

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 (DC, do inglês *direct current*). Vocês vão aprender como construir uma fonte de corrente contínua usando um transformador, um capacitor e um diodo.

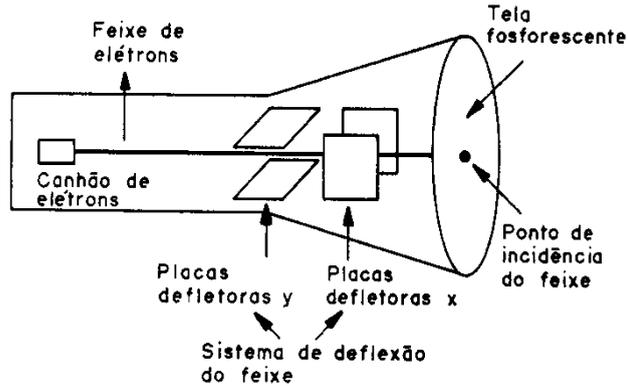
Introdução

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 Fig.4-1, 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 4-1 - Tubo de raios catódicos (TRC).

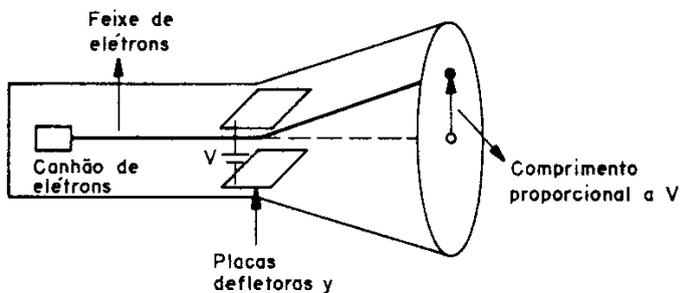


Fonte: Elaborada pelo Compilador

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 (Fig.4-2).

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.

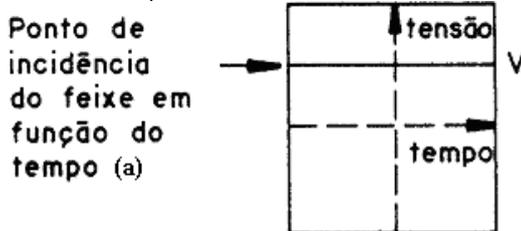
Figura 4-2 - Medida de tensão elétrica com o TRC



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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.4-3.

Figura 4-3 - Tela do osciloscópio durante a medida de uma tensão elétrica contínua



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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:

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

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 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 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:

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

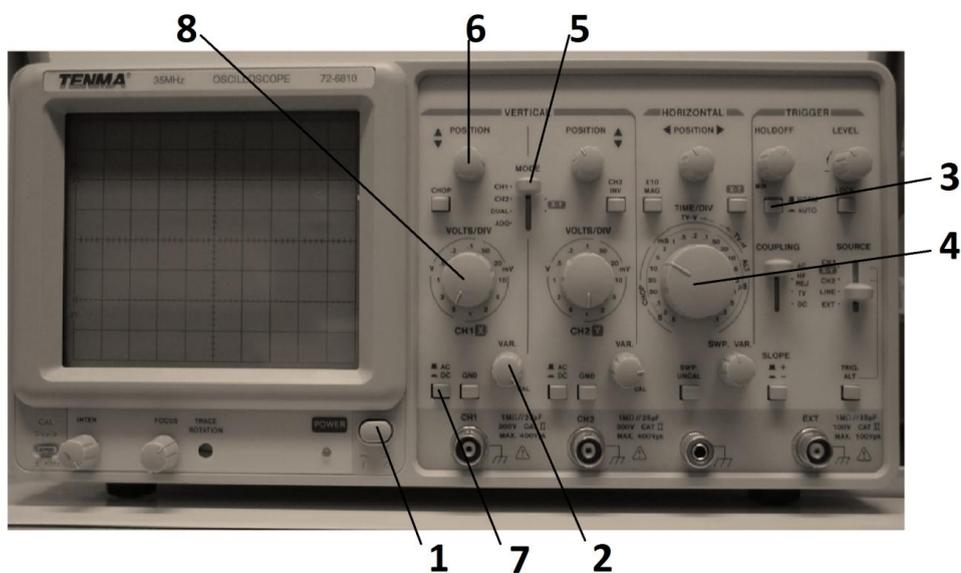
Analogamente, podemos ter uma corrente alternada expressa por: $I(t) = I_0 \text{sen}(\omega t)$. Neste caso, I_0 representa a corrente de pico e $I_{rms} \sim 0,707I_0$.

