



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

## **PSI 3031/3212 - LABORATÓRIO DE CIRCUITOS ELÉTRICOS**

### **INTRODUÇÃO TEÓRICA - EXPERIÊNCIA 3**

#### **Comportamento de Componentes Passivos**

2017

Profa. Elisabete Galeazzo / Prof. Leopoldo Yoshioka

#### **1. OBJETIVO**

Analisar circuitos com componentes passivos, a fim de avaliar-se o comportamento da sua reatância capacitiva e indutiva em função da frequência.

#### **2. Introdução**

Resistor, capacitor e indutor são elementos básicos de um circuito elétrico. São denominados de componentes passivos, pois não geram energia nem requerem uma fonte de alimentação<sup>1</sup> para funcionarem.

O resistor transforma toda a energia elétrica recebida em forma de calor que é um processo de dissipação. Por outro lado, o capacitor e o indutor não dissipam energia sendo que podem receber e acumular energia num determinado momento e devolvê-la noutro momento. Essa capacidade de reter e devolver energia torna o capacitor e o indutor em elementos com comportamentos muitos úteis em sistemas elétricos, eletrônicos e computacionais.

Veremos nesta experiência que a relação tensão-corrente num capacitor ou indutor pode ser descrita por uma grandeza denominada reatância (equivalente à resistência de um resistor). Uma das propriedades importantes é a dependência da reatância com a frequência. Por exemplo, num capacitor a reatância é inversamente proporcional à frequência. No indutor ocorre o oposto, ou seja, a reatância aumenta linearmente com a frequência. Uma das aplicações dessa propriedade é no projeto de filtros que podem ser utilizados para eliminar sinais indesejados como ruídos ou para selecionar um sinal de interesse como num rádio ou TV.

---

<sup>1</sup> 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.

### 3. CAPACITOR

#### 3.1 Descrição

Trata-se de um componente reativo, capaz de acumular energia temporariamente, mas não consome energia (idealmente). O armazenamento de energia se dá em forma de campo elétrico produzido por cargas elétricas. É capaz de afetar o comportamento de um circuito, como por exemplo, facilitar ou dificultar a passagem de corrente. Essas propriedades elétricas são extremamente úteis, fazendo com que o capacitor esteja presente em praticamente todos os circuitos eletrônicos imagináveis na atualidade.

Existem diversos tipos de capacitores (Figura 1), mas em geral é composto de duas placas condutoras separadas por um dielétrico (material isolante). As placas condutoras são, em geral, constituídas de películas finas de metal. O dielétrico pode ser feito de vidro, cerâmica, plástico, ar, papel, mica ou uma camada de óxido.



Figura 1 – Exemplos de capacitores [1]

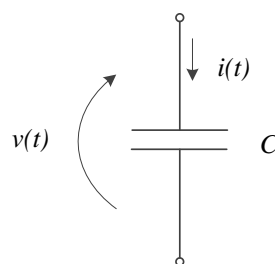


Figura 2 – Representação de um capacitor

#### 3.2 Relação constitutiva do Capacitor

A forma mais direta para entender o comportamento de um capacitor é através da relação entre a corrente e tensão (Figura 2), que pode ser descrita através da expressão (1) indicada a seguir [2]:

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} \quad (1)$$

Observe que a corrente,  $i(t)$ , que flui pelo capacitor corresponde à derivada da tensão,  $v(t)$ , multiplicada por uma constante,  $C$ , denominada capacitância. Quanto maior for a capacitância, maior será a capacidade do capacitor de armazenar energia eletrostática.

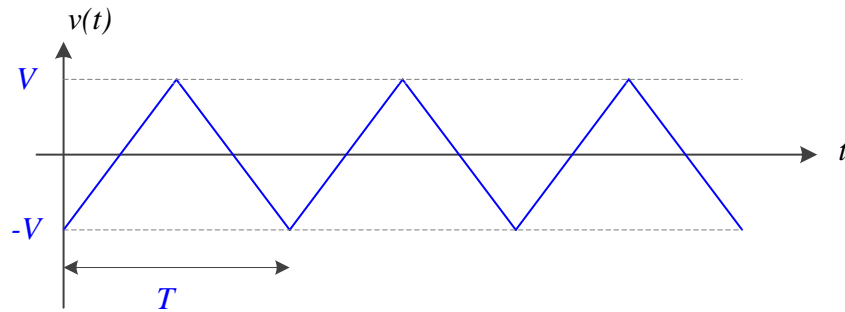
#### 3.3 Comportamento do Capacitor

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

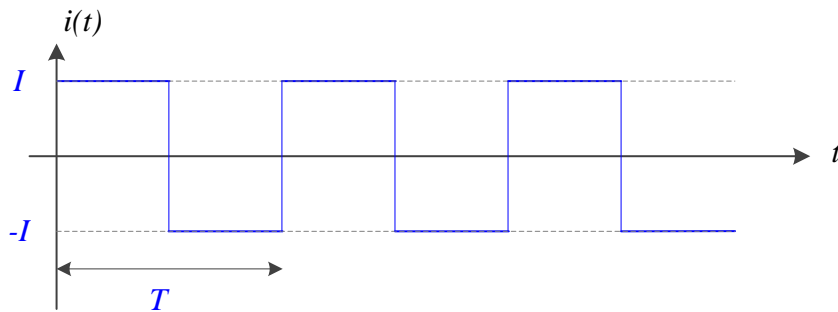
##### Exemplo 1:

Suponha que a tensão sobre o capacitor seja uma onda triangular com amplitude  $V$  e período  $T$  como mostrada na Figura 3a.

