

Proposição II.4

CARACTERÍSTICA $i(t)$ - $v(t)$ DE DIODOS

Objetivo: Observar a característica de condutância de diodos.

Introdução:

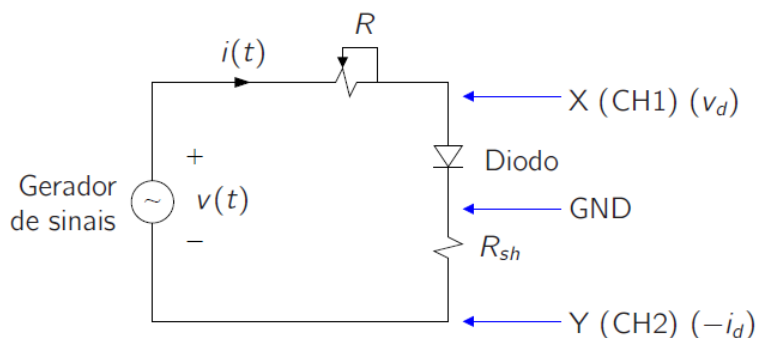
Para compreender o funcionamento de circuitos ou dispositivos eletromagnéticos e eletrônicos é essencial conhecer as características de operação v - i dos principais componentes de um circuito elétrico. Essas características podem representar relações lineares ou não-lineares. O osciloscópio é um instrumento 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*.

Ensaio e questões:

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



- (i) ► Utilize o diodo zener (1N 4735). Ajuste um sinal senoidal de **100 Hz**, $V_p = 8 \text{ V}$ no gerador de sinais. Para $R = 100 \, \Omega$ e $R_{sh} = 10 \, \Omega$, selecione as escalas dos canais 1 e 2 até obter amplitudes comparáveis nos dois eixos. Coloque as curvas $v_d(t)$ e $i_d(t)$ na mesma tela e **salve**.
- (ii) ► Gere a curva $[i_d \times v_d]$, indicando as escalas usadas no osciloscópio. Meça, com os cursores do osciloscópio, os valores de tensão de condução direta e reversa. **Salve** a curva com os cursores.

- (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. Coloque as curvas $v_d(t)$ e $i_d(t)$ na mesma tela e **salve**.
- (v) **Esboce** a curva $[i_d \times v_d]$ que seria obtida com um diodo comum (não zener).

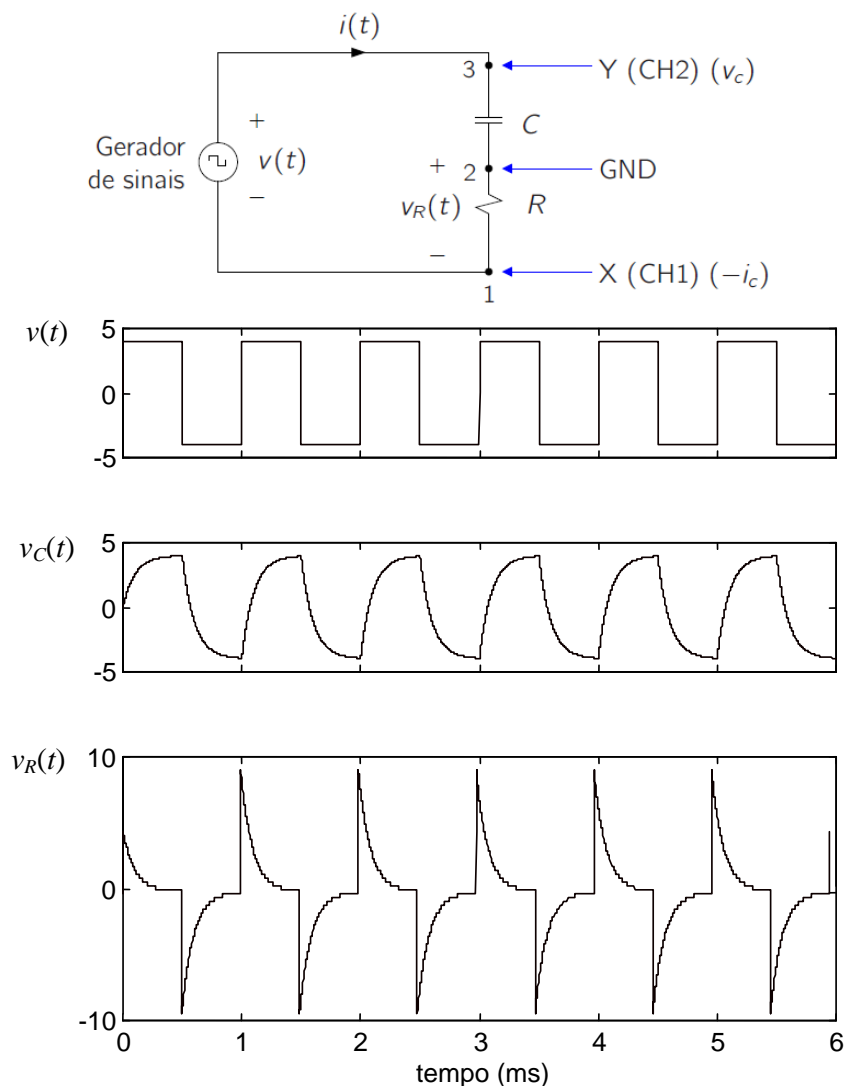
Proposição II.5
BIPOLOS ARMAZENADORES DE ENERGIA: CAPACITOR,
RESPOSTA AO DEGRAU, CONSTANTE DE TEMPO, DEFASAGEM

