## Proposição II.4
## CARACTERÍSTICA *i*(*t*) - *v*(*t*) DE DIODOS

**Objetivo:** Observar a característica de condutância de diodos.

**Introdução:**

Para compreender o funcionamento de circuitos ou dispositivos eletromagnéticos e eletrônicos é essencial conhecer as características de operação *v*-*i* dos principais componentes de um circuito elétrico. Essas características podem representar relações lineares ou não-lineares. O osciloscópio é um instrumento que permite analisar essas relações de maneira quase direta. É preciso lembrar que **não se pode medir corrente** diretamente com o osciloscópio, pois as entradas devem ser **sinais de tensão**! Para obter um sinal de tensão proporcional à corrente, basta analisar a queda de tensão que a corrente provoca sobre um resistor linear:

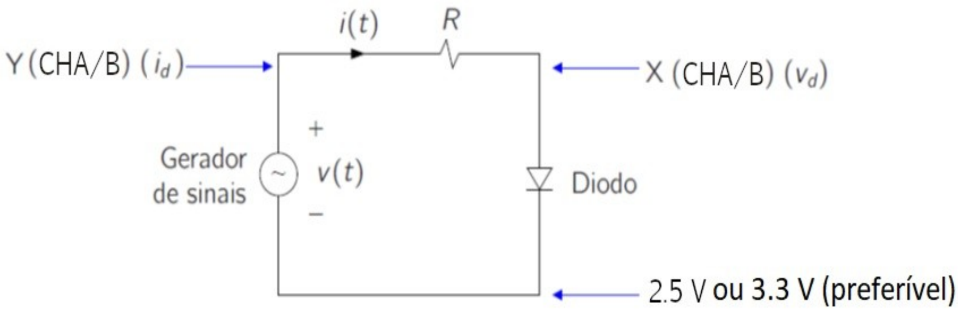
$$v_R = R\,i$$

sendo *R* constante, e que representa o fator de proporcionalidade entre tensão e corrente. Resistores usados com essa finalidade são chamados de resistores *shunt*.

Contudo, a placa ADALM1000 fornecida, através do software ALICE, consegue medir a corrente que passa por uma fonte de tensão, abrindo assim duas opções não disponíveis em um osciloscópio comum: observar a corrente de saída da própria fonte de tensão sendo utilizada; ou utilizar uma fonte de tensão com 0 V como um amperímetro improvisado.

**Ensaios e questões:**

Em lugar do resistor linear ou da lâmpada vamos ensaiar agora alguns tipos de diodos.




**(i)** ► Utilize o diodo zener (1N 4370 ou 1N5221, o que tiver vindo no kit) . Ajuste um sinal senoidal de **100 Hz, $V_{pp}$= 5 V** no gerador de sinais. Para ***R* = 100 Ω**, selecione as escalas dos canais 1 e 2 até obter amplitudes comparáveis nos dois eixos. Faça um esboço abaixo das curvas $v_d$ ($t$) e $i_d$ ($t$). Não esqueça de inverter o canal 2, de deixar ambos os canais com acoplamento DC, e que, ao utilizar o software Alice, toda fonte de tensão tem embutida sua própria medição de corrente.

**(ii)** ► Gere a curva [$i_d$×$v_d$] (*$v_d$ no eixo X e $i_d$ no eixo Y).*, indicando as escalas usadas no osciloscópio. Meça, com os cursores do osciloscópio, os valores de tensão de condução direta e reversa. Desenhe a curva abaixo indicando os valores máximos e mínimos de tensão.

**(iii)** Identifique a região em que o diodo zener se comporta como regulador de tensão. Para isso, observe a variação da tensão no diodo com a sua corrente, e compare essa variação com o que acontece com uma fonte de tensão ideal. Essa característica é usada na prática para a construção de fontes de corrente contínua.

**(iv)** ► Ajuste agora o valor de ***$V_p$*** de forma que o diodo zener se comporte como um diodo normal.

**(v)** **Esboce** a curva [$i_d$×$v_d$] (*$v_d$ no eixo X e $i_d$ no eixo Y),* que seria obtida com um diodo comum (não zener).