Neste caso, é fácil concluir a partir da relação constitutiva, expressão (1) que a corrente no capacitor será uma onda quadrada, com amplitude  $I$  e  $-I$ , período  $T$  (mesmo que a tensão) conforme mostrada na Figura 3b.



(a) Tensão sobre o capacitor.



(b) Fluxo de corrente pelo capacitor.

**Figura 3** – Comportamento de tensão e corrente no capacitor.

Vamos deduzir uma expressão algébrica que relaciona as amplitudes de corrente,  $I$ , e de tensão,  $V$ . No intervalo de tempo,  $0 < t < T/2$ , a tensão aumenta linearmente de  $-V$  a  $+V$ , logo podemos linearizar a expressão (1) da seguinte maneira:

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

A expressão (2) poderá ser utilizada para estimar a corrente a partir dos valores de tensão ( $V$ ), capacitância ( $C$ ) e do período ( $T$ ).

### Exemplo 2:

Suponha que a tensão sobre o capacitor seja uma onda senoidal (Figura 4a), descrita pela expressão a seguir.

$$v(t) = V \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (3)$$

Onde  $\omega$  é a frequência angular dada pela seguinte expressão:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (4)$$

Vamos calcular a corrente no capacitor, utilizando novamente a expressão (1):

$$i(t) = C \frac{dv(t)}{dt} = V\omega C \cdot \cos(\omega t) = I \cdot \text{sen}(\omega t - 90^\circ) \quad (5)$$

onde,

$$I = V\omega C \quad (6)$$

A partir da expressão (6) podemos concluir que a relação tensão-corrente num capacitor é inversamente proporcional à frequência angular,  $\omega$ , sendo que definimos a reatância do capacitor,  $X_C$ , como sendo:

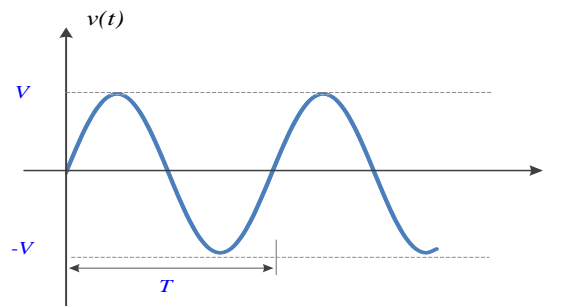
$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{1}{\omega C} \quad (7)$$

A potência instantânea no capacitor (Figura 4c) será dada por:

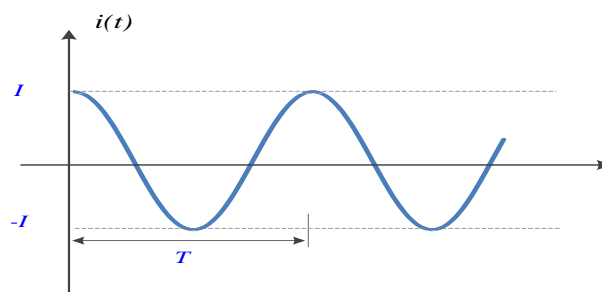
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \frac{V \cdot I}{2} \text{sen}(2\omega t) \quad (8)$$

Por outro lado, a potência média no capacitor será dada por:

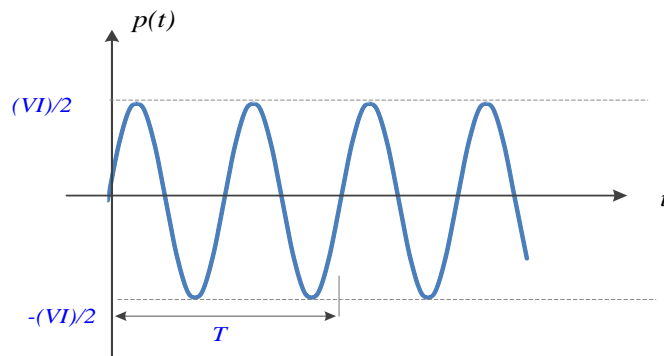
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{V \cdot I}{2T} \int_0^T \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (9)$$



(a) Tensão no capacitor



(b) Corrente no capacitor



(b) Potência no capacitor

Figura 4 - Comportamento do capacitor para sinal senoidal.

Aspectos do capacitor que merecem destaque:

- i. A corrente no capacitor está **adiantada de 90°** em relação à tensão.
- ii. A relação  $V/I$  é **inversamente proporcional à frequência**, ou seja, quanto menor a frequência maior será a relação  $V/I$ , e quanto maior a frequência menor será a relação  $V/I$ .

