

# Prática 4: Osciloscópio e Corrente Alternada

## Objetivos

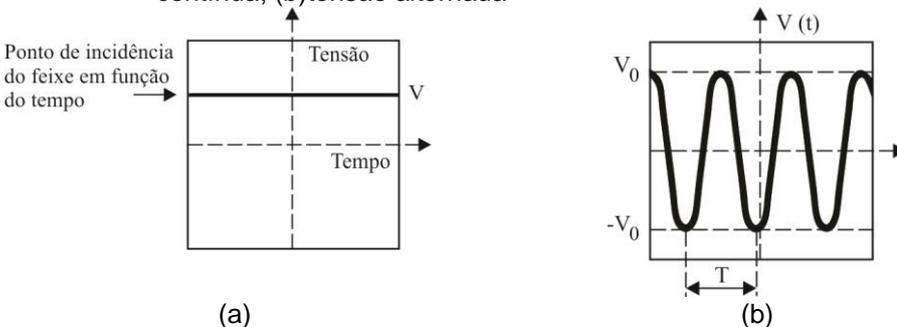
O osciloscópio é um instrumento que permite observar como uma determinada tensão  $V(t)$  varia no tempo. Na sua aplicação mais comum ele mostra um gráfico de  $V(t)$  versus  $t$  (tempo). O objetivo desta prática é introduzir o aluno no uso deste instrumento assim como noções de corrente alternada. 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 básicos 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 ~ mseg**. Outra aplicação será mostrar como podemos transformar tensão alternada em tensão contínua (**CC - DC**, do inglês *directcurrent*). 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. 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 Fig.4.1.

Figura 4.1 - Tela do osciloscópio durante a medida de uma (a) tensão elétrica contínua; (b) tensão alternada



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 gerem tensão da seguinte forma:

$$V(t) = V_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) = V_0 \cdot \sin \omega \cdot t \quad (1)$$

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  $T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \cdot f^{-1}$  denominada de frequência angular (usualmente expressa em unidades de **rad/seg**).

Quando fazemos medidas de corrente ou tensão alternada utilizando um voltímetro, o resultado da leitura será a raiz do valor médio quadrático  $\sqrt{\langle V(t)^2 \rangle}$ . Muitas vezes usa-se a notação  $V_{rms}$  do inglês: root meansquare 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:

$$V_{rms} = \frac{V_0}{\sqrt{2}} \sim 0,707V_0 \quad (3)$$

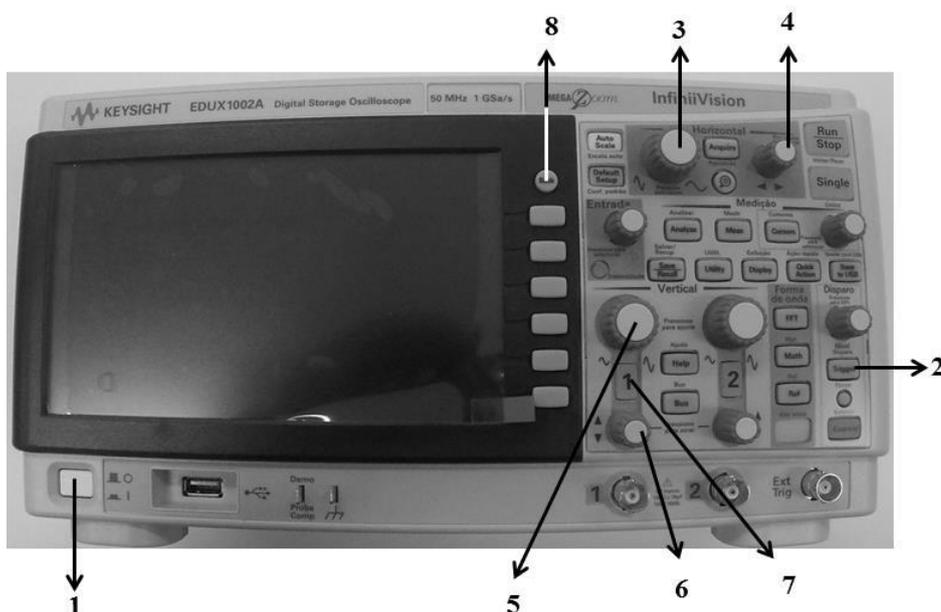
Analogamente, podemos ter uma corrente alternada expressa por:  $I(t) = I_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$  Neste caso,  $I_0$  representa a corrente de pico e  $I_{rms} \sim 0,707I_0$ .