Experimentos

I. Introdução ao uso do Osciloscópio

Neste curso usaremos um osciloscópio **Tenma 72-6810** de dois feixes (Fig. 4-4) 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 4-4 - Osciloscópio **Tenma 72-6810** de duplo canal utilizado no Laboratório. (1) Botão power; (2) botão CAL de calibração da escala de tensão; (3) botão do *trigger*; (4) seletor da escala horizontal; (5) seletor *mode*; (6) ajuste horizontal y do feixe; (7) seletor de modo AC ou DC; (8) seletor de escala Y (V) do ch1.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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

VERTICAL: MODE CH1 (5)

DC (acoplamento) (7)

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

A.1. Experimento: Observem o feixe percorrendo uma reta aproximadamente horizontal (da esquerda para a direita).

A.2. Como varia a velocidade do feixe quando vocês passam de 0.5s a 0.2s, ou seja, a velocidade aumenta ou diminui?

A.3. Utilizando o cronômetro, meçam o tempo necessário para o feixe percorrer toda a tela, (10 divisões).

A.4. Comparem o tempo medido com o valor esperado, segundo a escala indicada (HORIZONTAL)

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*)

Sigam os seguintes passos:

- a. Conectem um cabo coaxial BNC ao canal 1 (CH1) do osciloscópio. Coloquem os dois terminais banana do cabo em curto circuito.
- b. Ajustem o botão da escala **y** (botão 8) ao valor adequado (VOLTS/DIV).
- c. Ajustem a posição vertical do feixe (botão 6) para o centro da tela do osciloscópio.

B.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 (8) para medir a tensão da pilha. Qual o valor da tensão da pilha?

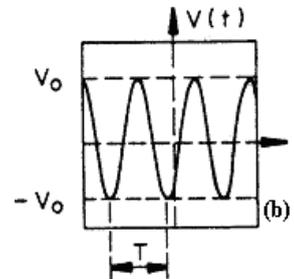
B.2. Repitam o experimento invertendo a posição dos terminais banana, ou seja, colocando a banana vermelha no terminal (-) da pilha e a banana preta no terminal (+).

B.3. Meçam a tensão da pilha usando um voltímetro e comparem com o valor anterior.

C. Corrente Alternada

Quando trabalhamos com uma tensão alternada do tipo $V(t)=V_0\text{sen}(\omega t)$, a tela do osciloscópio nos apresenta um sinal como na Fig.4-5. Neste caso, podemos determinar a amplitude máxima (também chamada de tensão de pico), V_0 , e o período de oscilação desta tensão periódica é $T=2\pi/\omega$.

Figura 4-5 - Tela do osciloscópio durante a medida de uma tensão alternada



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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

D. Transformador

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 α 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 12,6V 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

A.1. Calculem o período, T, (em unidades de milissegundo ou ms) de um sinal senoidal com frequência $f=60\text{Hz}$.

Figura 4-6 - Transformador



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A.2. Usando o osciloscópio, meçam as tensões V_{13} e a V_{23} de um transformador (com entrada em 220V) (Fig.4-6). 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 conseguirem obter uma imagem fixa no osciloscópio, peçam auxílio a um instrutor.*

A.3. Usando o osciloscópio, meçam o valor de **T** e calculem **f** e ω nas unidades apropriadas.

A.4. Observem o sinal no osciloscópio e determinem o valor da tensão de pico V_o . Usando a Eq.(3), $V_{rms} \sim 0,71V_o$, calculem o valor de V_{rms} .

A.5. Quando trabalhamos com sinais senoidais utilizamos o multímetro (*Minipa ET-2082A*) digital na função de voltímetro (modo AC). Meçam a tensão usando um voltímetro. O que representam os valores obtidos V_o , V_{rms} , $\langle V(t) \rangle$? Justifiquem a resposta comparando quantitativamente os valores obtidos com o osciloscópio e o voltímetro.

