

## Prática 4: Osciloscópio e Corrente Alternada

### Objetivos

O osciloscópio é um instrumento que permite observar como uma determinada tensão  $V(t)$  varia no tempo. Na sua aplicação mais comum ele mostra um gráfico de  $V(t)$  versus  $t$  (tempo). O objetivo desta prática é introduzir o aluno no uso deste instrumento assim como noções de corrente alternada. Como instrumento com muitos recursos, seu manuseio requer um pouco de prática, mesmo sendo o osciloscópio usado neste curso um modelo bastante simples. Inicialmente, faremos alguns experimentos simples para ilustrar o uso do osciloscópio e o gerador de funções com medidas de período, tensão de pico, tensão rms, etc. Em seguida, vamos refazer o experimento de carga e descarga de capacitores (circuito RC) mas agora com tempos muito mais curtos que na prática anterior, ou seja,  $RC \sim \text{mseg}$ . Outra aplicação será mostrar como podemos transformar tensão alternada em tensão contínua (DC, do inglês *direct current*). Vocês vão aprender como construir uma fonte de corrente contínua usando um transformador, um capacitor e um diodo.

### Introdução

#### Osciloscópio

Para observar o comportamento de correntes alternadas comumente utiliza-se um osciloscópio. Este equipamento utiliza um tubo de raios catódicos (TRC) cuja função é produzir um feixe de elétrons, que pode ser desviado horizontal e verticalmente, mediante um sistema de deflexão (vide Figura 01, abaixo). A posição final do feixe é visualizada em uma tela fosforescente instalada na extremidade oposta ao canhão de elétrons do TRC.

Entre o canhão de elétrons e a tela fosforescente encontram-se situadas as placas de deflexão. Estas placas estão dispostas de tal forma que os campos elétricos que elas criam são perpendiculares entre si. Sob a influência destes campos elétricos, o feixe de elétrons se desvia em direção à placa que apresenta o potencial mais alto.

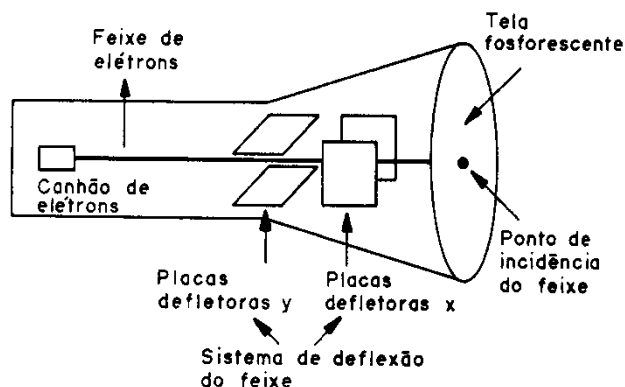
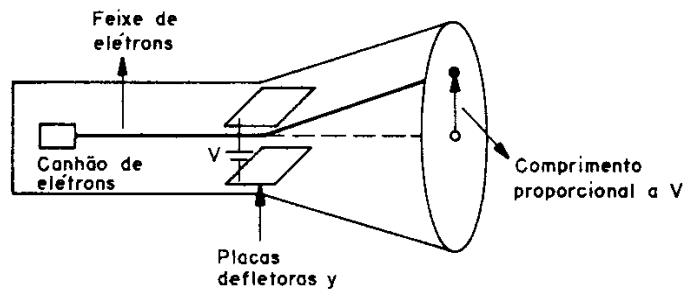


Figura 01 -  
Tubo de raios  
catódicos  
(TRC).

O campo elétrico das placas defletoras  $y$  é produzido pela aplicação da tensão elétrica que desejamos medir. Desta forma, o feixe de elétrons terá um deslocamento ao

longo do eixo  $y$  que é proporcional à tensão aplicada. Logo, com uma calibração prévia, a medida da tensão será dada pelo deslocamento do feixe com relação à posição original em uma escala milimétrica desenhada na tela fosforescente (Figura 02, abaixo).