## Experimentos

### I. Introdução ao uso do Osciloscópio

Neste curso usaremos um osciloscópio **KEYSIGHT EDUX1002A** de dois feixes (Fig. 4.2) que permite observar simultaneamente duas tensões,  $V_1(t)$  e  $V_2(t)$ , com sensibilidade máxima de **1mV/DIV** e taxa de varredura máxima de **10nseg/DIV**.

Figura 4.2 - Osciloscópio **KEYSIGHT EDUX1002A** de duplo canal utilizado no Laboratório. (1) Botão *power*; (2) botão do *trigger*; (3) seletor da escala horizontal; (4) ajuste horizontal x do feixe; (5) seletor da escala vertical; (6) ajuste vertical y do feixe; (7) seletor de canal (1); (8) retornar ao menu anterior.



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 ~45 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)

Ajuste o osciloscópio com:

TRIGGER: AUTO (2)

ACOPLAMENTO CC (corrente contínua ou DC (*directcurrent*))

HORIZONTAL: gire o botão (3) até obter 0.5seg. (0.5seg./divisão de ~1cm) e depois gire o botão 4 até obter 2,5s (valores observados acima da tela).

VERTICAL: MODE CH1 (7)

Pressione o botão ajuste vertical y do feixe (6) para a posição do feixe ir para o centro da tela

## Medindo a tensão de uma pilha

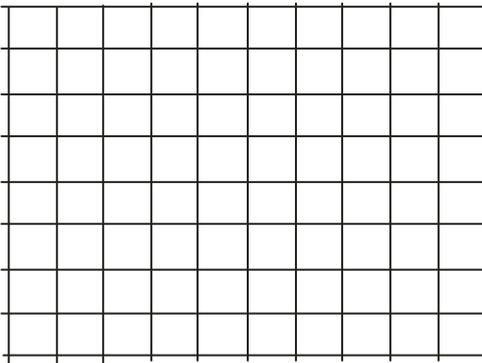
A pilha é um exemplo de tensão contínua (constante no tempo).

Sigam os seguintes passos:

- Conectem um cabo coaxial BNC ao canal 1 (**CH1**) do osciloscópio. Coloquem os dois terminais banana do cabo em curto circuito.
- Ajustem o botão da escala **y** (botão **5**) ao valor adequado (VOLTS/DIV). Note que este é o zero (terra).
- Ajustem a posição vertical do feixe (botão 6) para o centro da tela do osciloscópio.

**I.1 Experimento:** Meçam a tensão de uma pilha, colocando o conector banana vermelho no terminal (+) da pilha e o conector banana preto no terminal (-). Ajustem o botão (**5**) para medir a tensão da pilha. Qual o valor da tensão da pilha?

Registrem o sinal observado no quadro a seguir, o qual representa a tela do osciloscópio. Indiquem o sinal observado (a tensão da pilha), a tensão **V = 0** (terra), e as escalas **Y** (VOLTS/DIV) e **X** (SEC/DIV), usadas na medida.



**I.2** Repitam o experimento invertendo a posição dos terminais banana, ou seja, colocando a banana vermelha no terminal (-) da pilha e a banana preta no terminal (+).

## Corrente Alternada

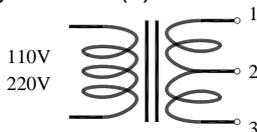
Quando trabalhamos com uma tensão alternada do tipo  $V(t) = V_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ , a tela do osciloscópio nos apresenta um sinal como na Fig.4.3(b). Neste caso, podemos determinar a amplitude máxima (também chamada de tensão de pico),  $V_0$ , e o período de oscilação desta tensão periódica é  $T = \frac{2\pi}{\omega}$

Notem que a frequência é dada por  $f = \frac{1}{T}$  (usualmente expressa em unidades de  $\text{seg}^{-1}$  ou Hertz), sendo  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  denominada de frequência angular (usualmente expressa em unidades de **rad/seg**).

## Transformador

O transformador é um dispositivo constituído de duas bobinas. Seu símbolo está mostrado na Figura 4.3. Normalmente ele é utilizado em circuitos de **CA (AC** – do inglês *Alternate Current*) 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.

