



**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

Prof. Leopoldo Yoshioka / Profa. Elisabete Galeazzo

#### **1. OBJETIVO**

Analisar circuitos com componentes passivos e avaliar o comportamento da sua reatância capacitiva e indutiva.

#### **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]

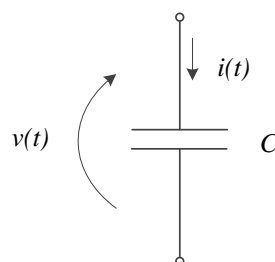


Figura 2 – Representação de um capacitor

#### 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.

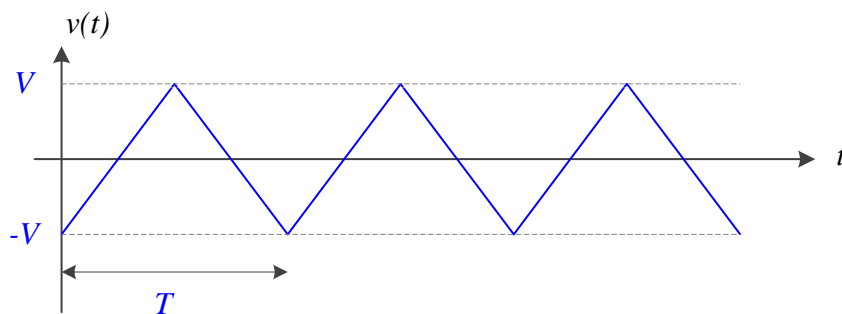
#### 3.3 Comportamento do Capacitor

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

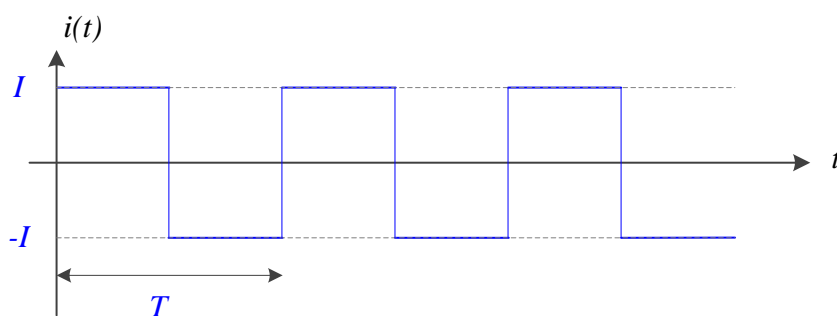
##### Exemplo 1:

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:

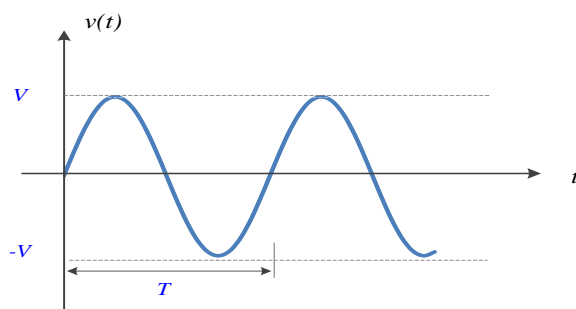
$$X_C = \frac{V}{I} = \frac{1}{\omega C} \quad (7)$$

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

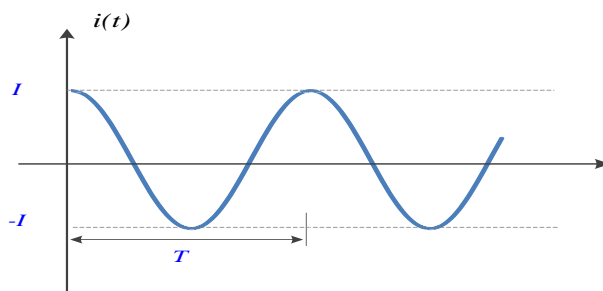
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \frac{V \cdot I}{2} \text{sen}(2\omega t) \quad (8)$$

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

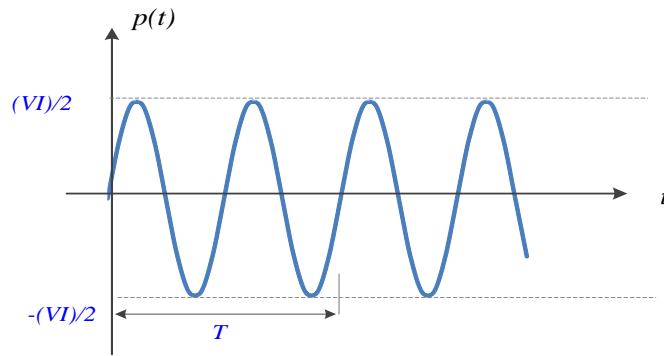
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{V \cdot I}{2T} \int_0^T \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (9)$$



(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.

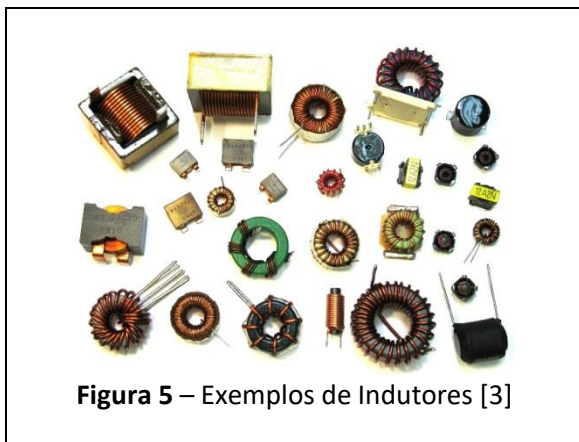


Figura 5 – Exemplos de Indutores [3]

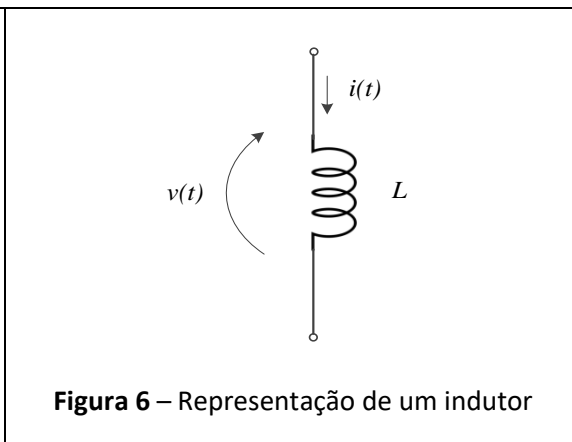


Figura 6 – Representação de um indutor

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/>