A.6. Usando o voltímetro (modo AC), meçam novamente os valores de V_{13} e V_{23} com entrada em 110V.

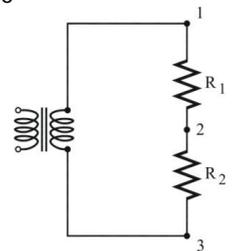
E. Circuito simples de CA.

A. Experimento: Montem o circuito (Fig.4-7) ao lado usando a saída V_{13} do transformador conectado em 220V.

$$R_1=1K\Omega \quad \text{e} \quad R_2=470\Omega$$

A.1. Meçam agora os valores de V_{13} , V_{R1} e V_{R2} usando o voltímetro digital (modo AC).

Figura 4-7 – Transformador ligado a duas resistências em série



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A2. A segunda lei de Kirchhoff é válida neste circuito de CA? Justifiquem a resposta.

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 **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 *Instrutherm (GA-100)*(Fig.4-8) cuja frequência pode ser ajustada no intervalo entre 1 e 10^6 Hz, com formas de onda senoidal ou quadrada.

Figura 4-8 - Gerador de Áudio Instrutherm (GA-100)



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A.1. Experimento: Observem o sinal de saída do gerador de funções no osciloscópio. Coloquem a frequência do gerador em ~1KHz e observem o sinal de uma onda quadrada e o de uma onda senoidal. Registrem suas observações.

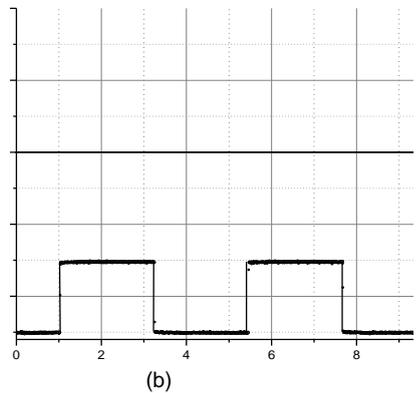
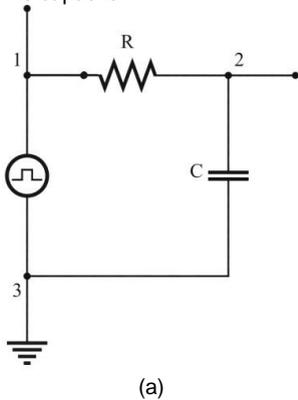
CUIDADO: O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao borne de saída (OUTPUT) preto do gerador (idem para o terminal vermelho). Caso contrário, pode ser dado um curto-circuito na saída do gerador.

II. Circuito RC

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

B. Previsões: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Figura 4-9 – (a) Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito RC; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no capacitor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Considerem o gerador de onda quadrada ligado a um circuito RC, tal como ilustrado na Fig.4-9(a). Como será o sinal $V_C(t)$ observado no osciloscópio? Para isto, esbocem $V_C(t)$ na parte superior da Fig.4-9(b) considerando o sinal de onda quadrada graficado na figura (ou seja, os dois gráficos devem ser coerentes).

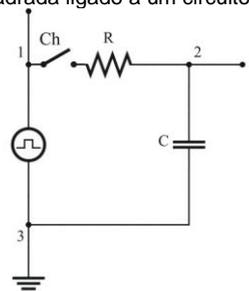
Dica: Lembrem-se do comportamento de $V_C(t)$ observado na Prática 3.

Mostrem o esboço a um instrutor antes de iniciarem o experimento

C. Experimento: Montem o circuito usando o gerador no modo de onda quadrada. Inicialmente observem apenas o sinal do gerador (sem o circuito), ou seja, observem $V_{13}(t)$ com a chave aberta (Fig.4-10) 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 4-10 - Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito RC



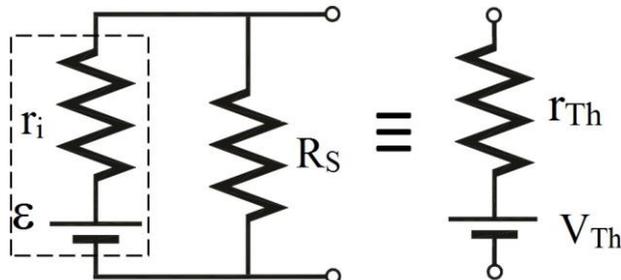
Fonte: Elaborada pelo Compilador

Chave fechada: Notem que o sinal varia quando o circuito é ligado, ou seja, fechando a chave. O que está ocorrendo?

