

2.2 Modelo matemático 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]:

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

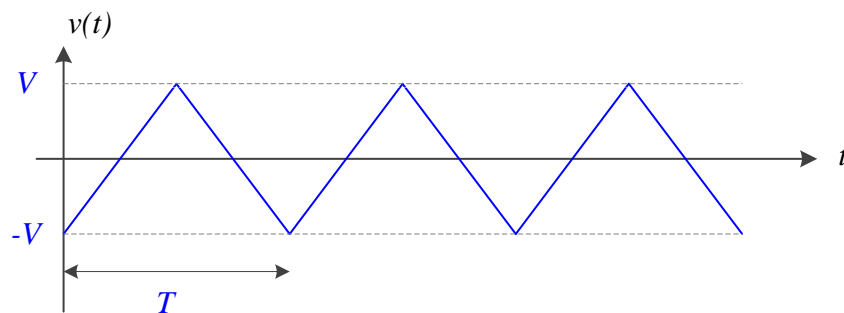
Observe que a corrente, $i(t)$, que flui pelo capacitor corresponde à derivada da tensão, $v(t)$, multiplicada por uma constante, C , denominada capacitância. Quanto maior for a capacitância, maior será a capacidade do capacitor de armazenar energia eletrostática.

2.3 Comportamento do Capacitor

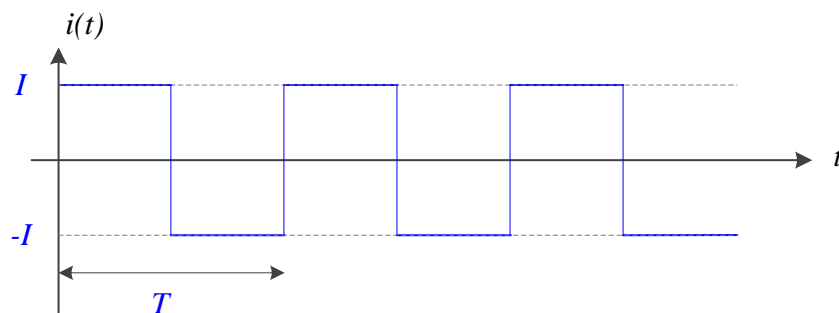
Vamos examinar o comportamento do capacitor através de dois exemplos a seguir.

Exemplo 1:

Suponha que a tensão sobre o capacitor seja uma onda triangular (Figura 3a) com amplitude V e período T .



(a) Tensão aplicada sobre o capacitor.



(b) Fluxo de corrente pelo capacitor.

Figura 3 – Comportamento de tensão e corrente no capacitor.

Neste caso, podemos deduzir, através da expressão (1), que a corrente pelo capacitor será uma onda quadrada (Figura 3b) com amplitude I e mesmo período T . Pode-se verificar também neste caso que:

$$I = \frac{4VC}{T} \quad (2)$$

onde I e V são a corrente e tensão de pico, respectivamente.

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 ω é a frequência angular dada pela seguinte expressão:

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

Substituindo (3) em (1), verificamos que a corrente pelo capacitor (Figura 4b) será dada por:

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

onde,

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

Desta forma, temos que:

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

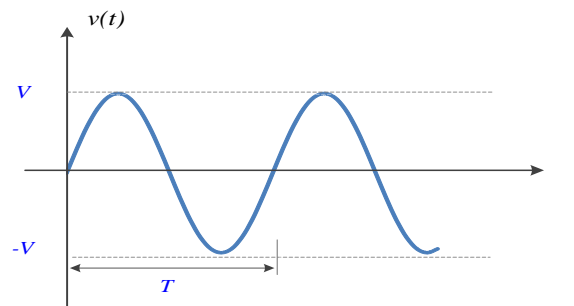
Observe que a expressão (7) representa a reatância do capacitor.