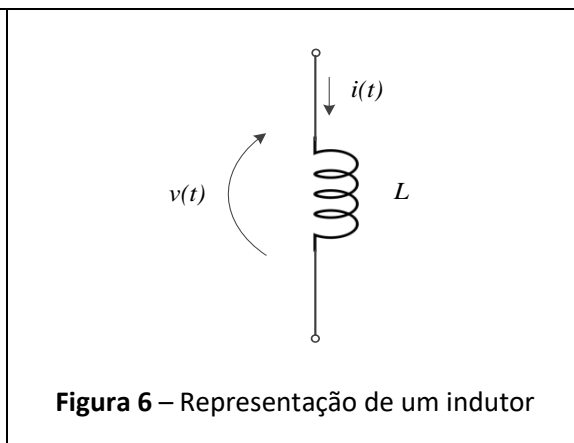
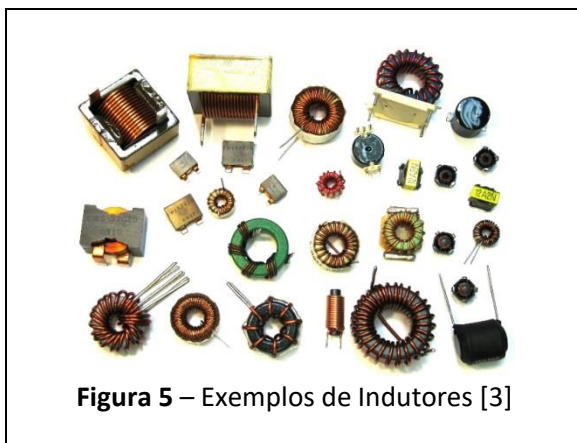
*Colorário:* o capacitor comporta-se como um **aberto para baixas frequências** e como um **curto para altas frequências**.

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

## 4. INDUTOR

### 4.1 Descrição

Trata-se de um componente reativo, capaz de acumular energia em forma de campo magnético. Assim como o capacitor, é capaz de afetar o comportamento de um circuito sem dissipar energia (idealmente), sendo muito utilizado em projetos de circuitos eletrônicos para uma ampla gama de aplicações.



Um indutor consiste basicamente de um enrolamento de um fio condutor, em geral cobre. A utilização de núcleo de material com elevada permeabilidade magnética (ferromagnético) aumenta capacidade de armazenamento de energia magnética. Um dos materiais mais utilizados é a ferrite (cerâmica feita com óxido de ferro).

## 4.2 Relação constitutiva do Indutor

O comportamento de um indutor [1] pode ser descrito matematicamente através da expressão a seguir:

$$v(t) = L \frac{di(t)}{dt} \quad (10)$$

Observe que a expressão (10) que descreve o comportamento do indutor é muito similar à equação que descreve o comportamento do capacitor (1). Há uma troca de posição entre as variáveis de tensão,  $v(t)$ , e a corrente,  $i(t)$ . No caso do indutor verifica-se que a tensão sobre o elemento corresponde à derivada da corrente multiplicada por uma constante,  $L$ , denominada indutância. Quanto maior a indutância maior será a capacidade do indutor de armazenar energia magnética.

## 4.3 Comportamento do Indutor

Vamos examinar o comportamento do indutor através de um exemplo.

### Exemplo 3:

Suponha que a corrente sobre o indutor seja uma onda senoidal descrita pela expressão a seguir.

$$i(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t) \quad (11)$$

Aplicando-se a relação constitutiva do indutor (10) podemos calcular a tensão sobre o indutor:

$$v(t) = V \cdot \cos(\omega t) = V \cdot \text{sen}(\omega t - 90^\circ) \quad (12)$$

onde,

$$V = I\omega L. \quad (13)$$

A partir da expressão (13) podemos concluir que a relação tensão-corrente num indutor é linearmente proporcional à frequência angular,  $\omega$ , sendo que definimos a reatância do indutor,  $X_L$ , como sendo:

Ou, de outra forma:

$$X_L = \frac{V}{I} = \omega L. \quad (14)$$

A potência instantânea no indutor será dada por:

$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \frac{V \cdot I}{2} \text{sen}(2\omega t) \quad (15)$$

Por outro lado, a potência média no indutor será dada por:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{V \cdot I}{2T} \int_0^T \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (16)$$

Resumindo o comportamento do Indutor:

- i. A corrente no indutor está **atrasada de 90°** em relação à tensão.
- ii. A relação  **$V/I$**  é **diretamente proporcional à frequência**, ou seja, quanto menor a frequência menor será a relação  $V/I$ , e quanto maior a frequência maior será a relação  $V/I$ .

*Colorário: o indutor comporta-se como um curto para baixas frequências e como um aberto para altas frequências.*

- iii. A potência média sobre o indutor (ideal) é nula.

## Referências

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

[2] [wikipedia.org/wiki/Capacitor](http://wikipedia.org/wiki/Capacitor)

[3] <http://www.coilws.com/>