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:

$$v = Ri + \frac{1}{C} \int i \, dt + v_c(0)$$

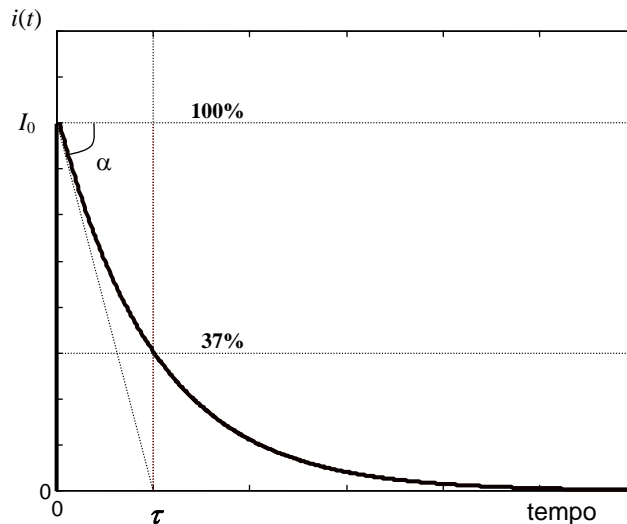
cuja solução para uma entrada constante V_0 e condição inicial $v_c(0) = 0$ é:

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

onde $i(0+) = \frac{V_0}{R}$ 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, τ é o tempo para atingir aproximadamente 37% do valor máximo da corrente.



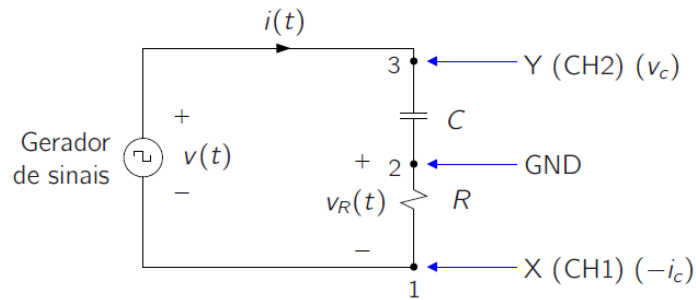
Outra maneira de se obter τ é derivar a função na origem (0+):

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0+} = -\frac{V_0}{R^2 C} = -\frac{I_0}{\tau} = \operatorname{tg} \alpha$$

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

Ensaio e Questões:

- (i) Calcule o valor de τ para o circuito RC série em que $C = 0,1 \, \mu\text{F}$ e $R = 1 \, \text{k}\Omega$.
- (ii) ► Monte o circuito abaixo. Usando excitação em **onda quadrada**, com $V_{pp} = 8 \, \text{V}$ (tensão de pico a pico) e $f = 1 \, \text{kHz}$, represente as formas de onda de $v_R(t)$, $v_C(t)$ e $(v_R + v_C)$ na mesma tela do osciloscópio, e salve.



