EXPERIMENTO 7

CIRCUITO RC –
RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

OBJETIVOS: Estudar o comportamento de um circuito **RC série** submetido a uma tensão senoidal, obtendo a resposta do circuito em função da frequência**.**

MATERIAL UTILIZADO: gerador de funções, osciloscópio, resistores, capacitores.

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Neste experimento, estudaremos a resposta do circuito RC em série alimentado por um gerador que fornece uma tensão senoidal de amplitude V_0 e freqüência angular ω. Tomemos como base a figura 7.1 para analisar as tensões no resistor (v_R) e no capacitor (v_C) e apliquemos a lei das malhas (1ª Lei de Kirchhoff).

$$v_G = v_R + v_C \qquad \text{Equação (7.1)}$$

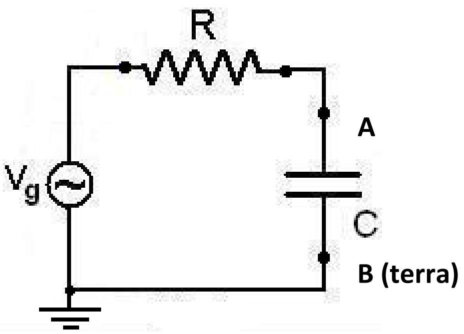


Figura 7.1 – Circuito RC em série alimentado por uma fonte de tensão alternada (gerador de sinais). As tensões no resistor (v_R) e no capacitor (v_C) são fortemente dependentes da frequência utilizada no gerador de funções e permite que a saída entre os extremos destes componentes seja utilizada como filtro. A figura representa o circuito para medir-se V_C.

Para medir-se V_R, trocamos R e C de lugar, ou seja, o componente a ser medido localiza-se entre os pontos A e B.

Sabemos que a tensão no resistor e a tensão no capacitor são dadas respectivamente por:

$$v_R = R \cdot i \qquad \text{e} \qquad v_C = \frac{Q}{C} = \frac{1}{C}\ i\,dt \qquad \text{Equações (7.2)}$$

Como a tensão no gerador V_G é uma função senoidal $v_G = V_0 \cdot sen(\omega t + \phi)$, podemos escrever a corrente no circuito como $i = I_0 \cdot sen(\omega t)$, onde a defasagem no tempo entre a corrente no circuito e a tensão aplicada é representada por ϕ.

Substituindo nas equações (7.2) e posteriormente na equação (7.1), temos:

$$V_0\ sen\,(\omega t + \phi) = R\,I_0\ sen\,\omega t - \frac{I_0}{\omega C}\cos\omega t$$

Para obter os valores de I_0, V_0 e ϕ**,** podemos expandir o primeiro termo da expressão usando uma conhecida relação trigonométrica de forma que**:**

$$V_0\ sen\,(\omega t + \phi) = V_0\,(sen\,\omega t\,\cos\phi + sen\,\phi\,\cos\omega t) = R\,I_0\ sen\,\omega t - \frac{I_0}{\omega C}\cos\omega t$$

Reagrupando os termos da equação acima**:**

$$sen\,\omega t\,(V_0\cos\phi - R\,I_0) + \cos\omega t\,(V_0\ sen\,\phi + \frac{I_0}{\omega C}) = 0$$

É fácil verificar que a relação acima é válida desde que os termos entre parênteses sejam nulos**.** Tem-se então que:

$$V_0\cos\phi = R\,I_0 \qquad \text{e} \qquad V_0\ sen\,\phi = -\frac{I_0}{\omega C} \qquad \text{Equações (7.3)}$$

Podemos, portanto, obter o valor de ϕ dividindo-se estas expressões de forma que:

$$\phi = arc\ tg\left[-\ \frac{1}{R\,\omega\,C}\right]. \qquad \text{Equação (7.4)}$$

Para obter o comportamento da corrente de pico no circuito (I_0), deve-se elevar as Equações (7.3) ao quadrado e somá-las:

$$V_0^2\,(\cos^2\phi + sen^2\,\phi) = (R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2})\,I_0^2$$

Mas $\cos^2\phi + sen^2\,\phi = 1$, então:

$$I_0^2 = \frac{V_0^2}{R^2 + \frac{1}{(\omega\,C)^2}} \qquad \text{ou} \qquad I_0 = \frac{V_0}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega\,C)^2}}} \qquad \text{Equação (7.5)}$$

Note que $\left(\frac{1}{\omega\,C}\right)$ tem dimensão de resistência **(Ω)** e recebe o nome de **Reatância Capacitiva.** A reatância é análoga à resistência dos circuitos de corrente contínua, porém depende da frequência à qual é submetida. Como a tensão no resistor é diretamente proporcional à corrente **I** então ϕ pode ser visto como a defasagem no tempo entre a tensão V_R e a tensão aplicada V_G**.**

A partir das Equações (7.2) podemos obter o valor de pico da tensão no resistor e no capacitor (VERIFIQUE!):

$$V_R = R\,I_0 = \frac{V_0\,R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}}$$ Equação (7.6)

$$V_C = \frac{V_0}{\sqrt{(R\omega C)^2 + 1}}$$ Equação (7.7)