Na Prática 2 vimos que nem sempre as fontes de tensão se comportam como ideais, ou seja, mantêm 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, pois vimos que o sinal do gerador é alterado devido à presença do circuito RC.

Figura 4-11 – Resistor R_S em paralelo com um gerador real, com seu equivalente ao circuito Thévenin



Fonte: Elaborada pelo Compilador

$$r_{Th} = \frac{r_i \cdot R_S}{r_i + R_S} \quad (4)$$

$$V_{Th} = \epsilon \cdot \frac{R_S}{r_i + R_S} \quad (5)$$

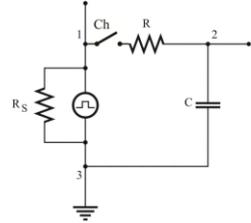
Para minimizar este problema, o resistor R_S é colocado em paralelo ao gerador para diminuir sua resistência interna, tal como mostrado na Fig.4-11. Lembre-se que a fonte ou gerador ideal, tem resistência interna ZERO ($r_i = 0$). Este gerador modificado é equivalente a uma fonte ideal com tensão V_{Th}^1 e resistência r_{Th} , cujos valores estão indicados no lado direito da Fig.4-11. Isto pode ser provado usando o teorema de Thévenin para circuitos elétricos, mas neste texto não pretendemos abordar este assunto.

D.1. Experimento: Coloquem o resistor $R_S=47\Omega$ em paralelo ao gerador, tal como ilustrado na Fig.4-12.

Fig. 4-12 – Circuito com Resistor R_S em paralelo ao gerador de onda senoidal, ligado ao circuito RC

¹O índice Th refere-se a Thévenin, em homenagem a Léon Charles Thévenin

Inicialmente, observem apenas o efeito de R_s no sinal $V_{13}(t)$, sem conectar o circuito RC. Ou seja, mantendo a chave aberta, o que ocorre quando R_s é colocado?



Fonte: Elaborada pelo Compilador

D.2. Repitam o procedimento acima, com o circuito RC conectado, ou seja, com a chave Ch fechada. O sinal do gerador, $V_{13}(t)$, se aproxima mais de uma onda quadrada perfeita com ou sem o resistor R_s ?

D.3. Meçam os valores da amplitude de $V_{13}(t)$ com ou sem o resistor R_s (47Ω). Usando as Eqs. (4) e (5) (dadas na Fig.4-11), calculem o valor da resistência interna do gerador, r_i .

Obs.: a medida deve ser feita com a chave, Ch, aberta.

D.4. Fechem a chave e observem o sinal da tensão no capacitor, $V_C(t)=V_{23}(t)$.

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

D.5. 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 (até $\sim \pm 20\%$), pois o valor deve ser obtido a partir da escala da tela do osciloscópio.

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

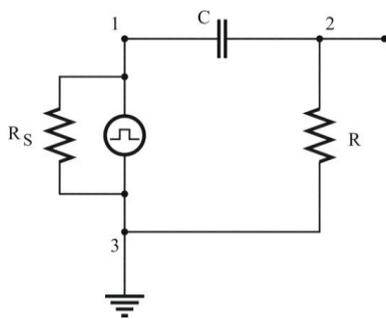
D.7. Outra maneira comum de medir τ_{exp} é determinar $t_{1/3}$, o intervalo de tempo necessário para a tensão $V_C(t)$ cair à 1/3 do seu valor inicial. Calculem o valor da constante de tempo usando a expressão: $\tau_{\text{exp}}=0,91t_{1/3}$. Comparem este valor de τ_{exp} com o valor obtido no item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

Obs.: *Estes valores devem ser iguais, mas não são idênticos, devido às incertezas na sua determinação experimental. Neste caso, considere τ_{exp} como o valor médio entre as duas medidas. A diferença entre os valores dá uma ideia da incerteza.*

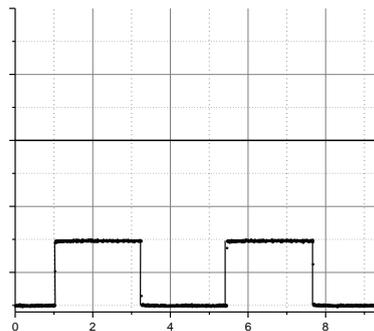
D.8. Comparem o valor experimental τ_{exp} com o valor esperado partir dos valores nominais de $\tau_{\text{calc}}=RC$.