Figura 4.3 – (a) Símbolo do transformador; (b) Transformador utilizado no experimento



(a)



(b)

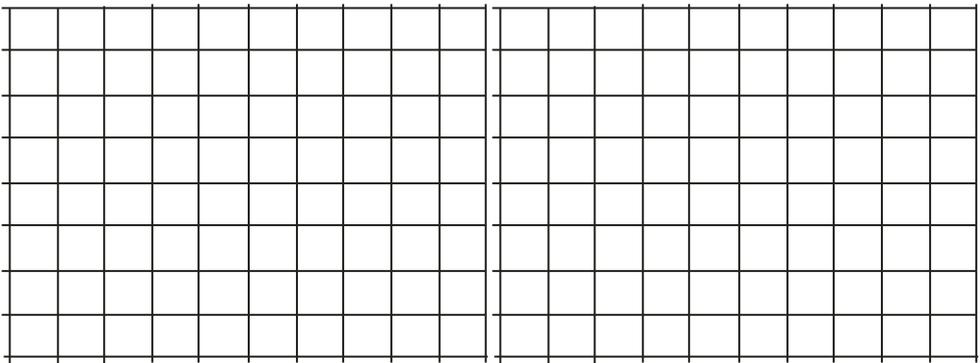
Em muitas aplicações os transformadores são usados para elevar (caso  $\alpha > 1$ ) ou abaixar a tensão (caso  $\alpha < 1$ ). Nesta prática utilizaremos um transformador que abaixa a tensão de **110** ou **220V** para **6,3** ou **12,6V** ou ... (dependendo da configuração).

**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.

**Experimentos usando o transformador**

**I.3** Conecte o osciloscópio ao transformador (com entrada em **110V**) (Fig.4.3(b)). Utilizem os quadriculados para reproduzirem as tensões  $V_{13}$  e a  $V_{23}$ , em escala. Neste caso temos uma fonte de tensão alternada (*alternatecurrent* ou **CA**) 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 conseguirem obter uma imagem fixa no osciloscópio, peçam auxílio a um instrutor.



**I.4** Calculem o período, **T**, (em unidades de milissegundo ou ms) de um sinal senoidal com frequência **f=60Hz**.

**I.5** Usando o osciloscópio, meçam o valor de **T** e calculem **f** e  $\omega$  nas unidades apropriadas.

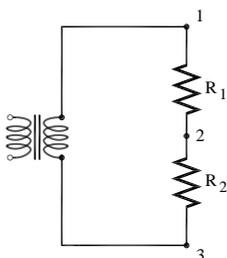
**I.6** Usando o sinal observado no osciloscópio, de uma das configurações ( $V_{13}$  ou  $V_{23}$ ) meçam a tensão de pico  $V_o$  calculem o valor de  $V_{rms}$ .  
Obs: pela Eq.(3),  $V_{rms} \sim 0,71V_o$ .

**I.7** Quando trabalhamos com tensão alternada (sinais senoidais) utilizamos o multímetro (*Minipa ET-2082A*) digital na função de voltímetro - modo corrente alternada (**CA**) ou *alternatecurrent* (**AC**). Meçam a tensão (da mesma configuração do item anterior) usando um voltímetro. Comparem este valor  $V_{rms}$  obtido no osciloscópio.

**Circuito simples de CA.**

**Experimento:** Montem o circuito (Fig.4.4) usando a saída  $V_{13}$  do transformador conectado em **110V**, com  $R_1=1K\Omega$  e  $R_2=470\Omega$

Figura 4.4 - Transformador ligado a duas resistências em série



**I.8** Meçam, usando o voltímetro digital (modo **CA**), os valores de  $V_{13}$ ,  $V_{R1}$  ( $V_{R1}=V_{12}$ ) e  $V_{R2}$  ( $V_{R2}=V_{23}$ ). Registrem estes valores.