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

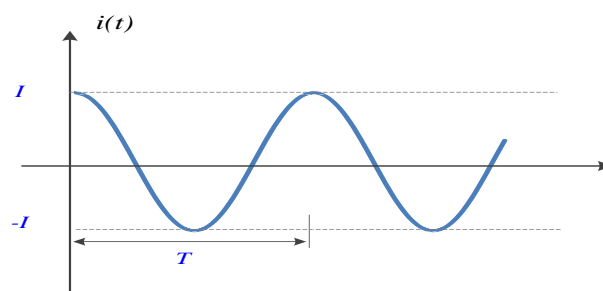
$$p(t) = v(t) \cdot i(t) = \frac{V \cdot I}{2} \text{sen}(2\omega t) \quad (8)$$

A potência média no capacitor será dada por:

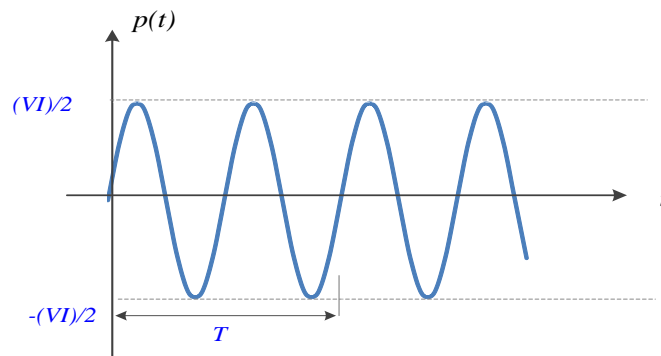
$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{V \cdot I}{2T} \int_0^T \text{sen}(2\omega t) dt = 0 \quad (9)$$



(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.

3. INDUTOR

3.1 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.

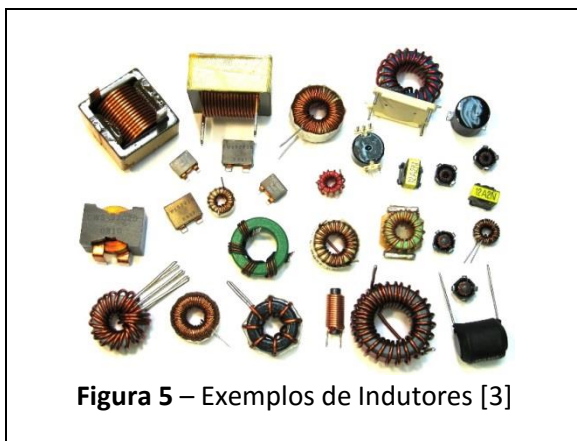


Figura 5 – Exemplos de Indutores [3]

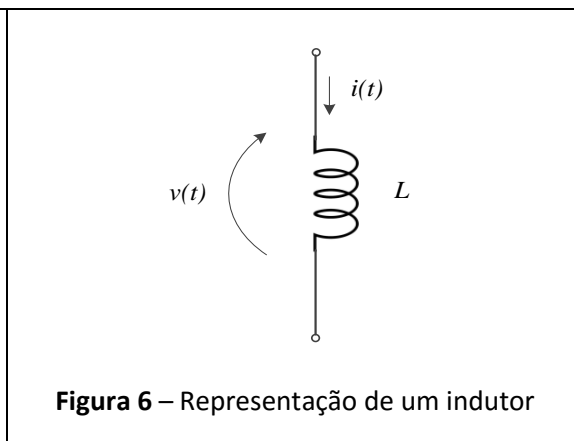


Figura 6 – Representação de um indutor

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).

3.2 Modelo matemático do Indutor

O comportamento de um indutor [1] pode ser descrito através de a 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.

3.2 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.

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

A tensão sobre o indutor será dada por

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

onde,

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

Ou, de outra forma:

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

Observe que a expressão (14) representa a reatância do indutor.

A potência instantânea no indutor será dada por:

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

A potência média no indutor será dada por:

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

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.

4. GERADOR DE FUNÇÕES

O gerador de funções que utilizamos em nosso laboratório [4] é um instrumento versátil, programável, que pode gerar sinais senoidais, ondas quadradas e triangulares, entre outras, com frequências de até 15 MHz e amplitudes de até 20 Vpp. Além disso, ele pode fornecer também sinais de tensão DC (positivos ou negativos).

Este gerador de funções possui **dois modos de operação**:

- . *Modo de $50\ \Omega$* (configuração padrão, default);
- . *Modo HIGH Z*.