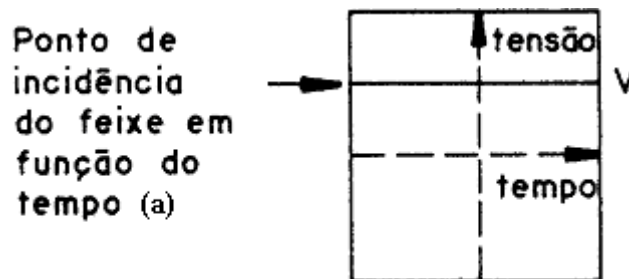
Durante o funcionamento normal do osciloscópio, a tensão elétrica que produz a deflexão horizontal é gerada internamente no instrumento, de forma que se obtém uma varredura da posição do feixe, na tela fosforescente, da esquerda para a direita, e com velocidade conhecida (base de tempo). Estando o sistema de deflexão do feixe funcionando com varreduras horizontal e vertical, podemos determinar como evolui a tensão elétrica medida em função do tempo. Maiores detalhes sobre o funcionamento do osciloscópio serão dados no decorrer do curso.



*Figura 02 - Medida de tensão elétrica com o TRC.*

*Figura 02*

Apenas para exemplificar o que ocorreria durante a medida de uma tensão elétrica contínua, ou seja, uma tensão constante no tempo, a tela do osciloscópio apresentaria o sinal mostrado na Figura 03.



*Figura 03*

### **Figura 03 - Tela do osciloscópio durante a medida de uma tensão elétrica contínua.**

Até o momento, temos trabalhado com fontes de tensões contínuas, que fornecem uma tensão constante. Nos circuitos de corrente alternada usaremos fontes de tensão alternada que forcem tensão da seguinte forma:

$$V(t) = V_0 \text{sen}(2\pi ft) = V_0 \text{sen}(\omega t) \quad (1)$$

onde  $V_0$  é chamada amplitude (também conhecida como de tensão de pico),  $f$  é a frequência ( usualmente expressa em ciclos por segundo, ou **Hertz**). O período da

oscilação é dado por  $T=1/f = 2\pi/\omega$ , e  $\omega = 2\pi f$  é denominada de freqüência angular (usualmente expressa em unidades de **rad/seg**).

Quando fazemos medidas de corrente ou tensão alternada utilizando um voltímetro, o resultado da leitura será o valor médio do quadrado  $\overline{V(t)^2}$ . Muitas vezes usa-se a notação  $V_{rms}$  do inglês: *root mean square* ou **rms**.

$$V_{rms} = \sqrt{\langle V(t)^2 \rangle} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T V(t)^2 dt} \quad (2)$$

A partir da equação (2) é fácil mostrar que para  $V(t)$  dado pela Eq.(1) temos:

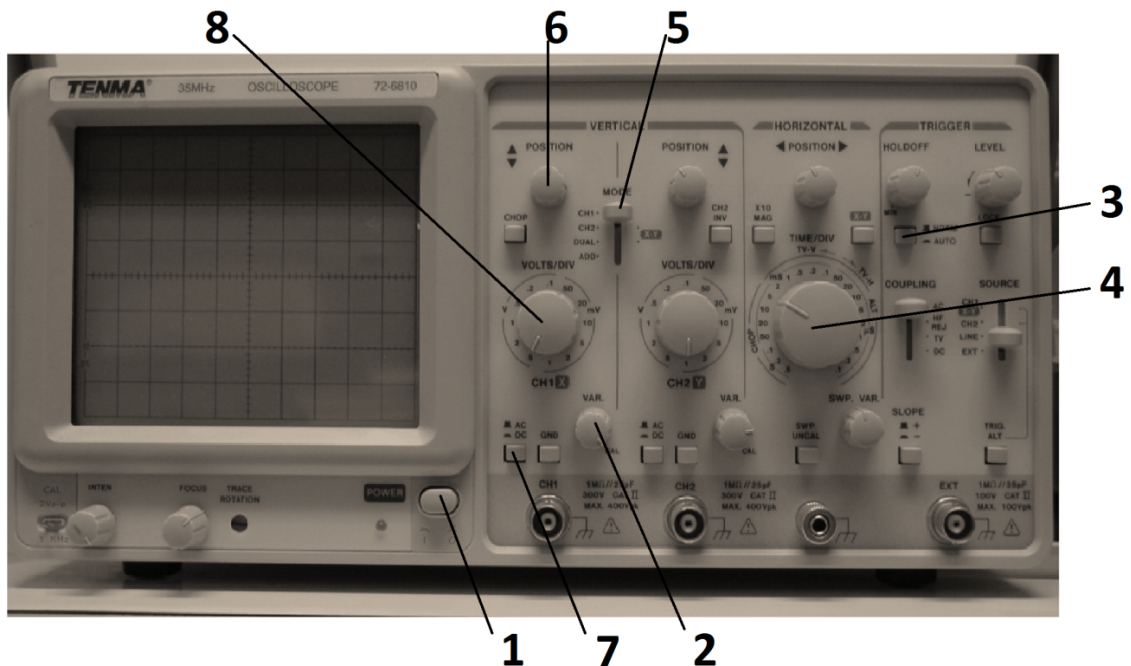
$$V_{rms} = \frac{V_o}{\sqrt{2}} \sim 0,707V_o \quad (3)$$

