UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA
Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos
PSI – EPUSP

PSI 3212 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

INTRODUÇÃO TEÓRICA - EXPERIÊNCIA 3

Comportamento de Componentes Passivos (Reativos)

Versão 2023
Prof. L. Yoshioka / Profa. E. Galeazzo/ MNPC
Rev. Prof. Seabra

1. OBJETIVO

Verificar o comportamento de um componente reativo em um circuito elétrico. Em especial, avaliar a variação da reatância capacitiva em função da frequência.

2. Introdução

Nesta experiência teremos como foco o estudo de um bipolo elétrico reativo. Um bipolo refere-se a um componente eletrônico com dois terminais capaz de afetar o comportamento da corrente e da tensão em um circuito elétrico. Nas experiências anteriores estudamos o comportamento de bipolo resistivo, sendo que desta vez trataremos de um bipolo reativo. Em especial, analisaremos as propriedades elétricas do capacitor. Este elemento é denominado componente passivo pois não requer uma fonte de alimentação[1] para funcionar.

Já vimos que o resistor transforma toda a energia elétrica recebida em calor num processo de dissipação térmica. Por outro lado, o capacitor é capaz de acumular energia em forma de campo elétrico, não dissipando energia[2] (idealmente).

Veremos nesta experiência que a relação tensão-corrente num capacitor pode ser descrita por uma grandeza denominada "reatância" (equivalente à resistência de um resistor). Um aspecto importante é que reatância de um capacitor varia com a frequência. No caso do capacitor a reatância é inversamente proporcional à frequência. Existem muitas aplicações para o capacitor, por exemplo, na construção de filtros para atenuar sinais indesejados (como ruídos), equalizar sinais de áudio, ou para sintonizar uma estação de rádio ou TV, entre outras.

---

[1] Refere-se à fonte de alimentação de corrente contínua. Elementos ativos como transistores e amplificadores operacionais precisam de uma fonte de alimentação externa para funcionar.
[2] Na prática, um capacitor apresenta perdas de corrente, enquanto que o indutor tem resistências de enrolamento que dissipam energia sob efeito Joule.

3. CAPACITOR

3.1 Descrição

Trata-se de um componente reativo[3], capaz de acumular energia na forma de campo elétrico temporariamente, mas não consome energia (idealmente). É capaz de afetar o comportamento elétrico de um circuito, facilitando ou dificultando a passagem de corrente, de acordo com a frequência do sinal. As propriedades elétricas do capacitor são extremamente úteis, fazendo com que esteja presente em praticamente todos os circuitos eletrônicos imagináveis na atualidade.

Existem diversos tipos de capacitores como os ilustrados na Fig. 1. Em geral é composto de duas placas condutoras separadas por um dielétrico (material isolante). As placas condutoras são constituídas de películas finas de metal e o dielétrico pode ser feito de cerâmica, poliéster, tântalo, mica ou uma camada de óxido. Sua representação elétrica em diagramas esquemáticos é indicada na Fig. 2.

Figura 1 – Exemplos de capacitores [1]

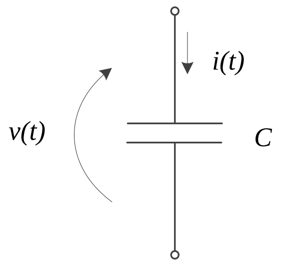


Figura 2 – Representação de um capacitor

3.2 Relação constitutiva do Capacitor

A capacitância, C, é definida como sendo a relação entre a quantidade de carga armazenada [coulomb], $q(t)$, e a tensão, $v(t)$, conforme a expressão (1). Representa a capacidade de armazenamento de carga de um elemento.

$$C = \frac{q(t)}{v(t)} \qquad [Faraday] \tag{1}$$

A corrente que flui por um capacitor, $i(t)$, pode ser descrita pela expressão (2) a seguir:

$$i(t) = \frac{dq(t)}{dt} \tag{2}$$

[3] Energia reativa refere-se a o tipo de energia que não realiza trabalho, ou seja, não há transformação da energia elétrica em calor, como ocorre com um resistor. Estão envolvidos dois processos: recebimento de energia (armazenamento) e devolução de energia.

Pela expressão (1) temos que ***q(t)*** = ***C v(t)***. Obtemos assim uma relação entre a corrente e a tensão num capacitor, conforme a expressão (3).