Analisando o comportamento em função da frequência, temos que:

Quando **ω** tende para **0** → $V_R = 0 \quad , \quad V_C = V_0 \quad e \quad \phi = -\frac{\pi}{2}$

Quando **ω** tende para ∞ → $V_R = V_0 \quad , \quad V_C = 0 \quad e \quad \phi = 0$

Das Equações (7.3) à (7.5), observa-se que ângulo de defasagem ϕ_R entre a tensão no gerador e a tensão no resistor V_R e V_0 é dado por:

$$\phi_R = arc\cos\left(\frac{V_R}{V_0}\right)$$ Equação (7.7)

Assim como o ângulo de defasagem ϕ_C entre a tensão no gerador e a tensão no capacitor V_C e V_0 é dado por **:**

$$\phi_C = -\,arc\cos\left(\frac{V_C}{V_0}\right)$$ Equação (7.8)

lembrando que V_R, V_C e V_0 são os **valores de pico** das tensões**.**

FREQUÊNCIA DE CORTE:

Existe uma frequência, chamada de freqüência de corte ω_C**,** na qual a tensão de pico no capacitor é igual à tensão de pico no resistor:

$$V_C(\omega_c) = V_R(\omega_c)$$

usando as expressões de V_C e V_R:

$$\frac{V_0}{\sqrt{(R\omega C)^2 + 1}} = \frac{V_0\,R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}}\ .$$

Chamando de $\omega = \omega_c$ a igualdade acima nos informa que: $\omega_c = \dfrac{1}{RC}$

ou, usando a relação entre freqüência **f** e freqüência angular ω $\left(f = \dfrac{\omega}{2\pi} \right)$,

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$ Equação (7.9)

Substituindo a expressão de f_C em $V_C(\omega_c) = V_R(\omega_c)$:

$$V_C(\omega_c) = V_R(\omega_c) = \frac{V_0}{\sqrt{2}} = 0{,}707\,V_0$$

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Montaremos o circuito da figura 7.2, ajustando o gerador de sinais com <u>tensão de pico-a-pico</u> V_0^{PP} =4,0V. Escolha, dentre os componentes de sua bancada e a Equação (7.9), um conjunto R e C que leve a uma frequência de corte entre 1 e 20 kHz. Nosso objetivo é medir V_R e posteriormente V_C em função de um grande intervalo de frequências. Um dos canais do osciloscópio deve ser mantido no gerador de sinais de forma a verificar que o valor de V_0 é mantido constante. Sempre que V_0 variar, ajuste o gerador para manter V_0^{PP} =4,0V.

A) MEDIDAS

A.1) Com o auxílio do osciloscópio, mediremos a tensão de **pico-a-pico** em **R** (V_R^{PP}) em função da **frequência f.** Antes de anotar os pontos, varie a frequência do gerador e observe a variação da tensão no osciloscópio. Escolha uma faixa de frequências na qual a variação na tensão V_R^{PP} esteja entre **0**,**4V** e **3**,**6V**.

Varie a frequência nessa faixa medindo aproximadamente **20** pontos e construa uma tabela de V_R^{PP} *versus* f.

A.2) Repita o procedimento, medindo a tensão de **pico** a **pico** no capacitor (V_C^{PP}) em função da **frequência f** e construa uma tabela de V_C^{PP} *versus* f.

A.3) Através da Equação (7.7), calcule a **diferença de fase ϕ_R** entre V_R e V_G para cada valor de **f**. Utilize uma planilha de cálculos se desejar.

A.4) Através da Equação (7.8), calcule a **diferença de fase**, ϕ_C entre V_C e V_G para cada valor de **f**. Utilize uma planilha de cálculos se desejar.

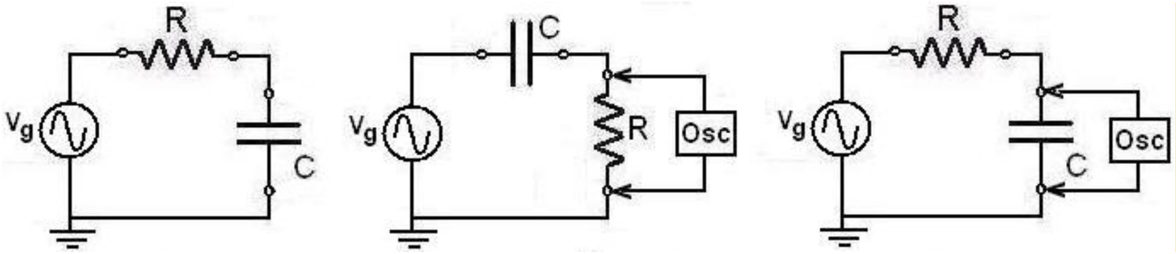


Figura 7.2 – Circuito RC em série alimentado por uma tensão alternada. Nas medidas a serem realizadas, é importante manter as conexões relativas ao "terra" comuns ao gerador de sinais e osciloscópio. Desta maneira, a figura à esquerda representa o circuito para medir-se V_C. Para medir-se V_R, trocamos R e C de lugar (figura central). Para medir V_C, retornamos ao circuito original (à direita).