Analogamente, podemos ter uma corrente alternada expressa por:  $I(t) = I_0 \sin(\omega t)$ . Neste caso,  $I_0$  representa a corrente de pico e  $I_{rms} \sim 0,707I_0$ .

## **Experimentos**

### **I. Introdução ao uso do Osciloscópio**

Neste curso usaremos um osciloscópio **Tenma 72-6810** de dois feixes (Figura 4) que permite observar simultaneamente duas tensões,  $V_1(t)$  e  $V_2(t)$ , com sensibilidade máxima de 1 mV/DIV e taxa de varredura máxima de 10nseg/DIV.



*Figura 04 - Osciloscópio Tenma 72-6810 de duplo canal utilizado no Laboratório.*

Como instrumento versátil, seu manuseio requer um pouco de preparação, mesmo sendo o nosso osciloscópio um modelo bastante simples. O painel frontal do osciloscópio tem ~42 chaves ou botões mas nesta prática usaremos apenas os mais

importantes. As atividades a seguir visam introduzir o aluno ao uso deste instrumento, paulatinamente. Certamente surgirão dúvidas no uso do osciloscópio que deverão ser sanadas com o auxílio de um instrutor (professor, técnico ou monitor).

### A. Varredura temporal

Ligue o osciloscópio no botão power **(1)**

Gire o botão CAL, no sentido horário, até o final **(2)**

Ajuste o osciloscópio com:

TRIGGER: AUTO **(3)**

HORIZONTAL: 0.5 seg. (0.5 seg./divisão de ~1cm), gire o botão no sentido anti-horário até final **(4)**.

VERTICAL: MODE CH1 **(5)**

DC (acoplamento) **(7)**

Ajuste o botão position **(6)** a posição do feixe para o centro da tela

- i) Observem o feixe percorrendo uma reta aproximadamente horizontal (da esquerda para a direita).
- ii) Como varia a velocidade do feixe quando você passa de 0.5S a 0.2S, ou seja, a velocidade aumenta diminui?

### B. Medindo a tensão de uma pilha

A pilha é um exemplo de tensão contínua (constante no tempo) também chamada tensão DC (do inglês, *direct current*)

- i) conectem um cabo coaxial BNC ao canal 1 (CH1) do osciloscópio. coloque os dois terminais banana do cabo em curto circuito.
- ii) Ajustem o botão da escala y ao valor adequado (VOLTS/DIV) (use o botão 8).
- iii) ajustem a posição vertical do feixe para o centro da tela do osciloscópio (use o botão 6)
- iv) meçam a tensão de uma pilha, colocando o conector banana vermelho no terminal (+) da pilha e o conector banana preto no terminal (-). Ajuste o botão (8) para medir a tensão da pilha. Qual o valor da tensão da pilha?
- v) repitam o experimento invertendo a posição dos termais banana, ou seja, colocando a banana vermelha no terminal (-) da pilha e a banana preta no terminal (+).
- vi) meça a tensão da pilha usando um voltímetro e compare o valor anterior.

### C. Circuito DC simples

A Figura ao lado um circuito com um fonte DC ( $V_0 = 10V$ ) em série com dois resistores ( $R_1$  e  $R_2$ ) e um voltímetro medindo a tensão em  $R_2$ .

Utilizando um osciloscópio, meça as tensões  $V_0 = V_{13}$ ,  $V_{R1} = V_{12}$  e  $V_{R2} = V_{23}$  (na fonte, em  $R_1$  e  $R_2$ , respectivamente).