$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt} \tag{3}$$

ou

$$v(t) = \frac{1}{C}\int i(t)dt + v(0_+) \tag{4}$$

As expressões (3) e (4) são denominadas relações constitutivas do capacitor. Observe que se soubermos o comportamento da tensão, $v(t)$, podemos derivá-la e deduzir o comportamento da corrente, $i(t)$, ou se soubermos o comportamento da corrente, podemos integrá-la e obter o comportamento da tensão (note que nesse caso é preciso conhecer o valor da tensão inicial do capacitor $v(0_+)$).

Obs.: $v(0_+)$ indica tensão no capacitor imediatamente após o instante $t = 0$.

3.3 Comportamento do Capacitor

Vamos examinar o comportamento do capacitor através de dois exemplos a seguir.

Exemplo 1:

Suponha que a tensão sobre o capacitor com capacitância C seja uma onda triangular com amplitude V e período T, como exemplificado na Figura 3.

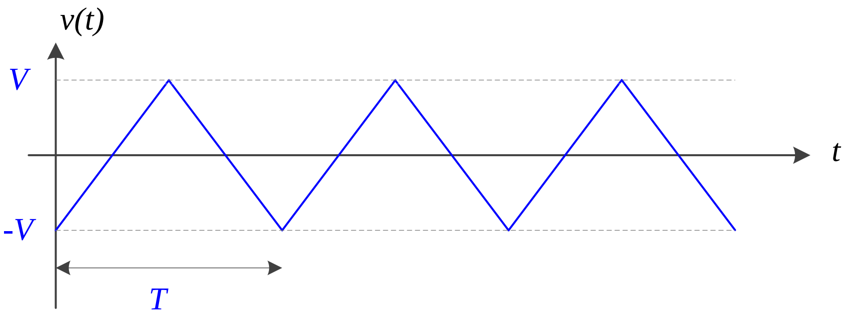


Figura 3 – Comportamento da tensão sobre o capacitor.

Se quisermos saber o comportamento da corrente no capacitor, basta aplicarmos a relação constitutiva dada pela expressão (3). Uma vez que a corrente no capacitor é a derivada da tensão, concluímos que a corrente será uma onda retangular, com amplitude I e período T (mesmo período da tensão) conforme esboço da Figura 4.

Pelo gráfico da Fig.3 podemos observar que no intervalo de tempo entre 0 e $T/2$, a tensão aumenta linearmente de $-V$ a $+V$. Logo, a partir da expressão (3), é possível deduzir a expressão para o cálculo da amplitude da corrente, I, como segue:

$$\boldsymbol{I} = C \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} = C \cdot \frac{V-(-V)}{T/2} = C \cdot \frac{2V}{T/2} = \frac{\boldsymbol{4VC}}{\boldsymbol{T}} \tag{5}$$

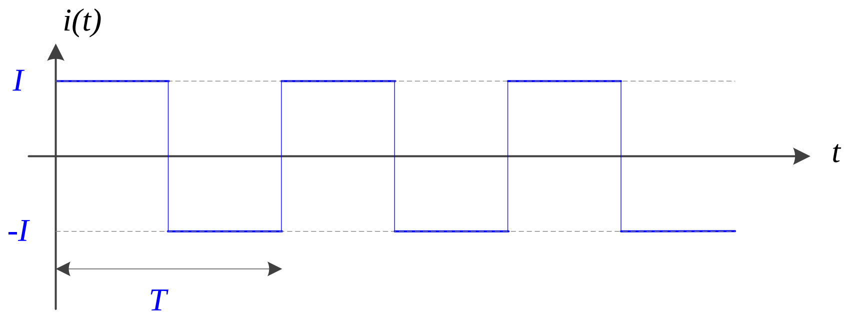


Figura 4 – Comportamento da corrente no capacitor.

Exemplo 2:

Suponha que a tensão sobre o capacitor (Fig. 5) seja alternada (AC), descrita pela expressão a seguir.

$$v(t) \ = V \cdot sen(\omega t) \tag{6}$$

Onde ω é a frequência angular dada pela seguinte expressão:

$$\omega \ = \frac{2\pi}{T} \tag{7}$$

Vamos calcular a corrente no capacitor, utilizando relação constitutiva do capacitor (1):

$$i(t) = C\frac{dv(t)}{dt} = V\omega C \cdot cos(\omega t) = \ I \cdot sen(\omega t + 90^{\circ}) \tag{8}$$

onde,

$$I = \ V\omega C \tag{9}$$

Comparando (6) com (8) podemos concluir que, em corrente alternada (AC), a corrente está adiantada de 90º em relação à tensão.