4.1 Modelo equivalente do gerador de funções

Um gerador real é um componente ativo que fornece energia ao sistema, porém parte da tensão gerada é consumida pelos seus circuitos internos, devido às perdas por efeito Joule, e representadas por uma resistência interna R_{in} .

A resistência interna do gerador de funções do nosso laboratório é de $50\ \Omega$. O modelo equivalente deste equipamento é composto por uma fonte de tensão ideal em série com uma resistência de $50\ \Omega$, como ilustrado na Figura 7.

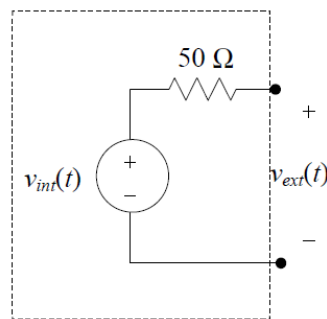


Figura 7 – Modelo equivalente do gerador de funções do nosso laboratório.

onde $v_{int}(t)$ é a forma de onda da tensão interna gerada pelo equipamento, e $v_{ext}(t)$ é a tensão observada nos terminais do mesmo.

Vamos considerar que uma carga R_L seja conectada nos seus terminais, conforme ilustração da Figura 8.

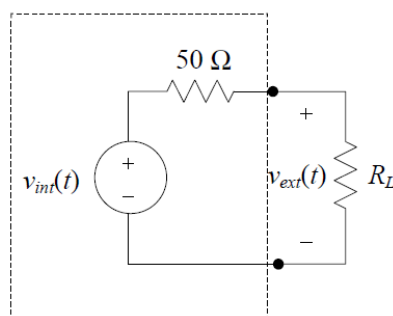


Figura 8 – Carga R_L conectada à saída do gerador de funções.

Nesta condição, a tensão $v_{ext}(t)$ nos terminais do equipamento será:

$$v_{ext}(t) = \frac{R_L}{R_L + 50\Omega} \cdot v_{int}(t) \quad (17)$$

Se $R_L = 50 \Omega$, verificaremos que $v_{ext}(t) = \frac{1}{2} v_{int}(t)$. Porém, se a $R_L \gg 50 \Omega$, teremos que $v_{ext}(t) \cong v_{int}(t)$.

4.2 Entendendo os modos de operação do gerador de funções

Nestes equipamentos, o modo de operação *default* (padrão) é de **50 Ω** (configuração de fábrica, pelos projetistas considerarem que a maioria das aplicações com estes geradores seja para aplicações de Rádio Frequência (RF) com cargas R_L de 50 Ω). Neste modo de operação, internamente o gerador dobra o sinal que é mostrado no display. Este processo é feito internamente no aparelho para evitar que na sua saída haja uma atenuação de 50% do sinal programado (efeito do divisor resistivo), e supondo-se que a carga sempre será igual a 50 Ω . Porém, você consegue prever o que ocorrerá com a tensão na saída do gerador, no modo de operação 50 Ω , caso a carga não seja igual a 50 Ω ?

Ou seja, imagine que você programou o gerador para produzir um sinal senoidal de 5 Vpp no modo de operação de 50 Ω . Neste modo de operação, internamente o equipamento irá alterar este valor para um sinal senoidal de 10 Vpp em $v_{int}(t)$.

Caso sua resistência de carga seja $\gg 50 \Omega$, como acontece na maioria dos experimentos que efetuaremos no nosso laboratório, você observará que a tensão na carga efetivamente será de 10 Vpp, mesmo que no display do equipamento indique 5 Vpp.

Para resolver tal problema, deve-se escolher, sempre que ligar o equipamento, a operação no modo **HIGH Z**. Desta forma, se impusermos uma tensão de 5 Vpp no display do gerador, ele produzirá uma tensão de 5 Vpp no $v_{in}(t)$.