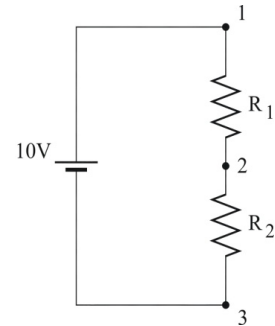


Figura 05

### Corrente alternada

Quando trabalhamos com uma tensão alternada do tipo  $V(t) = V_0 \sin(\omega t)$ , a tela do osciloscópio nos apresenta um sinal como na Figura a direita. Neste caso, podemos determinar a amplitude máxima (também chamada de tensão de pico),  $V_0$ , e o período de oscilação,  $T = 2\pi/\omega$ , desta tensão periódica. Note que a frequência é dada por  $f = 1/T$  (usualmente expressa em unidades de  $\text{seg}^{-1}$  ou **Hertz**) sendo  $\omega = 2\pi/T$  denominada de frequência angular (usualmente expressa em unidades de **rad/seg**).

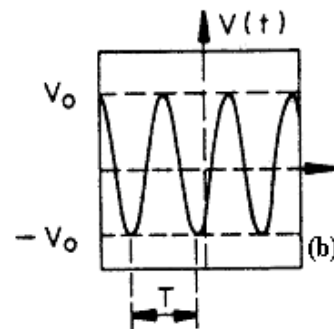


Figura 06

Tela do osciloscópio durante a medida de uma tensão alternada.

### Transformador



Figura 07

O transformador é um dispositivo constituído de duas bobinas. Normalmente ele é utilizado em circuitos de CA produzindo um sinal de saída proporcional ao sinal de entrada,  $V_{\text{out}}(t) = \alpha \cdot V_{\text{in}}(t)$ , onde  $\alpha$  é uma constante que depende da configuração das bobinas. Em muitas aplicações os transformadores são usados para elevar (caso  $\alpha > 1$ ) ou abaixar a tensão (caso  $\alpha < 1$ ). Nesta prática utilizaremos um transformador que abaixa a tensão de 110 ou 220V para 6,3 ou 12,6 ou ... (dependendo da configuração).

**Obs:** Na prática 5, estudaremos o funcionamento deste tipo de dispositivo (gerador de CA e transformador) pois eles são baseados na Lei de Indução Eletromagnética.

### D. Experimentos usando o transformador

- i) Calculem o período,  $T$  (em unidades de milissegundo ou ms) de um sinal senoidal com frequência  $f = 60 \text{ Hz}$ .

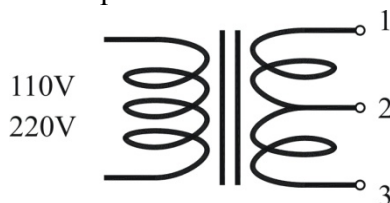


Figura 08

- ii) Usando o osciloscópio, meçam as tensões a tensão  $V_{13}$  e a tensão  $V_{23}$  do um transformador (com entrada em 220V). Neste caso temos uma fonte de tensão alternada (*alternate current* ou AC) e portanto é preciso ajustar também a base de tempo (varredura temporal) adequadamente, ou seja, a tela deve mostrar 2 ou 3 períodos do sinal senoidal.  
Obs: se não conseguir obter uma imagem fixa no osciloscópio, peça auxílio a um instrutor.
- iii) Usando o osciloscópio, meçam o valor de T e calculem f e  $\omega$  nas unidades apropriadas.
- iv) Observem o sinal no osciloscópio determinem o valor da tensão de pico  $V_o$ . Usando a Eq.(3),  $V_{rms} \sim 0,71.V_o$ , calculem o valor de  $V_{rms}$ .
- v) Quando trabalhamos com sinais senoidais utiliza-se o multímetro digital na função  $V_{AC}$ . Meçam a tensão usando um voltímetro. O que representa o valor obtido  $V_o$ ,  $V_{rms}$ ,  $\langle V(t) \rangle$ ? Justifique sua resposta comparando quantitativamente os valores obtidos com o osciloscópio e o voltímetro.
- vi) Meçam novamente os valores de  $V_{13}$  e  $V_{23}$  com entrada em 110V.

### E. Circuito AC simples.

- i) Repitam o experimento C trocando a fonte DC pelo transformador.

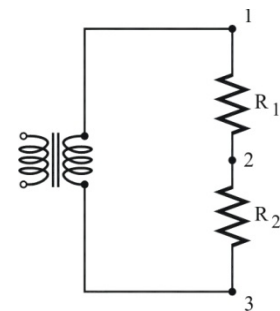


Figura 09

- ii) Meçam agora os valores de  $V_o$ ,  $V_{R1}$  e  $V_{R2}$  usando o voltímetro digital (modo AC) e confirmem a resposta da questão anterior.