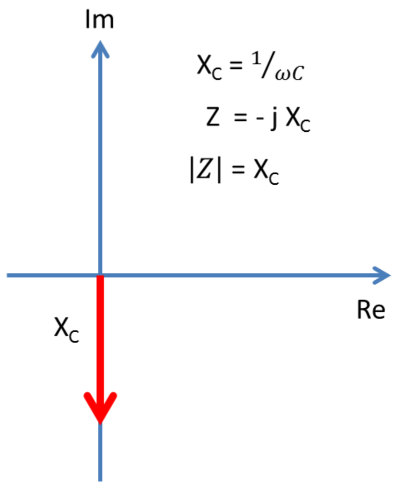
Reatância do Capacitor

A partir da expressão (9) podemos concluir que a relação tensão-corrente num capacitor é inversamente proporcional à frequência angular, ω, sendo que definimos a reatância do capacitor, X_C , como sendo:

$$\frac{V}{I} = \ |Z_C| = \ \frac{1}{\omega C} = X_C \tag{10}$$

*Observação: Notem que a tensão, **V**, e a corrente**, I**, da expressão 10 correspondem à tensão e corrente sobre o capacitor. No caso de um capacitor ideal (sem perdas) temos que $\boldsymbol{X_C} = |\boldsymbol{Z_C}|$ onde $\boldsymbol{Z_C}$ é a impedância do capacitor. Sobre a impedância estudaremos com mais detalhes na próxima experiência. A seguir encontra-se um diagrama de impedâncias de circuitos puramente capacitivos, onde as perdas resistivas são desprezíveis. Observem que a impedância é um número complexo.*

DIAGRAMA DE IMPEDÂNCIAS EM CAPACITORES



Vamos agora calcular a potência instantânea no capacitor:

$$\boldsymbol{p(t)} = v(t) \cdot i(t) = V \cdot sen(\omega t) \cdot I \cdot \cos(\omega t) \tag{11}$$

$$= \frac{\boldsymbol{V \cdot I}}{\boldsymbol{2}} \, \boldsymbol{sen(2\omega t)}$$

A potência média no capacitor será dada por:

$$\boldsymbol{P} = \frac{1}{T}\int_o^T p(t)dt = \frac{V \cdot I}{2T} \int_o^T sen(2\omega t)dt = \boldsymbol{0} \tag{12}$$

Pelas expressões (11) e (12) podemos concluir que a potência instantânea possui o dobro de frequência em relação à tensão e corrente, e o valor médio é zero. Ou seja, o capacitor não consome energia.

Organizando o comportamento em AC da tensão, corrente e potência sobre o capacitor por meio de figuras, temos:

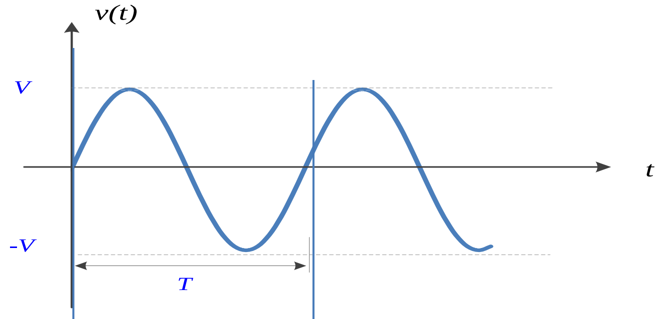


Figura 5 – Tensão no capacitor

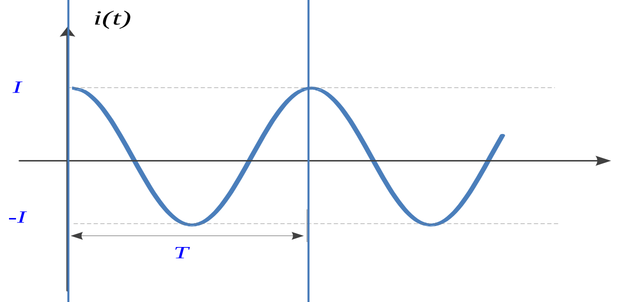


Figura 6 – Corrente no capacitor

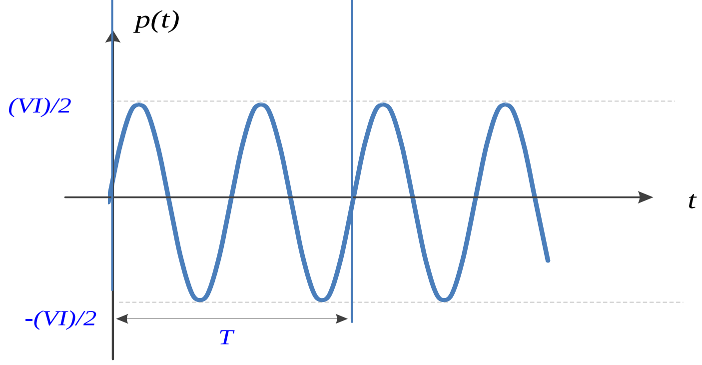


Figura 7 –Potência no capacitor

Aspectos do comportamento do capacitor que merecem destaque:

1. A corrente no capacitor está **adiantada de 90˚** em relação à tensão.

2. A reatância do capacitor (X_C**)** é uma grandeza **inversamente proporcional à frequência**, ou seja, quanto menor a frequência maior será a reatância do capacitor, e quanto maior a frequência menor será essa reatância.

3. A potência média sobre o capacitor (ideal) é nula.

Corolário 1*: o capacitor comporta-se como um* ***aberto*** ***para baixas frequências*** *e como um* ***curto*** ***para altas frequências****.*

Corolário 2*: o capacitor se opõe à variação rápida de tensão (tende a manter o campo elétrico constante), por isso adianta a corrente.*

4. Cálculo da defasagem

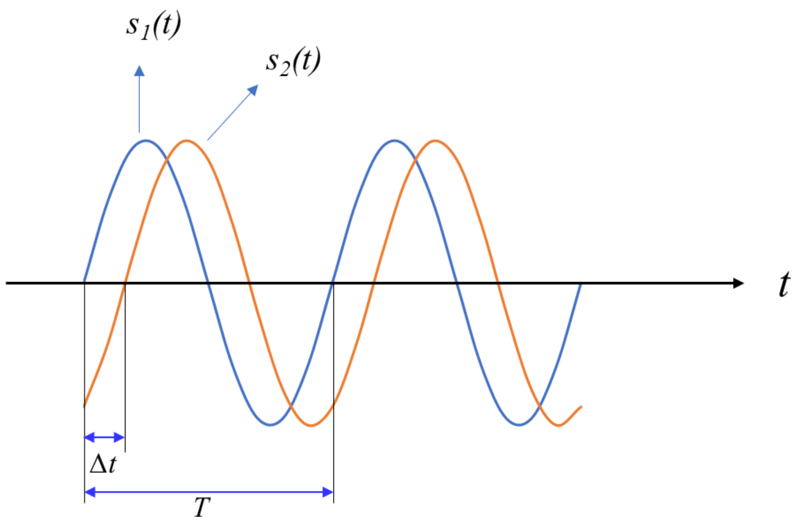


Figura 8 – Sinais senoidais defasadas

Observe os sinais $s_1(t)$ e $s_1(t)$ mostrados na Figura 8 e avalie o seguinte:

- Qual dos dois sinais está adiantado?
- Como se determina a defasagem em graus a partir de Δt?

Com relação à primeira pergunta, pode-se verificar que o sinal $s_1(t)$ está adiantado em relação ao $s_2(t)$. Note que ele cruza o eixo da abcissa (tempo) primeiro. Quanto à segunda pergunta, o ângulo de defasagem em graus, θ, será determinado pela expressão a seguir:

$$\theta = \frac{\Delta t}{T} \cdot 360^0$$

Onde Δt é o atraso e T é o período do sinal.

Referências

[1] Orsini, L.Q., Consonni D., Curso de Circuitos Elétricos Vol 1, Ed. Edgard Blucher, 2a Ed., 2002.

[2] wikipedia.org/wiki/Capacitor