**I.9** A lei das malhas de Kirchoff é válida neste circuito **CA**? Justifiquem a resposta.

## Utilizando o Gerador de Funções

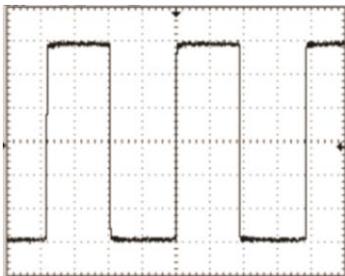
Gerador de funções (ou gerador de sinais) é um aparelho eletrônico utilizado para gerar sinais elétricos de formas de onda, **frequências** e **amplitudes**(tensão) diversas. São muito utilizados em laboratórios de eletrônica como fonte de sinal para teste de diversos aparelhos e equipamentos eletrônicos.

Neste curso usaremos o gerador de função *Politem* (FG-8102) (Fig.4.5) cuja frequência pode ser ajustada no intervalo entre 1 e  $10^6$  Hz, com formas de onda senoidal, triangular ou quadrada.

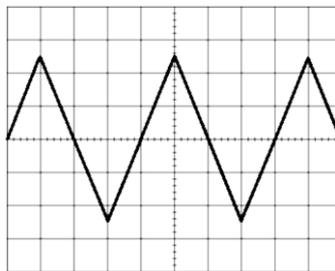
Figura 4.5 –(a) Gerador de Função *Politem* (FG-8102), (b) Onda quadrada fornecida pelo gerador; (c) Onda triangular fornecida pelo gerador, (d) Onda senoidal fornecida pelo gerador.



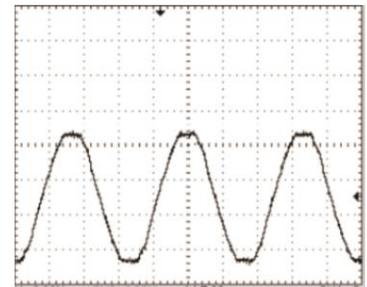
(a)



(b)

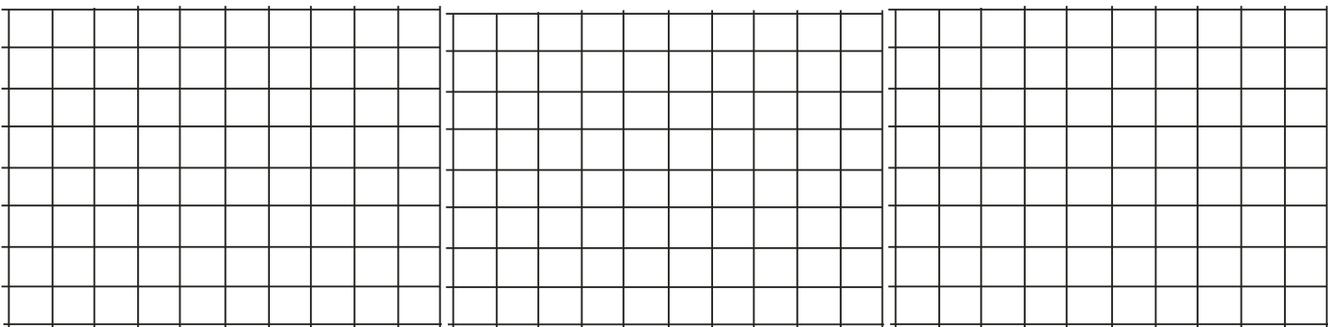


(c)



(d)

**I.10 Experimento:** Observem o sinal de saída (OUTPUT 50Ω) do gerador de funções no osciloscópio. Coloquem a frequência do gerador em **~1KHz** e observem o sinal de uma onda quadrada, uma onda triangular e o de uma onda senoidal. Registrem suas observações.



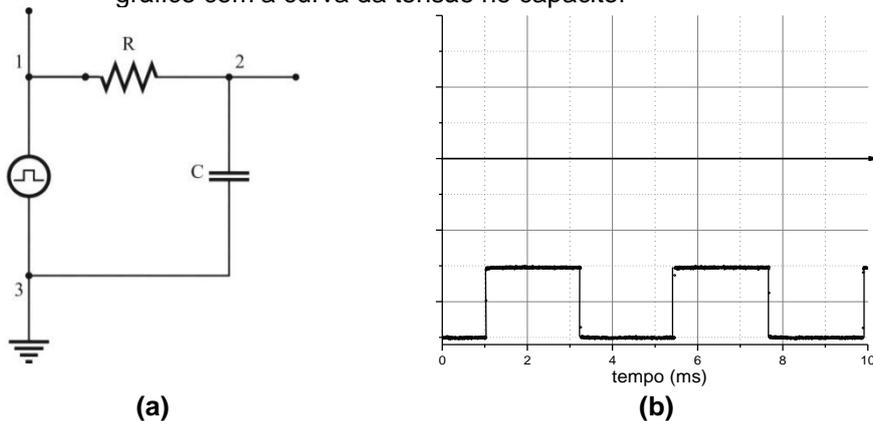
## II. Circuito RC

II.1 Calcular a constante de tempo  $\tau = RC$ , com  $R=1k\Omega$  e  $C=100nF$ .

