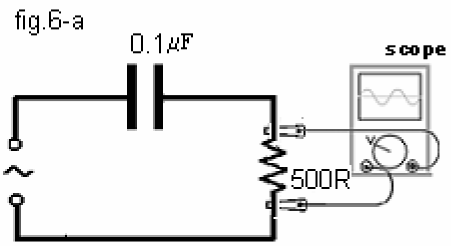


fig.5-b tabela circuito RL

f	
V_R	
I_o	
Z	

fig.6-b tabela circuito RC

f	
V_R	
I_o	
Z	

Ilustração

fig.5-c

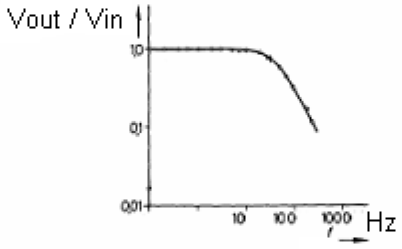
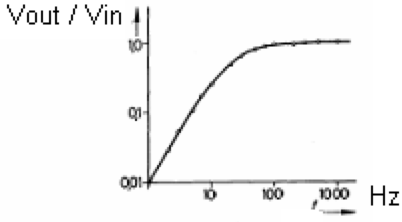


fig.6-c



CIRCUITO RLC (Ressonância serie)

4) Conecte no "board" o circuito da **fig 7-a**.

a) Ajuste os controles do gerador e do osciloscópio para obter uma onda senoidal no "scope".

b) Varie a freqüência em "steps" de 2KHz, entre 1KHz e 10KHz ou próximo. Calcule os valores correspondentes de $\mathbf{I_o}$ e complete a tabela fig. 7-b.

c) Esboce em gráfico **Z** versus **f**. Responda: - Como se comporta a impedância do circuito RLC com a freqüência? Discuta o funcionamento do circuito.

d) Qual o valor da impedância do circuito em que a amplitude de corrente é máxima? Meça a corrente e as voltagens em cada elemento do circuito e também a voltagem através da associação L e C.

Nota: Este importante circuito, na condição ($\omega = \omega_o$), costuma ser utilizado para medir indutâncias.

CIRCUITO RLC (Ressonância paralelo)

5) Monte no "board" o circuito da **fig 8-a**.

a) Ajuste os controles do gerador e do osciloscópio para obter uma onda senoidal no "scope".

b) Varie a freqüência em "steps" de 2KHz, entre 1KHz e 10KHz ou próximo. Calcule os valores correspondentes de $\mathbf{I_o}$ e complete a tabela da fig. 8-b.

fig.7-a

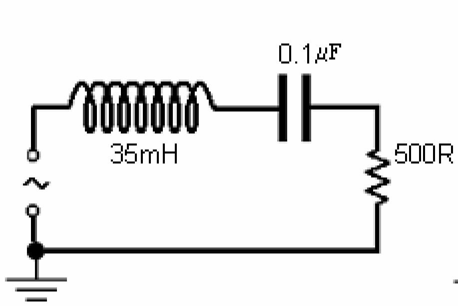


fig.8-a

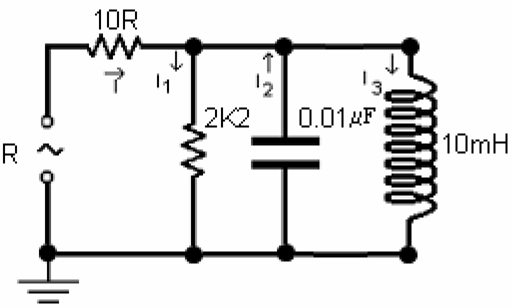


fig.7-b tabela RLC

f	
V_R	
I_o	
Z	

fig.8-b tabela RLC

f	
V_R	
I_o	
Z	

c) Esboce em gráfico **Z** versus **f**. Responda: - Como se comporta a impedância do circuito RLC com a freqüência? Discuta o funcionamento do circuito.

Questão: - O comportamento da corrente em um circuito a.c em série, à medida que a freqüência varia, é análogo à resposta de um sistema massa-mola sujeito a uma força amortecedora viscosa, quando se varia a freqüência da força motora.

A equação diferencial de um circuito RLC sem alimentação é: $Ld^2q/dt^2 + R\,dq/dt + q/C = 0$

a) Identifique o elemento inercial, o dissipativo e a "mola" (reservatório de energia potencial) no circuito e verifique fisicamente essas características.

b) O que significa fisicamente, em uma equação, o termo que contém a primeira derivada em relação ao tempo? Que tipo de processo é descrito?

c) O que significa "transiente" e "estado estacionário" para um oscilador harmônico amortecido forçado? Explique como surgem na solução da equação diferencial e como evoluem no tempo.

Questão: - Uma lâmpada fluorescente de 500W absorve uma corrente de 2,5A, com um fator de potência um. Calcule a indutância do reator que é necessário incluir em série com a lâmpada, caso esta deva funcionar com uma fonte de 220V e 60cps. Desenvolva o diagrama do circuito.

Referências:

Brophy J. Eletrônica básica, Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro - RJ 1978.
Plant, Macolm. Basic Eletronics, London, SCDC Publications
Harowitz P.; Hill W. The Art of Eletronics, USA, Cambridge University Press, 1989.

Outros textos:

Purcell, E.M. Eletricidade e Magnetismo, São Paulo, Edgar Blucher, 1970.
Hesnick, Robert Halliday e Krane Kenneth, Física, Livros técnicos e Científicos Editora S.A. Rio - RJ, 1996.
Sears, Francis Weston, Física, Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1981
Orear, Jay. Fundamentos da Física, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Rio de Janeiro 1982.

Prof. Franklin