CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA
- CIRCUITO RC-SÉRIE -

UNESP - Faculdade de Engenharia - Campus de Guaratinguetá [1]

0.1. Introdução

Esta é a prática introdutória ao estudo de circuitos com corrente alternada ou circuitos AC (*alternating current*). O objetivo da experiência é a determinação da capacitância no circuito através do ângulo da defasagem entre a corrente e a voltagem no circuito.

0.2. Fundamentos

0.2.1. Circuito RC-série por notação trigonométrica. Consideremos um circuito RC-série alimentado por uma fonte com sinal senoidal de frequência f. Vamos admitir uma corrente no circuito dada por:

$$i(t) = I_0 sen(\omega t) \tag{0.1}$$

onde I_0 é a amplitude e ω a frequência angular ($\omega = 2\pi f$).

Em excitação por um sinal senoidal em um resistor, a corrente e a voltagem estão em fase. A impedância é $Z_R = R$, ou seja, a própria resistência do resistor. No capacitor a voltagem e a corrente estão defasadas $\pi/2$ rad com a corrente adiantada em relação à voltagem. A impedância é $X_C = 1/(\omega C)$, chamada de reatância capacitiva. A unidade da impedância e reatância no S.I. é ohm, símbolo Ω. Com a corrente dada conforme a equação 0.1 a amplitude voltagem no resistor e no capacitor são respectivamente RI_0 e $X_C I_0$ e os valores instantâneos escritos como:

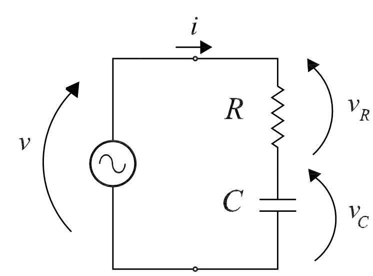

Fig. 1 - Circuito RC-série.

$$v_R(t) = RI_0 sen(\omega t) \tag{0.2}$$

$$v_C(t) = X_C I_0 sen(\omega t - \pi/2) \tag{0.3}$$

Daqui em diante, por simplicidade, vamos tirar a dependência temporal na notação.

A voltagem total é $v = v_R + v_C$. Usando as equações 0.2, 0.3 e a identidade trigonométrica $sen[xt - tg^{-1}(1/(xA)] = (Ax\, sen\, xt - \cos xt)/\sqrt{A^2x^2+1}$ obteremos:

$$v = V_0 sen(\omega t - \theta) \tag{0.4}$$

onde

$$\theta = tg^{-1}\left[\frac{1}{\omega RC}\right] \quad , \tag{0.5}$$

(0.6)

e

$$V_0 = \sqrt{R^2 + X_C^2}\ I_0 \tag{0.7}$$

A impedância Z do circuito é dada por $Z = V_0/I_0$ ou:

[1] Roteiro para laboratório de Eletricidade, Magnetismo e Ótica elaborado por Milton E. Kayama, docente do Departamento de Física e Química.

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \tag{0.8}$$

As equações 0.1 e 0.4 mostram que existe uma uma defasagem θ entre a corrente e a voltagem no circuito, a corrente adiantada em relação à voltagem. Conforme mostra a equação 0.7 esta defasagem depende da frequência f. Além disso, em baixa frequência ($\omega \to 0$), temos $\theta \to \pi/2$ rad e o circuito se torna capacitivo. Por outro lado, em alta frequência ($\omega \to \infty$), temos $\theta \to 0$ e o circuito é resistivo.

0.2.2. Medição de defasagem. A defasagem entre dois sinais pode ser medida em um osciloscópido por dois métodos. Para descrevê-los vamos supor que em dois canais de entrada do osciloscópio tenhamos dois sinais senoidais descritos matematicamente por:

$$v_1(t) = V_1 sen(\omega t) \tag{0.9}$$

$$v_2(t) = V_2 sen(\omega t + \theta) \tag{0.10}$$

O método por lapso de tempo consiste em analisarmos os sinais em tempo real, como mostrados na tela de um osciloscópio operando no *Modo Normal*. O sinal observado é semelhante ao mostrado na Fig.2, onde a escala vertical é em volts/divisão e a horizontal em segundos/divisão. A defasagem se apresenta como um lapso de tempo Δt dado por:

$$\Delta t = t_2 - t_1 \tag{0.11}$$

onde t_1 e t_2 são dois instantes de mesma fase.