### F. Utilizando o Gerador de Funções

Gerador de funções (ou gerador de sinais) é um aparelho eletrônico utilizado para gerar sinais elétricos de formas de onda, frequências e amplitude (tensão) diversas. São muito utilizados em laboratórios de eletrônica como fonte de sinal para teste de diversos aparelhos e equipamentos eletrônicos.

Neste curso usaremos o gerador de Instrutherm (GA-100) cuja frequência pode ser ajustada no intervalo de 1-  $10^6$  Hz, com formas de onda senoidal ou quadrada.

- i) Observem o sinal de saída do gerador de funções no osciloscópio. Coloquem a frequência do gerador em  $\sim 1$ KHz e observem o sinal de uma onda quadrada e uma onda senoidal.

**CUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao borne de saída (OUTPUT) preto do gerador (idem para o terminal vermelho). Caso contrário, pode ser dado um curto-circuito na saída do gerador.

## II. Circuito RC

- i) Calcular a constante de tempo  $\tau = RC$ , com  $R = 10^3 \Omega$  e  $C = 10^{-7} F$

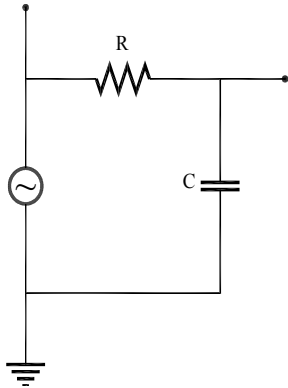


Figura 10

(a)

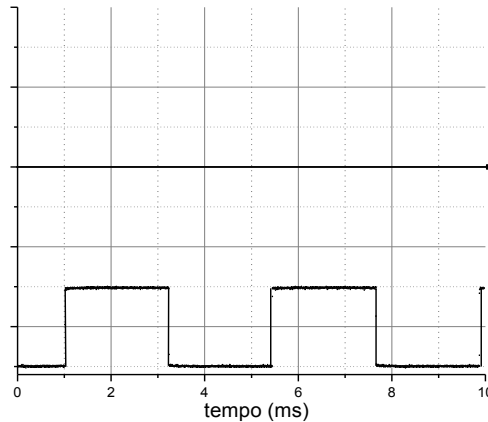


Figura 11

(b)

- ii) Considere o gerador de onda quadrada ligado a um circuito RC, tal como ilustrado acima. Preveja como será o sinal  $V_C(t)$  observado no osciloscópio. Para isto, esboce  $V_C(t) = V_{21}(t)$  na Figura acima (parte b) considerando o sinal de onda quadrada graficado acima (ou seja, os dois gráficos devem ser coerentes).

Dica: lembre-se do comportamento de  $V_C(t)$  observado na Prática 3.

- iii) Montem o circuito usando  $R_s = 47 \Omega$ ,  $R_1 = 1 k\Omega$ , e  $C = 100 \text{ nF}$  ( $10^{-7} F$ ) tal como indicado na Figura acima (parte a).

**CAUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2). Qual deve ser a frequência adequada para observar bem o sinal transiente do circuito?

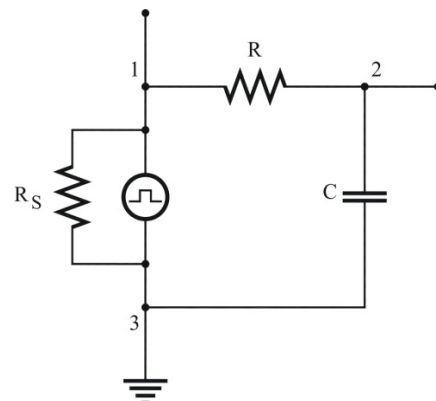


Figura 12

Obs: na Prática 2 vimos que nem sempre as fontes de tensão são ideais, ou seja, mantém a tensão constante. Isto ocorre quando a resistência interna da fonte não é muito pequena quando comparada a resistência equivalente do circuito. Um efeito similar acontece com o gerador de sinais. No circuito acima o resistor  $R_s$  é colocado para diminuir a resistência interna do gerador fazendo que ele forneça um sinal,  $V_{13}(t)$ , de onda quadrada próximo do ideal.