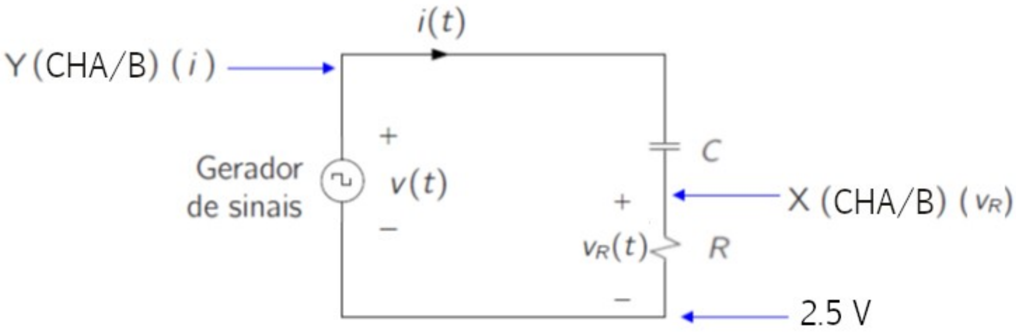
**Proposição II.5**
**BIPOLOS ARMAZENADORES DE ENERGIA: CAPACITOR,**
**RESPOSTA AO DEGRAU, CONSTANTE DE TEMPO, DEFASAGEM**

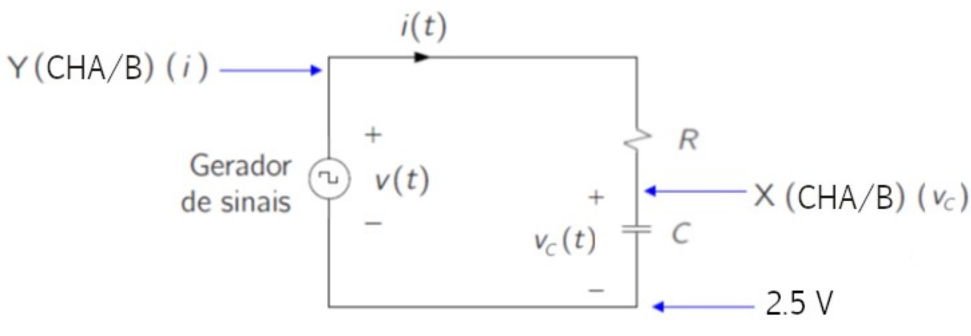
**Objetivo:** Observar o comportamento do capacitor em circuitos com excitação em degrau e senoidal. Relacionar constante de tempo e defasagem.

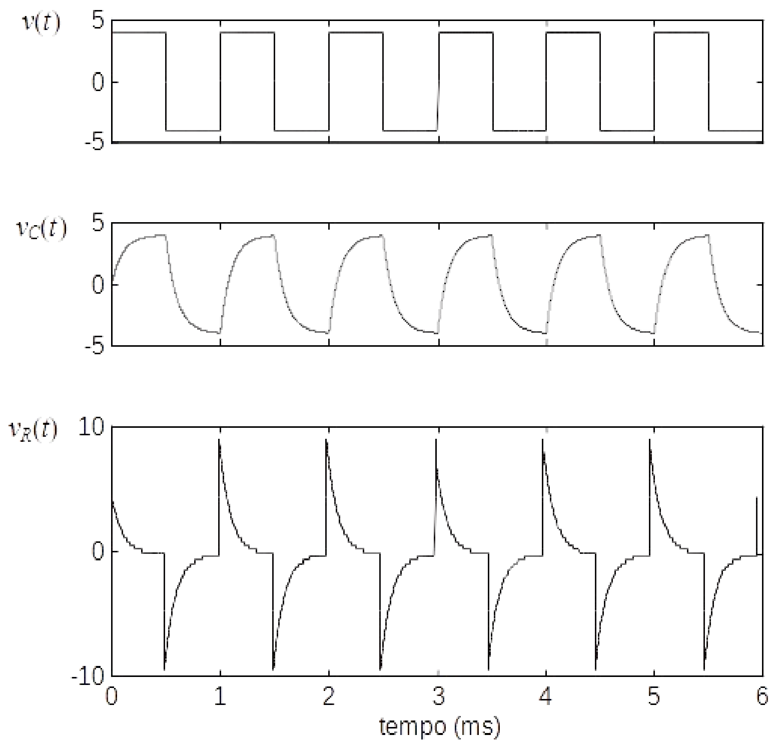
**Revisão da Teoria:**

Nos elementos armazenadores de energia, como o indutor e o capacitor, a característica [*v*-*i*] deve levar em conta a resposta transitória do circuito (a que se atenuará com o tempo - onda quadrada) e a defasagem entre o sinal de tensão e de corrente (onda senoidal). No caso da onda senoidal também existe uma resposta transitória, mas ela se atenua rapidamente e não iremos visualizá-la com os equipamentos disponíveis. Para observar a resposta transitória e a sua relação com as características do bipolo, vamos utilizar uma onda de tensão de excitação quadrada. Para visualizar a defasagem dos sinais de tensão e corrente vamos excitar o circuito com um sinal senoidal.