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

Figura 4-13 - (a) Gerador de Onda Quadrada em paralelo a R_S ligado a um circuito RC; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no capacitor



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

O circuito da Fig.4-11 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 ($V=RI$), devemos ligar o resistor ao terra. O circuito deve ser montado tal como ilustrado na Fig.4-13(a), onde $V_R(t)=V_{23}(t)$. Esbocem o sinal previsto para $V_R(t)$ na Fig.4-13(b) (similar ao feito no item **B.1**)

E.2. 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).

E.3. Meçam o valor e o tempo de decaimento, $t_{1/2}$ ou $t_{1/3}$, e calculem τ_{exp} . Comparem este valor obtido através da medida de $V_R(t)$ com o obtido através da medida de $V_C(t)$, no item **D.6**.

E.4. Repitam todo o procedimento para outros valores de R e C. (**optativo**)

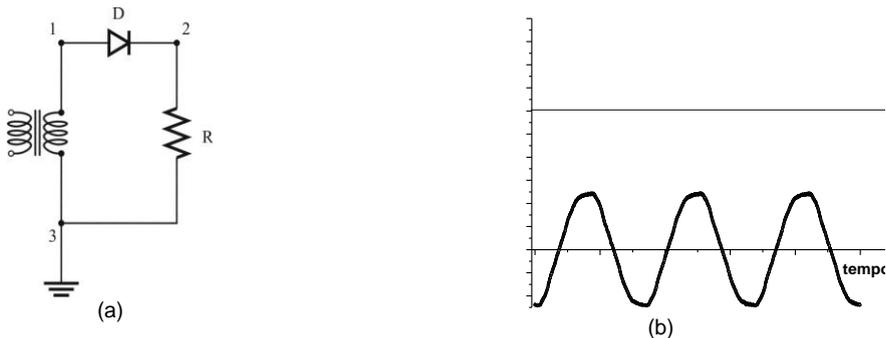
III. O Diodo em CA

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

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

Dada a tensão senoidal ilustrada na Fig.4-14(a) abaixo, $V(t)=V_o \cdot \text{sen}(\omega t)$, esbocem no espaço da Fig.4-14(b) o sinal previsto para a forma de onda no resistor, $V_R(t)$.

Figura 4-14 – (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

A.2. Experimento: Montem o circuito usando o transformador, $R=1k\Omega$ e um diodo. Observem a forma de onda, $V_R(t)=V_{23}(t)$.

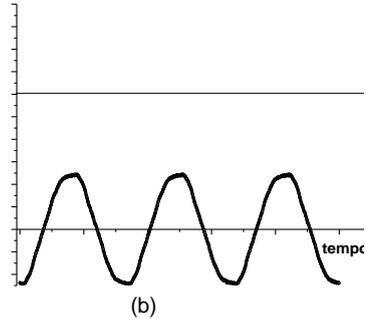
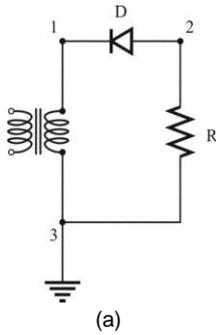
CAUIDADO: O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).

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

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

Considerem agora a situação ilustrada na Fig.4-15(a) onde o diodo foi invertido. Esbocem na Fig.4-15(b) a forma de onda prevista para o resistor, $V_R(t)$, nesta situação.