Sugestão: Expresse seu resultado na unidade de  $\mu\text{seg}$  ( $1\text{micro-segundo} = 10^{-6} \text{ seg.}$ ).

**II.2 Previsões:** Considerem o gerador de onda quadrada ligado a um circuito **RC**, tal como ilustrado na Fig.4.6(a). Como será o sinal  $V_C(t)$  observado no osciloscópio? Para isto, esbocem  $V_C(t)$  na parte superior da Fig.4.6(b) considerando o sinal de onda quadrada mostrado na figura (ou seja, os dois gráficos devem ser coerentes). Registre também justificativas sucintas.

Figura 4.6 - a) Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito **RC**; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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

Mostrem o esboço a um instrutor antes de iniciarem o experimento

**II.3 Experimento:** Montem o circuito usando o gerador no modo de onda quadrada, com  $R=1k\Omega$  e  $C=100nF$ . Inicialmente observem apenas o sinal do gerador (sem o circuito), ou seja, observem  $V_{13}(t)$  com os pontos **a e b desconectados** (Fig.4.7) para vários valores de frequência do gerador, por exemplo: 100KHz, 10 KHz, 1 KHz, 100 Hz.

**CAUIDADO:** O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).

Figura 4.7 - Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito **RC**(a) com os pontos a-b desconectados (b) com os pontos a-b conectados por um fio



**Pontos a e b conectados por um fio**(Fig.4.7(b)): Notem que o sinal varia um pouco quando o circuito é ligado, ou seja, conectando os pontos a e b com um fio. O que está ocorrendo?

**II.4** Conectem os pontos a e b com um fio e observem o sinal da tensão no capacitor,  $V_C(t)=V_{23}(t)$ .

**Discutam:** A forma de onda está de acordo com o previsto? Qual deve ser aproximadamente a frequência adequada do gerador para se observar bem o sinal transiente do circuito? Expliquem.

**II.5** Observem agora a curva de decaimento da tensão do capacitor  $V_C(t)$ . 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 (incerteza ~ 10%), pois o valor deve ser obtido a partir da escala da tela do osciloscópio..

**Sugestão:** Expresse seu resultado na unidade de  $\mu\text{seg}$  (micro-segundos)

**II.6** Calculem o valor da constante de tempo usando a expressão:  $\tau_{\text{exp}} = 1,44 t_{1/2}$ .

*Sugestão: Expresse seu resultado na unidade de  $\mu\text{seg}$  (micro-segundos)*

**II.7** Outra maneira comum de medir  $\tau_{\text{exp}}$  é determinar  $t_{1/3}$ , o intervalo de tempo necessário para a tensão  $V_C(t)$  cair à  $1/3$  do seu valor inicial. Calculem o valor da constante de tempo usando a expressão:  $\tau_{\text{exp}} = 0,91 t_{1/3}$ . Comparem este valor de  $\tau_{\text{exp}}$  com o valor obtido no item **II.6**.

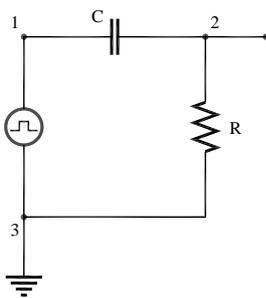
**Obs.:** Em princípio, estes valores deveriam ser iguais, mas não são idênticos devido às incertezas na sua determinação experimental. Neste caso, considere  $\tau_{\text{exp}}$  como o valor médio entre as duas medidas. A diferença entre os valores dá uma ideia da incerteza.

**II.8** Comparem o valor experimental  $\tau_{\text{exp}}$  com o valor esperado partir dos valores nominais de  $\tau_{\text{calc}} = RC$ .