**a) CAPACITOR LINEAR - ALIMENTAÇÃO POR ONDA QUADRADA**






Neste caso temos:

$$v = R\,i + \frac{1}{C}\int i\,\mathrm{dt} + v_C(0)$$

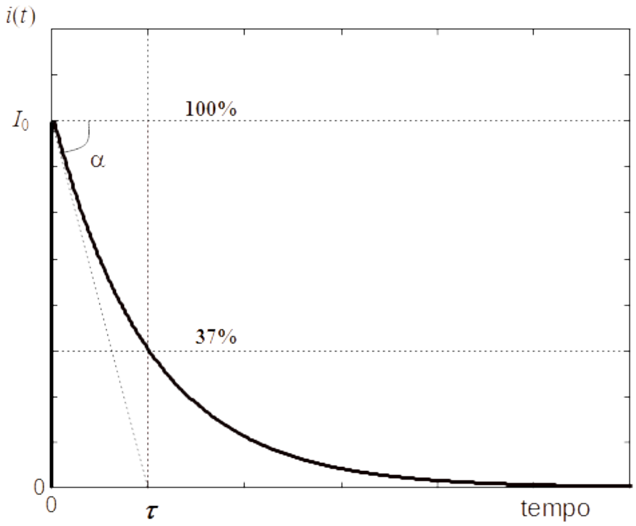
cuja solução para uma entrada constante $V_0$ e condição inicial $v_C(0) = 0$ é:

$$i(t) = \frac{V_0}{R}\, e^{\left(\frac{-t}{\tau}\right)}$$

onde $i$ é o valor inicial de $i(t)$ e $\tau = RC$ é a constante de tempo do circuito. Para $t = \tau$, temos:

$$i(\tau) = \frac{V_0}{R}\, e^{-1} = 0{,}368\,\frac{V_0}{R}$$

ou seja, $\tau$ é o tempo para atingir aproximadamente 37% do valor máximo da corrente.




Outra maneira de se obter $\tau$ é derivar a função na origem (0+):

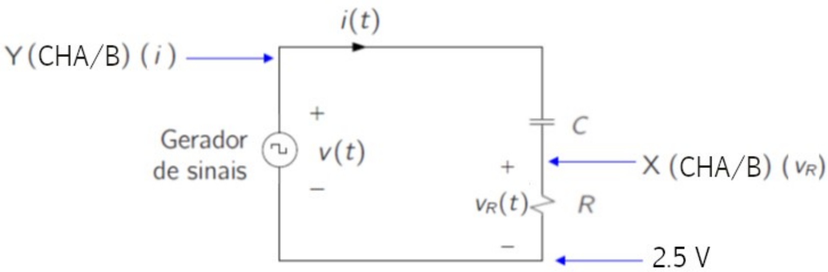
$$\frac{di}{dt}\Big|_{t=0+} = -\frac{V_0}{R^2C} = -\frac{I_0}{\tau} = \text{tg}\,\alpha$$

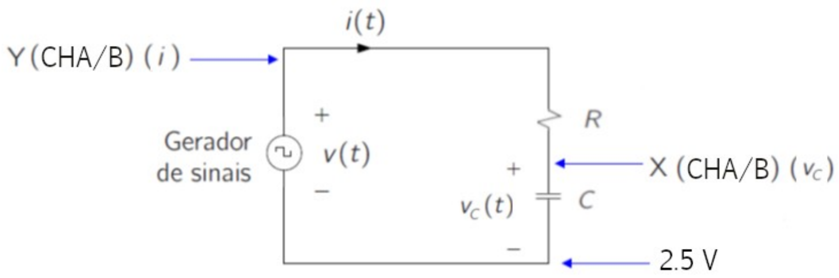
Constata-se que a taxa de variação inicial depende inversamente de $\tau$. O cruzamento da derivada inicial com o nível do valor final (neste caso, zero) ocorre em $t = \tau$.

**Ensaios e Questões:**

**(i)** Calcule o valor de $\tau$ para o circuito RC série em que $\boldsymbol{C}$ **= 0,1 μF** e $\boldsymbol{R}$ **= 1 kΩ**.

**(ii)** ► Monte os circuitos abaixo. Usando excitação em **onda quadrada**, com $\boldsymbol{V_p}$ **= 5 V** (tensão de pico) e $\boldsymbol{f}$ **= 1 kHz**, observe as formas de onda de $v_R(t)$, $v_C(t)$ e $(v_R + v_C)$.