- (iii) ► Como ficariam as curvas observadas para um circuito com uma capacitância maior e menor? Levante as curvas correspondentes.
- (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

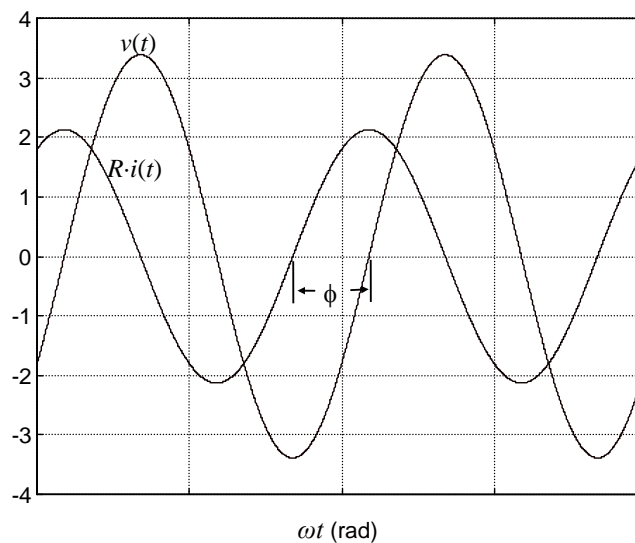
Quando o circuito é alimentado por excitação senoidal a defasagem entre o sinal de tensão e o de corrente é dada pelo ângulo da impedância do circuito em regime permanente (solução fasorial).

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:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1}{R\omega C}\right)$$

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

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



Ensaio e Questões:

- (v) ► Considere um **sinial senoidal de 1 kHz**. Ajuste o osciloscópio para que o canal 2 meça a tensão na fonte e o canal 1 meça a corrente no circuito. (Lembre-se da utilidade do resistor shunt.)
- (vi) ► Salve a figura e meça a defasagem entre $v(t)$ e $i(t)$ observada no osciloscópio. *Dica: use os cursores de tela.* 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?

Proposição II.6

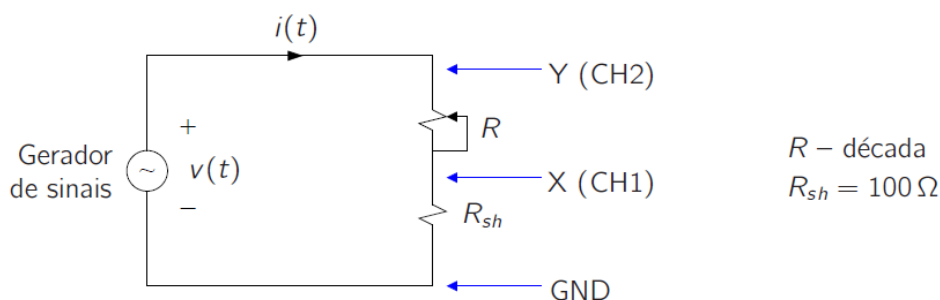
CARACTERÍSTICA $v(t) - i(t)$ DE RESISTOR LINEAR E NÃO LINEAR

Objetivo: Observar a relação $v(t)-i(t)$ de bipolos através do osciloscópio e verificar o efeito da temperatura sobre a resistência.

Em geral os resistores não são lineares, devido à influência da temperatura, e a sua resistência varia com o calor gerado por efeito Joule ($R \cdot i^2$). Normalmente a resistividade do condutor aumenta com a temperatura, porém existem materiais com característica negativa (NTC – *Negative Temperature Coefficient*), muito usados como elementos de compensação térmica em circuitos eletrônicos (termistores).