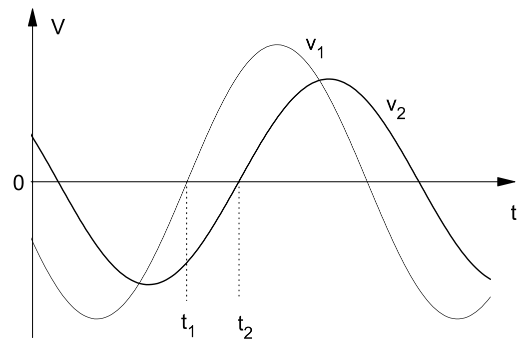

Fig. 2 - Sinais senoidais fora de fase.

Nos instantes t_1 e t_2 o argumento das funções trigonométricas nas equações 0.10 são iguais. Então:

$$\theta = \frac{2\pi}{T}\Delta t \tag{0.12}$$

onde T é o período.

O segundo método é por figuras de Lissajour. Estas figuras são vistas na tela de um osciloscópio quando este é colocado a operar no *modo XY*. Na ausência dos sinais, apenas um ponto luminoso é gerado na tela. Com a entrada dos sinais este ponto começa a se deslocar governado na horizontal e na vertical, de modo independente, pelos dois sinais de entrada $v_1(t)$ e $v_2(t)$. O lugar geométrico ocupado pelo ponto na tela irá satisfazer a equação:

$$\left[\frac{v_1(t)}{V_1}\right]^2 + \left[\frac{v_2(t)}{V_2}\right]^2 - \frac{2v_1(t)v_2(t)}{V_1V_2}\,cos\theta = sen^2\theta \tag{0.13}$$

Uma figura típica observada é mostrada na figura 3. O centro da figura, a elipse, coincide com o encontro dos eixos. Em um instante $t = t_1$ em que $v_2(t_1) = 0$ temos $v_1(t_1) = A$. De (0.13) obtemos:

$$sen\theta = \frac{A}{V_1} \tag{0.14}$$

De modo análogo para o eixo horizontal: se em $t = t_2$ tivermos $v_1(t_2) = 0$ e $v_2(t_2) = B$ então de (0.13) teremos:

$$sen\theta = \frac{B}{V_2} \tag{0.15}$$

Portanto θ pode ser determinado usando (0.14) ou (0.15) e os parâmetros da figura obtidos ao longo de apenas um dos eixos. No caso ilustrado na figura 3, uma elipse com inclinação positiva, o valor do ângulo da defasagem pode ser $+\theta$ ou $-\theta$. Como o sentido do giro do ponto luminoso na tela não é normalmente visível, um outro critério deve ser utilizado para a escolha do sinal. Caso a inclinação da elipse seja negativa, o ângulo da defasagem é $(\pi + \theta)$ rad ou $(\pi - \theta)$ rad e de modo semelhante um outro critério deve ser usado para a escolha do sinal.

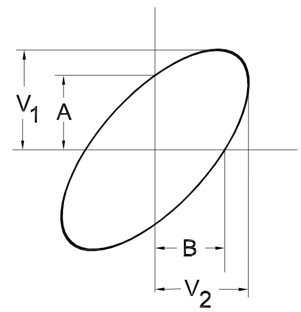

Fig. 3 - Figura de Lissajour para sinais com defasagem arbitrária.

0.3. Prática

Na parte prática vamos utilizar um osciloscópio para determinar a defasagem entre a corrente e a voltagem no circuito. Como o osciloscópio mede apenas a voltagem o sinal da corrente não pode ser observado diretamente. Entretanto a corrente encontra-se em fase com a voltagem no resistor. Então se observamos a voltagem total e a voltagem no resistor veremos a mesma relação de fase que existe entre a corrente e a voltagem no circuito. Usaremos isto para determinarmos a defasagem.

O esquema elétrico para as medições é mostrado na Fig.4. A fonte é um gerador de função com controle na amplitude e na frequência f do sinal.

A figura mostra também os cabos coaxiais conectados no circuito. As extremidades opostas dos cabos, não mostradas na figura, são ligadas a um osciloscópio. Observe que o aterramento é comum para os cabos, a fonte e para o osciloscópio. Nesta prática podemos usar valores arbitrários de voltagem e frequência. Entretanto, para comparar a capacitância com o valor nominal, as medições devem ser realizadas com frequências entre 1 kHz a 2 kHz. O componente é caracterizado pelo fabricante em uma frequência neste intervalo.

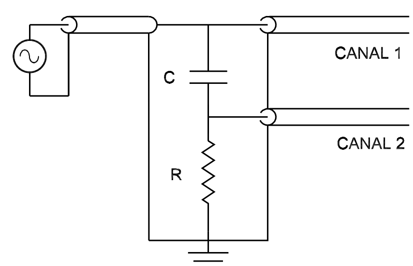

Fig.4 - Circuito de medição.