Figura 4-15 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

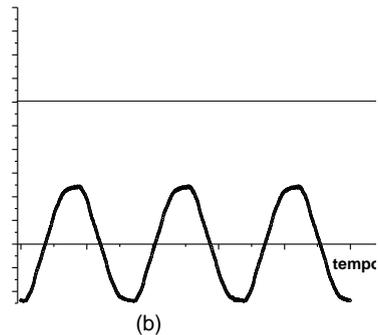
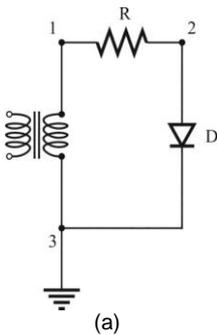
B.2. Experimento: Montem o circuito e observem a forma de onda, $V_R(t)=V_{23}(t)$.

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

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

Figura 4-16 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



Fonte: Elaborada pelo Compilador

Considerem agora a situação ilustrada na Fig.4-16(a) onde as posições do diodo e resistor no circuito foram trocadas. Esbocem na Fig.4-16(b) a forma de onda prevista para o resistor, $V_D(t)=V_{23}(t)$.

C.2. Experimento: Montem o circuito e observem a forma de onda, $V_D(t)=V_{23}(t)$.

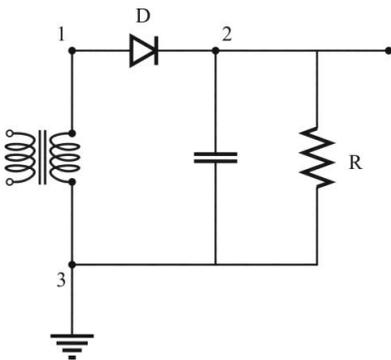
CUIDADO: O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).

O sinal observado está de acordo com o previsto? Justifiquem

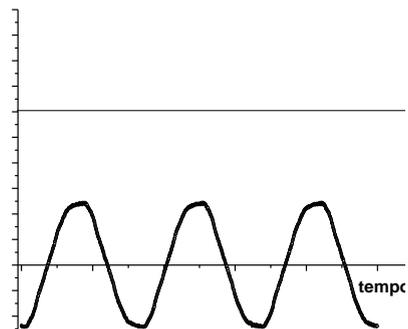
IV. O Diodo como retificador

A. Experimento: Considerem agora o caso em que um capacitor, de capacitância C , é colocado em paralelo ao resistor R (Fig.4-17(a)).

Figura 4-17 - (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



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

A.1. Montem o circuito, usando $R=1k\Omega$ e $C=100\mu F$, e registrem (esbocem na Fig.4-17(b)) a forma de onda, $V_R(t)$.

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

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

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

B.1. 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:

$$V(t) \sim V_o + \delta v(t) \quad (6)$$

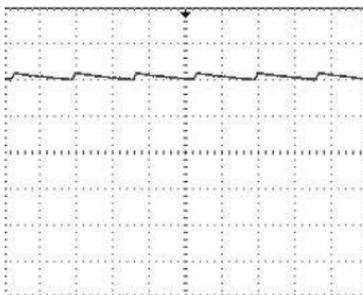
onde a parte que varia no tempo, $\delta v(t)$, tem amplitude máxima ΔV (ΔV é o valor de pico da tensão $\delta v(t)$). Logo se $\Delta V \ll V_o$ a fonte se aproxima de uma fonte DC ideal ($\delta v(t)=0$). A Fig.4-18(a) mostra um sinal DC, $V_o=3,0V$ superposto a uma oscilação de amplitude $\Delta V \sim 0,08V$. 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:

$$r = \frac{\Delta V}{V_o} \cdot 100\% \quad (7)$$

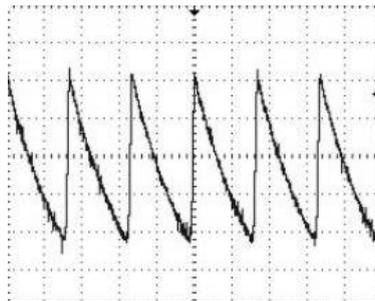
No exemplo mencionado acima $V_o=3V$ e $\Delta V=0,08V$, temos $r \sim 2.7\%$.

Para medir r , é interessante retirar a parte constante do sinal (V_o) para poder ver a parte AC com mais detalhe. O termo técnico correto é “filtrar o sinal”, o que pode ser feito através do acoplamento AC. Esta medida é ilustrada na Fig.4-18b, onde o modo AC possibilita ampliar a escala por um fator 25x, permitindo observarmos mais detalhadamente a parte que varia no tempo, $\delta v(t)$.