Curva $v-i$ para Resistor Linear:

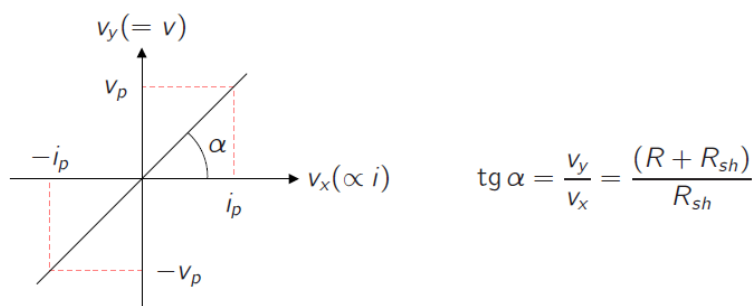
O elemento shunt R_{sh} no circuito abaixo deve ser um resistor linear calibrado, de valor bem menor que o do resistor R que está sendo ensaiado, para que a corrente da associação não seja alterada significativamente.



Para obter a característica $v-i$ da resistência vista pela fonte no osciloscópio, podemos utilizar como entrada vertical (CH2) o sinal da tensão senoidal aplicada pelo gerador de sinais, v_y , e como entrada horizontal (CH1) um sinal proporcional à corrente no resistor, v_x . Dado que a magnitude da tensão na fonte é $v_y = (R + R_{sh}) \cdot i$, e que a tensão no resistor *shunt* é $v_x = R_{sh} \cdot i$, temos que:

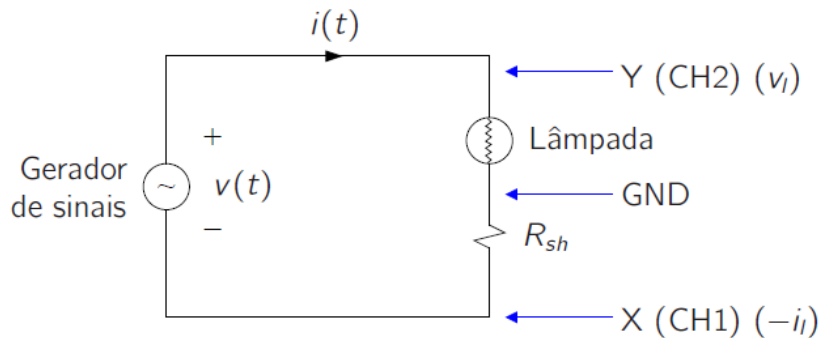
$$v_y = v = \frac{(R + R_{sh})}{R_{sh}} \cdot v_x$$

que, graficamente, corresponde a uma reta passando pela origem e cuja inclinação é proporcional à resistência do bipolo, conforme a figura abaixo.



Ensaio de Resistor Não Linear:

Uma lâmpada de filamento de tungstênio opera em temperaturas de até 2.800 °C e apresenta uma significativa variação da resistência com a corrente. Vamos verificar a curva $[v-i]$ de uma lâmpada de filamento ($\sim 15 \Omega$, 5 V) diretamente no osciloscópio. Use um sinal senoidal com $V_{pp} = 8 \text{ V}$ (tensão de pico a pico) e $f = 1 \text{ Hz}$ para observar a característica não-linear. Utilize um resistor *shunt* com $R_{sh} = 10 \Omega$. **Nos experimentos, tenha cuidado para não ultrapassar a tensão nominal da lâmpada.**



Questões:

- (i) ► Salve a característica $[v-i]$ da lâmpada para $f = 1 \text{ Hz}$ e $f = 60 \text{ Hz}$ indicando as escalas. Explique porque essa característica muda com a frequência. (**Observação:** inverter o sinal visto no canal 1, pois este está medindo $-i_l$.)
- (ii) ► Observe a frequência a partir da qual o efeito de cintilação luminosa (efeito *flicker*) deixa de ser percebido. Dê duas razões para a redução desse efeito.
- (iii) ► Varie lentamente a amplitude da tensão e observe a inclinação da curva $[v-i]$. Há variação? Justifique.
- (iv) *Esboce* os gráficos $[v-i]$ abaixo, em que a lâmpada será trocada por resistores lineares:
 - Resistor de 900Ω , entrada com $V_p = 4 \text{ V}$, $f = 10 \text{ Hz}$.
 - Resistor de 900Ω , entrada com $V_p = 1 \text{ V}$, $f = 10 \text{ Hz}$.
 - Resistor de 900Ω , entrada com $V_p = 4 \text{ V}$, $f = 500 \text{ Hz}$.
 - Resistor de 300Ω , entrada com $V_p = 4 \text{ V}$, $f = 10 \text{ Hz}$.