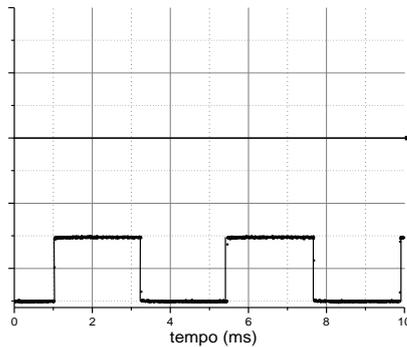
**II.9 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

O circuito da Fig.4.7 foi montado com o capacitor ligado ao terra para que pudéssemos observar o sinal  $V_C(t)$ . Para observar o sinal no resistor,  $V_R(t)$ , que é proporcional à corrente ( $V=R.I$ ), devemos ligar o resistor ao terra. O circuito deve ser montado tal como ilustrado na Fig.4.8(a), onde  $V_R(t) = V_{23}(t)$ . Esbocem o sinal previsto para  $V_R(t)$  na Fig.4.8(b) (similar ao feito no item **II.2**)

Figura 4.8 - (a) Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito **RC**; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no capacitor



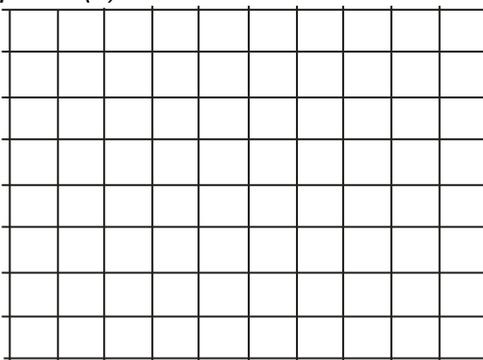
(a)



(b)

**II.10 Experimento:** Montem o circuito e esbocem 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).



**II.11** Meçam o valor e o tempo de decaimento ou  $t_{1/3}$ , e calculem  $\tau_{\text{exp}}$ . Comparem este valor obtido através da medida de  $V_R(t)$  com o obtido através da medida de  $V_C(t)$ , no item **II.9**.

**II.12** Repitam todo o procedimento para outros valores de **R** e **C**. (**optativo**)

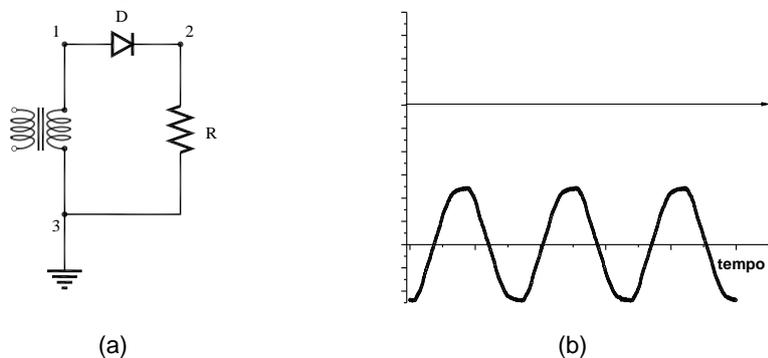
### III. O Diodo em AC

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 (celular, *laptop*, etc.). Neste experimento vamos montar uma fonte simples.

**III.1 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

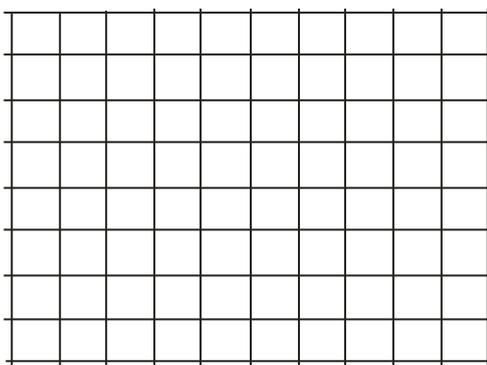
Dada a tensão senoidal ilustrada na Fig.4.9(a)  $V(t) = V_0 \cdot \sin(\omega \cdot t)$ , esbocem no espaço da Fig.4.9(b) o sinal previsto para a forma de onda no resistor,  $V_R(t)$ .

Figura 4.9 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



**III.2 Experimento:** Montem o circuito usando o transformador,  $R = 1k\Omega$  e um diodo. 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).