Esbocem a forma de onda observada de  $V_C(t) = V_{23}(t)$ . Está de acordo com o previsto? Expliquem.

- iv) Meçam o tempo necessário para a tensão  $V_C(t)$  cair à metade do seu valor,  $t_{1/2}$ .  
Obs: esta medida não é muito precisa, pois o valor deve ser obtido a partir da tela do osciloscópio.

- v) Calculem o valor da constante de tempo usando a expressão:  $\tau_{\text{exp}} = 1,44 \cdot t_{1/2}$ . Comparem o valor experimental  $\tau_{\text{exp}}$  com o valor esperado partir dos valores nominais de  $\tau_{\text{cal}} = RC$ .  
 Obs: o procedimento para obter  $\tau_{\text{exp}}$  é similar ao usado na Prática 3.  
 - outra maneira comum de medir  $\tau_{\text{exp}}$  é determinar  $t_{1/3}$  e usar a expressão  $\tau_{\text{exp}} = 1,10 \cdot t_{1/3}$ .

O circuito da Figura anterior foi montado com o capacitor ligado à terra para que pudéssemos observar o sinal  $V_C(t)$ . Para observar o sinal no resistor,  $V_R(t)$ , que é proporcional a corrente ( $V = RI$ ) devemos ligar o resistor à terra. O circuito deve ser montado tal como ilustrado abaixo, onde  $V_R(t) = V_{23}(t)$  tal como mostrado na Figura 14, abaixo.

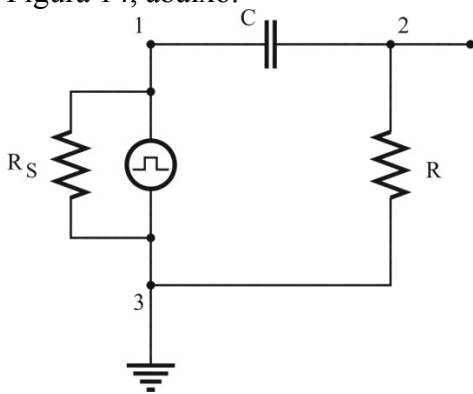


Figura 13  
(a)

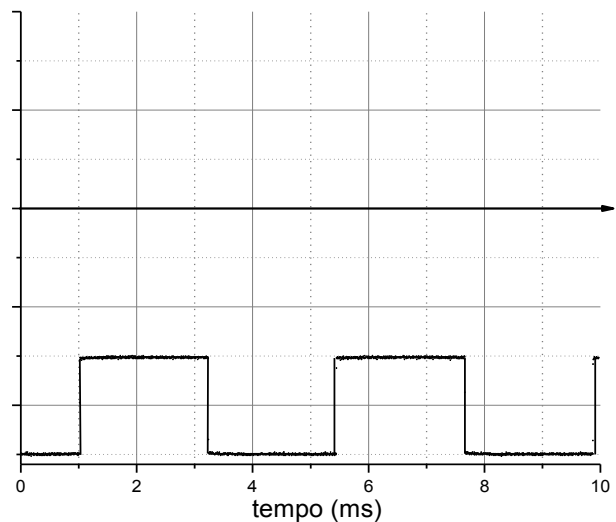


Figura 14  
(b)

- vi) Prevejam agora a forma de onda observada no resistor no circuito ao lado,  $V_R(t)$ , e esbocem o sinal previsto na Figura acima (similar ao feito no item ii).
- vii) Montem o circuito e esboquem o sinal  $V_R(t)$  observado. Está de acordo com o previsto? Expliquem.  
**CAUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).
- viii) Meçam o valor e o tempo de decaimento,  $t_{1/2}$ . Comparem este valor obtido através da medida de  $V_R(t)$  com o obtido através da medida de  $V_C(t)$ .
- ix) Repitam todo o procedimento para outros valores de R e C.

### III. O Diodo em CA

Uma das principais utilidades do diodo é retificar uma voltagem alternada produzindo voltagem contínua. Um exemplo de aplicação deste circuito são as fontes de alimentação DC de vários equipamentos eletrônicos (por exemplo, um *lap top*). Neste experimento vamos montar uma fonte simples.