Figura 4-18 - Usando o acoplamento DC e AC do osciloscópio para analisar um sinal $V(t) \sim V_o + \delta v(t)$, com $\delta v \ll V_o$. (a) sinal observado no modo **DC**, com escala **y** de 500mV/div e **x** de 10ms/div; (b) o mesmo sinal observado no modo **AC** com escala de 20mV/div. Em (b) podemos ver mais detalhadamente a parte AC, pois a componente DC foi filtrada.



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

C. Experimento:

C.1. Usem o acoplamento AC do osciloscópio (botão 7 indicado na Fig.4-4) para observar o sinal de *ripple*, $\delta v(t)$. Calculem o fator r deste sinal.

C.2. Variem os valores de R mantendo o mesmo capacitor (C constante). Como ΔV varia com R ? Anotem o valor de ΔV em cada caso e determinem o fator de *ripple* da fonte, r , definido pela Eq.(7)

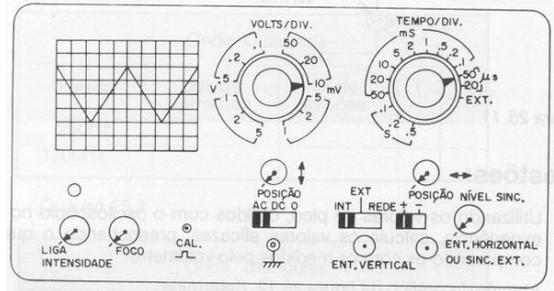
C.3. Discussão: qual o motivo da variação do *ripple* com R que vocês observaram?

Lista de materiais

- Osciloscópio
- Transformador
- Resistores: $R=1K\Omega$, $47K\Omega$, 470Ω , $R_S = 47\Omega$
- Capacitores: $C=100nF$, $C=100\mu F$
- Diodo
- Fonte de Tensão

Exercícios

1. Determine a frequência e a amplitude (pico a pico) do sinal, visto na tela do osciloscópio da Figura ao lado.



2. A Fig.(a) 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, da Fig.(c), 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.).

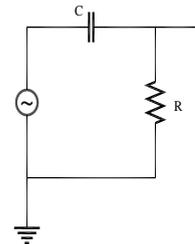


Figura (a) Circuito RC

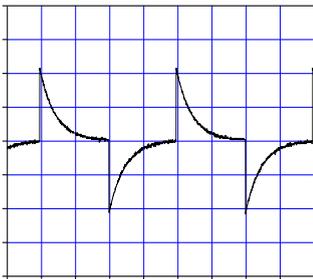


Figura (b) $V_R(t)$

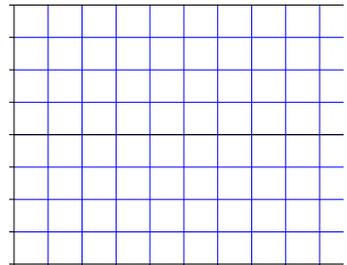


Figura (c) $V_C(t)$

3. Diodo em CA - Um estudante fez medidas similares as do item III (O Diodo em CA), usando um transformador, um diodo (D) e um resistor (R), onde D e R estão ligados em série.

a) A Figura (a) ao lado mostra o sinal de entrada do transformador, e o sinal medido em D ou R. Desenhe o circuito, indicando a tensão medida que é compatível com o sinal obtido.

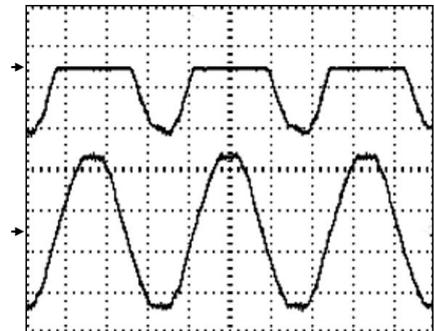


Figura (a)

b) Idem para a figura (b)