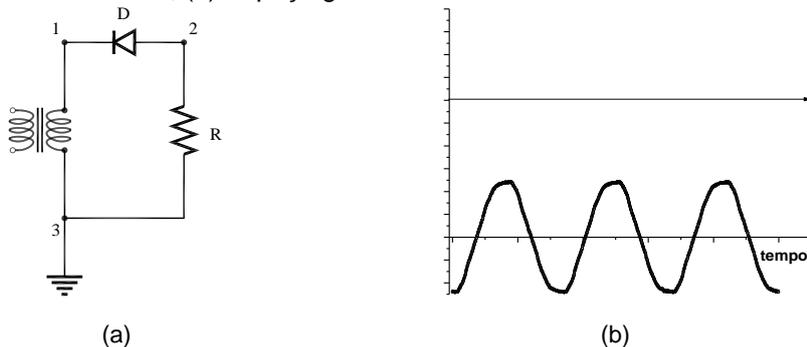


O sinal observado está de acordo com o previsto? Justifiquem.

**III.3 Previsões:** registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Considerem agora a situação ilustrada na Fig.4.10(a) onde o diodo foi invertido. Esbocem na parte superior da Fig.4.10(b) a forma de onda prevista para o resistor,  $V_R(t)$ , nesta situação.

Figura 4.10 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



**III.4 Experimento:** Montem o circuito e observem a forma de onda,  $V_R(t)=V_{23}(t)$ .

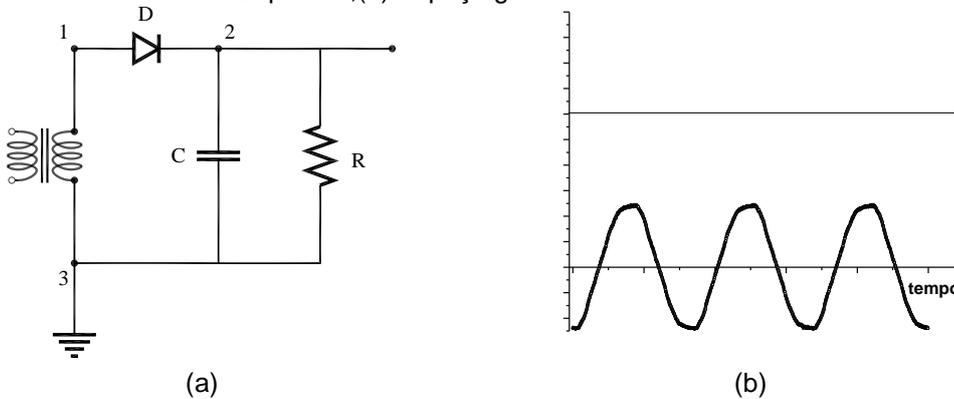
**CAUIDADO:** O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).

O sinal observado está de acordo com o previsto? Justifiquem

## IV. O Diodo como retificador

**Experimento:** Considerem agora o caso em que um capacitor, de capacitância  $C$ , é colocado em paralelo ao resistor  $R$  (Fig.4.11(a)), usando o transformador em **110V (0 – 3,8V)**.

Figura 4.11 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor paralelo a um Capacitor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



**IV.1** Montem o circuito, usando  $R=1k\Omega$  e  $C=100\mu F$ , e registrem (esbocem na Fig.4.11(b)) a forma de onda,  $V_R(t)$ , ou seja  $V_{23}$ . Registrem também como o sinal de  $V_R(t)$  muda quando o capacitor é retirado do circuito

**CAUIDADO:** o terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra.

**IV.2** Neste experimento é importante levar em consideração o tempo de resposta,  $\tau$ , do circuito  $RC$  e o período do sinal de entrada  $T = \frac{1}{f}$  (com  $f \sim 60Hz$ ,  $T=16,7 ms$ ).

Troquem os valores de  $R(47\Omega, 470\Omega, 47K\Omega)$  de tal forma a observar os casos  $\tau \ll T$ ,  $\tau \sim T$  e  $\tau \gg T$ . Registrem suas observações.