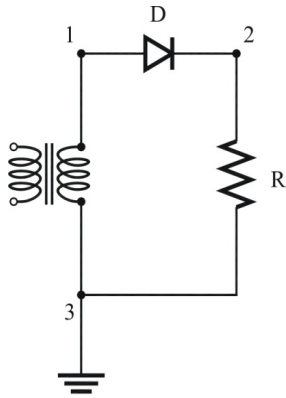


Figura 15  
(a)

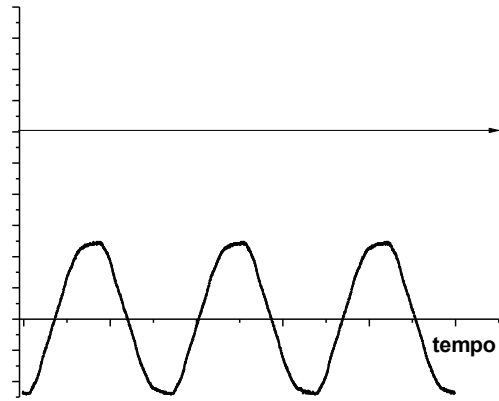


Figura 16  
(b)

- i) Dada a tensão senoidal ilustrada na Fig.b acima,  $V(t) = V_o \cdot \text{sen}(\omega t)$ , esbocem acima o sinal previsto para a forma de onda no resistor,  $V_R(t)$ .
- ii) Montem o circuito usando o transformador e  $R=1k\Omega$ . Observem a forma de onda,  $V_R(t)=V_{23}(t)$ .  
**CUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).
- iii) O sinal observado está de acordo com o previsto é previsto? Justifiquem.

#### IV. O Diodo como retificador

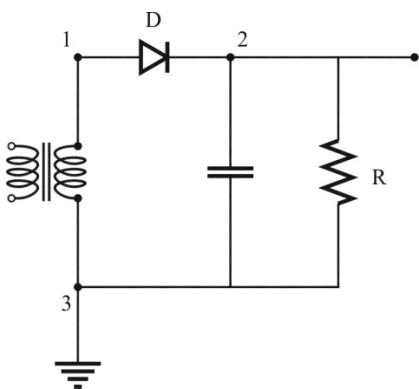


Figura 17  
(a)

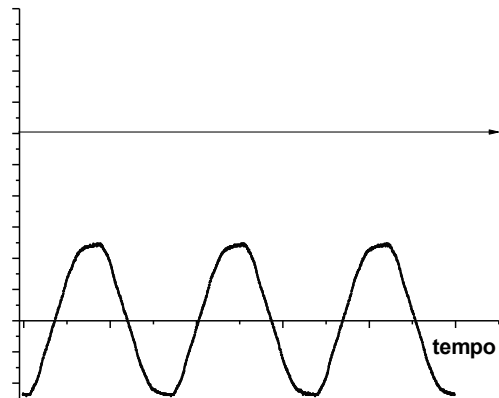


Figura 18  
(b)

- i) Considerem agora o caso em que um capacitor, de capacitância  $C$ , é colocado em paralelo ao resistor  $R$  (vide acima). Esbocem acima o sinal,  $V_R(t)=V_{23}$ , previsto.  
Dica: nesta previsão é importante levar em consideração o tempo de resposta,  $\tau$ , do circuito  $RC$  e o período do sinal de entrada  $T=1/f$  (com  $f \sim 60\text{Hz}$ ). O sinal observado deve ser analisado nos casos  $\tau \ll T$ ,  $\tau \sim T$  e  $\tau \gg T$ .
- ii) Montem o circuito, usando  $R = 1k\Omega$  e  $C=100\mu\text{F}$ , e registrem (esbocem) a forma de onda,  $V_R(t)$ .  
**CUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra.

O sinal observado está de acordo com o previsto é previsto? Justifiquem

iii) Troquem os valores de R de tal forma a observar os casos  $\tau \ll T$ ,  $\tau \sim T$  e  $\tau \gg T$ .

iv) Discussão: os resultados observados estão de acordo com as previsões? Expliquem sucintamente.