Para medir-se V_R, trocamos R e C de lugar, ou seja, o componente a ser medido localiza-se entre os pontos A e B.

B) GRÁFICOS

B.1) Com base nas tabelas obtidas, construir em uma **mesma folha** de papel **mono log**, os gráficos de V_R e V_C em função da frequência (lançar **f** na escala logarítmica, na horizontal).

B.2) Construir os gráficos de ϕ_R e ϕ_C *versus* **f em** uma **mesma** folha de papel **mono-log**. No eixo vertical, posicionar $\phi_R = \phi_C = 0^o$ no meio da folha.

C)ANÁLISE DOS RESULTADOS

C.1) A partir destes dois gráficos, encontre a **frequência** de **corte** do circuito e compare com o valor teórico de f_C.

C.2) Medir as tensões de pico-a-pico V_R^{PP} e V_C^{PP} nos gráficos obtidos, para as seguintes frequências: **0,5f$_c$**, **f$_c$**, e **2f$_c$**. Obter a soma algébrica das tensões para os três casos.

C.3) A lei de Kirchhof é obedecida? Explique.

C.4) Encontre a **diferença de fase** entre V_R e V_C (independente da frequência). Com base neste valor, represente estas duas tensões através de segmentos orientados (em escala). Coloque sempre V_R^{PP} no eixo **x** positivo e V_C^{PP} no eixo **y** negativo. Por que deve ser assim? COM ESTE PROCEDIMENTO SERÃO TRAÇADOS OS DIAGRAMAS DE FASORES DOS SINAIS V_R e V_C (veja Apêndice sobre Fasores)

Verifique o resultado da soma vetorial entre os sinais, do capacitor e do resistor. Explique seu resultado em termos da **Lei de Kirchoff** (malhas) para tensões alternadas.

D) **QUESTÕES ADICIONAIS**

D.1) Com base nos resultados desta experiência, porque o **circuito RC** em **CA** é chamado de "**filtro**"?

D.2) O que é um **filtro RC passa-alta**? Dê exemplos de aplicações.

D.3) O que é um **filtro RC passa-baixa**? Dê exemplos de aplicações.

EXPERIMENTO 7

CIRCUITO RC – RESPOSTA EM FREQUÊNCIA

TURMA: ___ DATA: __/__/____

NOME	RA

RESUMO:____
____
____
____

MATERIAL UTILIZADO (MARCA/MODELO quando for o caso):
____
____
____

DADOS EXPERIMENTAIS

A.1) **Tabela** V_R^{PP} *versus* **f**.

A.2) **Tabela** V_C^{PP} versus **f**.

A.3) **Tabela** diferença de fase ϕ_R *versus* **f**.

A.4) **Tabela** diferença de fase ϕ_C *versus* **f**..

B.1) Gráfico de V_R^{PP} e V_C^{PP} *versus* **f**.

B.2) Gráficos de ϕ_R e ϕ_C *versus* **f**.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

C.1) **Frequência** de **corte** do **circuito**

COMPONENTES UTILIZADOS R±u(R): ______________ e C ±u(C):_____________

Teórica $f_C \pm u(f_C)$: ___________________________ **Experimental** $f_C \pm u(f_C)$: ________________________

Comparação: ____
____
____
____
____

C.2) Medidas de V_R^{PP} e V_C^{PP}

	f= 0,5f_C	f= f_C	f= 2f_C
$V_R^{PP} \pm u(V_R^{PP})$	____________________	____________________	____________________
$V_C^{PP} \pm u(V_C^{PP})$	____________________	____________________	____________________
Soma algébrica	____________________	____________________	____________________

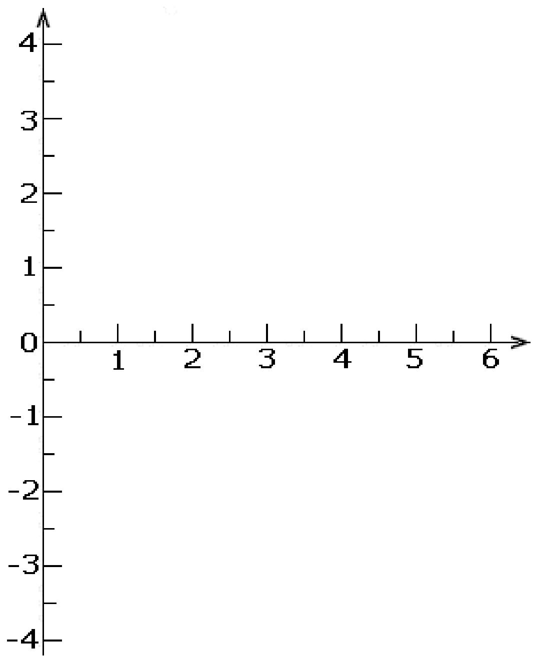
C.3) Lei de Kirchhof: ____

____

Explicação:____

____

C.4) **Diagrama de Fasores:**



C.5) Soma fasorial entre V_R e V_C:

Explicação:_________________________________

____

____

____

____

____

____

Conclusões

____

____

____

____

____

____

____