**IV.3 Discussão:** o que vocês podem concluir de suas observações.

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:

$$V(t) \sim V + \delta v(t) \quad (4)$$

onde a parte que varia no tempo,  $\delta v(t)$ , tem amplitude máxima  $\Delta V$  ( $\Delta V$  é o valor de pico da tensão  $\delta v(t)$ ). Logo se  $\Delta V \ll V$  a fonte se aproxima de uma fonte **CC** ideal ( $\delta v(t)=0$ ). A Fig.4.12(a) mostra um sinal **CC**,  $V=3,0V$  superposto a uma oscilação de amplitude  $\Delta V \sim 0,08V$ . 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 (por exemplo, a qualidade de duas fontes). Em percentual, ele é definido por:

$$r(\%) = \frac{\Delta V}{V} \cdot 100\% \quad (5)$$

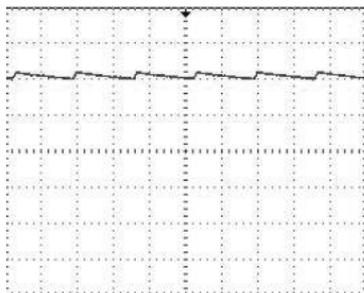
Pode-se mostrar que (vide exercício 7 da apostila):

$$r(\%) = \frac{1}{fRC} \cdot 100\% = \frac{T}{RC} \cdot 100\% \quad (6)$$

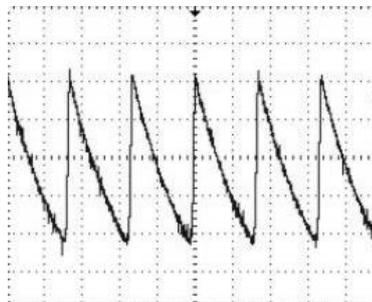
No exemplo mencionado acima  $V=3Ve\Delta V=0,08V$ , temos  $r \sim 2.7\%$ .

Para medir  $r$ , é interessante retirar a parte constante do sinal ( $V$ ) para poder ver a parte  $CA$  com mais detalhe. O termo técnico correto é “filtrar o sinal”, o que pode ser feito através do acoplamento  $CA$ . Esta medida é ilustrada na Fig.4.12b, onde o modo  $CA$  possibilita ampliar a escala por um fator  $25x$ , permitindo observar mais detalhadamente a parte que varia no tempo,  $\delta v(t)$ .

Figura 4.12 - Usando o acoplamento  $CC$  e  $CA$  do osciloscópio para analisar um sinal  $V(t) \sim V + \delta v(t)$ , com  $\delta v \ll V$ . (a) sinal observado no modo  $CC$ , com escala  $y$  de 500mV/div e  $x$  de 10ms/div; (b) o mesmo sinal observado no modo  $CA$  com escala de 20mV/div. Em (b) podemos ver mais detalhadamente a parte  $CA$ , pois a componente  $CC$  foi filtrada.

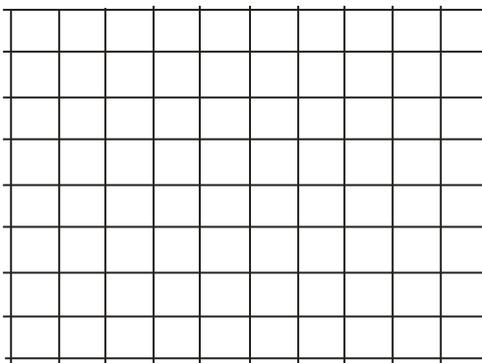


(a)



(b)

**IV.4 Experimento:** Usem o acoplamento  $CC$  do osciloscópio para encontrar  $V$ . Usem o acoplamento  $CA$  do osciloscópio (botão 7 botão 3 – Trigger – (no menu da tela observem Acoplamento  $CA$ ) indicado na Fig.4.2) para observar o sinal de ripple,  $\delta v(t)$ . Calculem o fator  $r$  deste sinal.



**IV.5** Variem os valores de  $R$  ( $47\Omega$ ,  $470\Omega$ ,  $47K\Omega$ ) mantendo o mesmo capacitor ( $C$  constante). Como  $\Delta V$  varia com  $R$ ? Anotem o valor de  $\Delta V$  em cada caso e determinem o fator de ripple da fonte,  $r$ , definido pela Eq.(5).

**IV.6** Comparem os valores de  $r(\%)$  determinado experimentalmente (em IV.5) com os valores calculados a partir da Eq. (6), ou seja, os valores esperados teoricamente. Há boa concordância?