**(iii)** ► Como ficariam as curvas observadas para um circuito com uma capacitância maior e menor? Varie o valor da capacitância para **C = 10nF** e observe o comportamento.

**(iv)** Dê uma interpretação física às curvas observadas. Tanto no começo quanto no fim do transitório, o capacitor se comporta como o quê? Com base nessa observação, qual o valor da corrente no começo e no fim do transitório?

**b) CAPACITOR LINEAR - ALIMENTAÇÃO POR ONDA SENOIDAL**

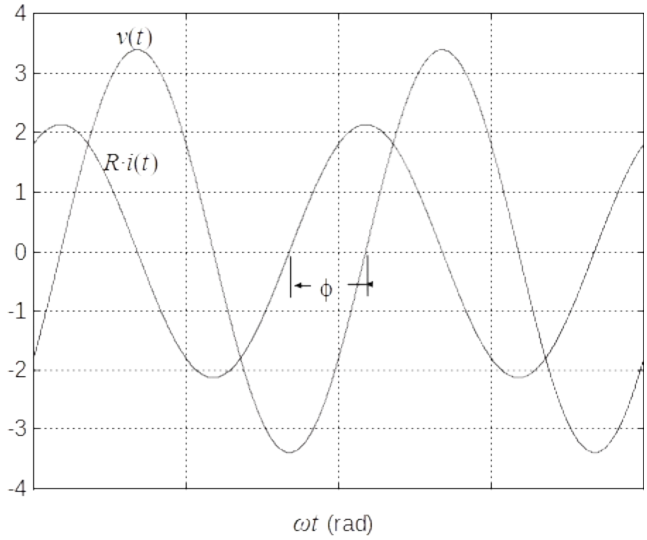
Quando o circuito é alimentado por excitação senoidal a defasagem entre o sinal de tensão e o de corrente é dada pelo ângulo da impedância do circuito em regime permanente (solução fasorial).

Seja *f* a frequência da excitação senoidal. Então $\omega = 2\pi f$ é a *frequência angular*. Teremos as ondas de tensão e corrente dadas por: $v(t)=V_p\cos(\omega t)[V]$ e $i(t)=I_p\cos(\omega t+\phi)[A]$ onde:

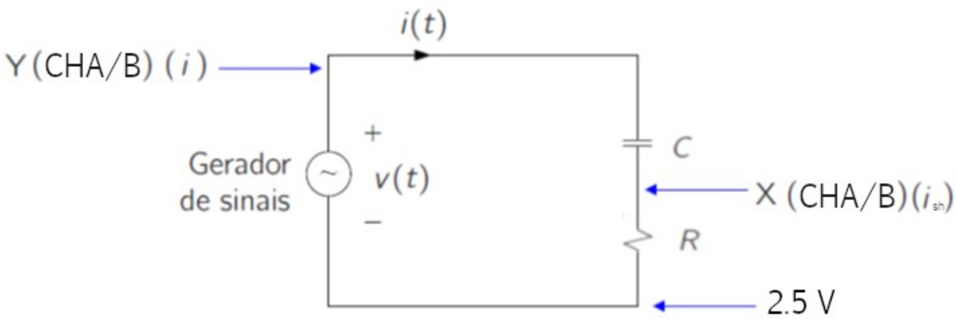
$$\phi=\left(\frac{Xc}{R}\right)=\left(\frac{1}{R\omega C}\right)$$

$$I_P=\frac{\omega C}{\sqrt{1+(R\omega C)^2}}$$

No circuito capacitivo a corrente apresenta fase adiantada de $\varphi$ em relação à tensão da fonte.




**Ensaios e Questões:**




**(v)** ► Considere um **sinal senoidal de 1 kHz, Vp=5V e R=1KΩ**. Ajuste o osciloscópio para que o canal que gera o sinal também meça a corrente no circuito.

**(vi)** ►Meça a defasagem entre *v*(*t*) e *i*(*t*) observada no osciloscópio. *Dica: use o resistor do circuito como shunt e sua tensão como equivalente da corrente, para assim poder usar a função do medida "A-B phase" do software Alice*. Compare com o valor calculado analiticamente.

**(vii)** Na realidade, suas figuras não mostram *i*(*t*), mas sim a tensão no resistor. Por que isso não afeta o cálculo da defasagem entre tensão e corrente?

**(viii)** ► Varie a frequência de **1 kHz** a **10 kHz** e observe a variação da amplitude e da defasagem da corrente. Descreva e explique o que ocorre quando a frequência aumenta. Qual a defasagem esperada para frequências muito altas e muito baixas?