Para configurar o gerador de funções no modo de operação de alta impedância (**HIGH Z**), siga os seguintes passos:

- . Pressione "**Menu On**" (shift – enter).
- . Você visualizará no display: **A:MOD MENU**.
- . Pressione o botão de indicação para a direita "**>**" três vezes. Você visualizará no display: **D:SYS MENU**.
- . Pressione a tecla de indicação para baixo "**∨**" uma vez. Você visualizará no display: **1:OUT TERM**.
- . Pressione a tecla "**∨**" mais uma vez. Você visualizará no display: **50 OHM**.
- . Pressione a tecla de indicação para direita "**>**". Você visualizará no display: **HIGH Z**.
- . Pressione "**Enter**".

Obs: Você deve seguir este procedimento toda vez que você ligar seu gerador.

4.3 Gerando um sinal DC (offset) no gerador de funções

É possível gerar um sinal DC e somá-lo a um sinal alternado programado no gerador de funções. Para isso, pressione e segure por alguns segundos o botão do painel frontal do equipamento denominado **“offset”**. O display mostrará: **“DCV”**. Digite o valor desejado. Como resultado, você observará que o sinal de saída do gerador será composto por duas funções: o sinal alternado já programado anteriormente e a tensão de offset imposta.

5. OSCILOSCÓPIO

Nesta experiência abordaremos algumas funcionalidades adicionais do osciloscópio [6], incluindo:

- Acoplamento CC e CA; e
- Tensão eficaz.

5.1 Acoplamento CC e CA

Cada canal do osciloscópio possui dois tipos de acoplamento:

- CC (corrente contínua) e
- CA (corrente alternada).

Acoplamento CC:

Se for escolhido o acoplamento CC, significa que o sinal deste canal não passará por um processo de filtragem. Todos os componentes CA do sinal (parcela do sinal dependente do tempo) e os componentes DC ou CC (parcela do sinal constante no tempo) serão visualizados na tela do osciloscópio.

O componente CC do sinal é facilmente observado na tela do osciloscópio simplesmente observando-se sua distância do símbolo de terra do canal.

Acoplamento CA:

Se for escolhido o acoplamento CA, o sinal passará por um filtro passa-alto conectado em série com o canal de entrada. Todas as frequências inferiores a 10 Hz serão eliminadas (os componentes DC também são eliminados) e, conseqüentemente, tais frequências não serão mostradas na tela do osciloscópio. O acoplamento CA é útil para visualizar com maior sensibilidade o componente CA de baixa amplitude de um offset DC.

Para acionar o acoplamento desejado no osciloscópio:

1. Pressione a tecla do canal desejado (1 ou 2).
2. No menu **“Canal”** apresentado na parte inferior do mostrador, pressione a *softkey* **Acoplamento** para selecionar o acoplamento do canal de entrada (CC ou CA).

5.2 Valor Eficaz

Se o osciloscópio estiver no modo de acoplamento CA, o valor eficaz medido pelo osciloscópio (V_{RMS}) será referente somente ao componente alternado do sinal.

$$V_{ef(CA)} = V_{RMS(CA)} \quad (17)$$

No entanto, se o osciloscópio estiver no modo de acoplamento CC, o valor eficaz medido pelo osciloscópio (V_{RMS}) será referente aos ambos componentes do sinal, ou seja, da alternada do sinal (CA) e da parte contínua do sinal (CC). Denomina-se este valor de valor eficaz da onda completa, que pode ser descrito pela expressão a seguir.

$$V_{eficaz\ de\ onda\ completa}^2 = V_{ef(CA)}^2 + V_{CC}^2 \quad (18)$$

Observe que o multímetro digital **não mede o valor eficaz da onda completa**. As medidas de tensão AC(CA) e tensão DC(CC) devem ser feitas separadamente neste medidor, e depois aplica-se a fórmula mostrada na expressão (18) para determinar a tensão eficaz de onda completa.

Referências

- [1] Orsini, L.Q., Consonni D., Curso de Circuitos Elétricos Vol 1, Ed. Edgard Blucher, 2a Ed., 2002.
- [2] wikipedia.org/wiki/Capacitor
- [3] <http://www.coilws.com/>
- [4] Agilent 33120 Arbitrary Function Generator – Users Guide
- [5] Agilent DSOX-2002A Osciloscópio Digital – Guia do Usuário