Vocês devem ter observado que a fonte construída produz uma tensão  $V(t)$  aproximadamente contínua (constante no tempo) mas com algumas ondulações, ou **ripple**. Ou seja, normalmente a tensão obtida fica dada por:

$$V(t) \sim V_o + v(t)$$

onde a parte que varia no tempo,  $v(t)$ , tem amplitude máxima  $V_r$ . Logo se  $V_r \ll V_o$  a fonte se aproxima do caso ideal. Por exemplo, se  $V_o=10V$  e  $V_r=0,1V$  ( $V_r$  é o valor de pico da tensão  $v(t)$ ), ao observar o sinal no osciloscópio o efeito do *ripple* é praticamente imperceptível. Entretanto, em algumas aplicações é preciso conhecer o ripple e para isto é interessante introduzir um fator de mérito da fonte (ou seja, um número usado para comparações). Em percentual, ele é definido por:

$$r = \frac{V_r}{V_o} \cdot 100\%$$

Para medir  $r$ , é interessante retirar a parte constante do sinal ( $V_o$ ) para poder a parte AC com mais detalhe. Isto pode ser feito através do acoplamento AC explicado a seguir. No exemplo mencionado acima,  $V_o=10V$  e  $V_r=0,1V$ , temos  $r = 1\%$ .

Acoplamento AC e DC do osciloscópio (botão 7 da Fig.4)

No acoplamento AC filtra-se (“retira-se”) a parte DC do sinal, ou seja,  $V_o$  no exemplo acima. Então pode-se aumentar a amplificação, ou seja, mudar a escala, por exemplo de 10V/DIV para 100 mV/DIV, para ver o sinal de *ripple* mais detalhadamente.

- v) usar o acoplamento AC para observar o sinal de ripple,  $v(t)$ , com diversos valores de R. Anotem o valor de  $V_r$  em cada caso determinem o fator de *ripple* da fonte,  $r$ .
- vi) Concluindo: qual(is) fatores determinam o valor de  $V_r$  em dois casos do circuito retificador (dois valores diferentes de R e C. Porque?

## **Lista de materiais para esta prática.**

Osciloscópio

Transformador (com entrada 220/12V)

Gerador de funções

Diodo

Capacitor (100nF)

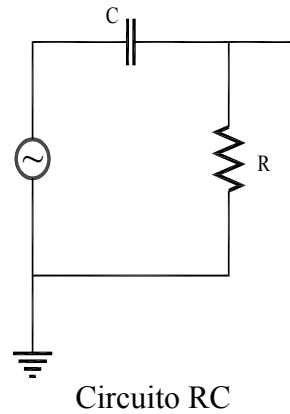
4 Resistores (sendo que um deles deve ser de  $1k\Omega$  e um segundo deverá ser de  $47\Omega$ )

Fios condutores

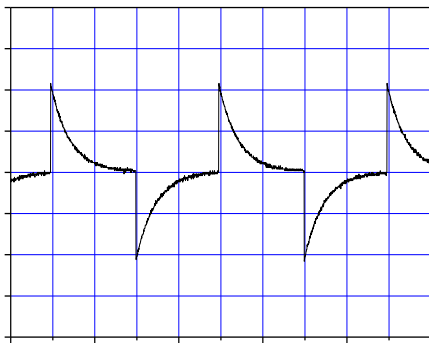
Placa de circuitos

## Exercícios

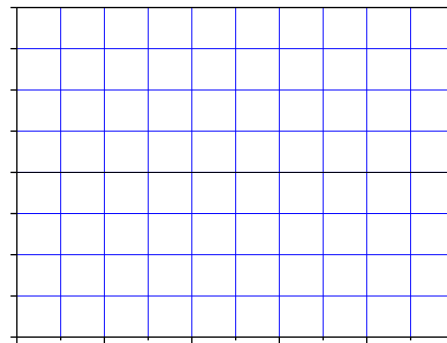
- 1.) a) A Figura à direita ilustra um circuito RC ligado a um gerador de onda quadrada, e o gráfico abaixo apresenta a tensão no resistor  $R$  [ $V_R(t)$ ] – conforme observada em um osciloscópio.



A partir do sinal de  $V_R(t)$ , esboce no espaço reservado, o gráfico de  $V_C(t)$  correspondente, i.e., observado no osciloscópio com as mesmas escalas no eixo x (seg/div) e y (Volt/div.).



$V_R(t)$



$V_R(t)$

- b) As Figuras a seguir representam um circuito retificador (diodo+capacitor+resistor) e o sinal correspondente quando o circuito é alimentado por um sinal senoidal. Faça um esboço do sinal deste circuito retificador (mantendo as mesmas escalas x e y) caso o valor de  $R$  seja:

- (i) 10 vezes menor
- (ii) 10 vezes maior.

Justifique seus esboços.