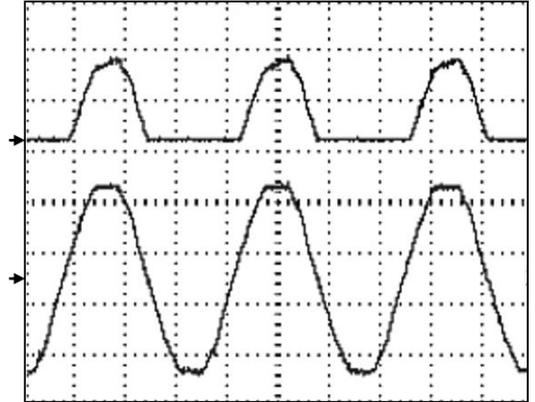


Figura (b)

4. Diodo retificador - A Fig.(a) representa um circuito retificador (diodo+capacitor+resistor) e a Fig.(b) o sinal correspondente quando o circuito é alimentado por um sinal senoidal.

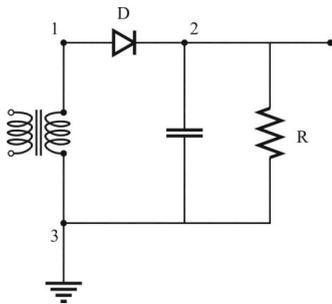


Fig.(a)

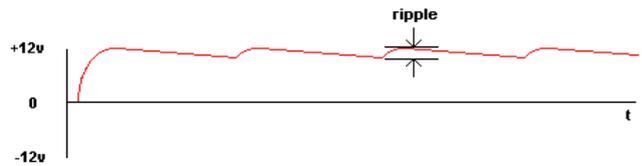
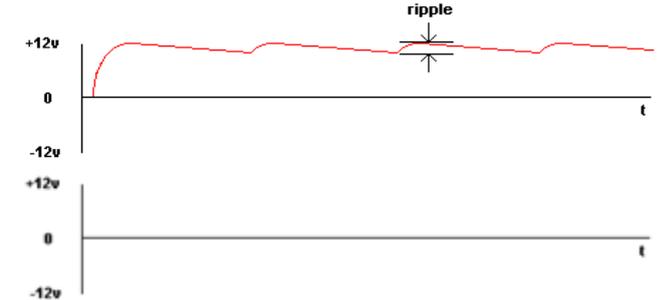
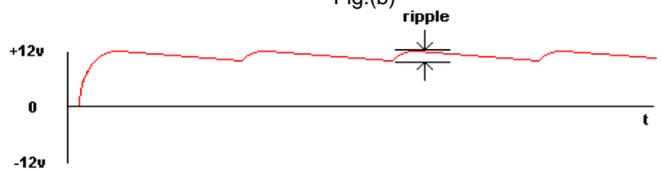
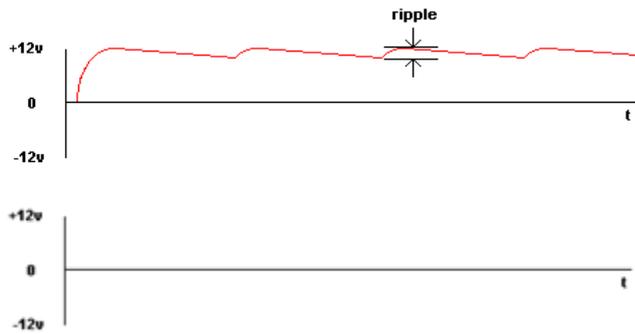


Fig.(b)



a) O que aconteceria, se o capacitor fosse retirado do circuito? Esboce este sinal, $V_R(t) = V_{23}(t)$, no espaço abaixo do gráfico da Fig. 2.b usando a mesma escala temporal.

b) Considere novamente o sinal $V_{23}(t)$, considerando o circuito original (Fig.a), porém com R 10 vezes menor. Esboceeste sinal mantendo as mesmas escalas x e y.



c) Repita o item b) no caso em que R é dez vezes maior que o original.

5. O fator de *ripple* - Tal como mencionado no texto sobre o diodo retificador, podemos descrever a tensão no capacitor como aproximadamente dada por:

$$V(t) \sim V_o \exp(-t/\tau) \sim V_o (1 - t/\tau)$$

onde a aproximação é válida para $t \ll \tau$. Logo considerando que o sinal senoidal tem período T, a tensão é mínima em $t=T$ (na expressão acima considera-se $t=0$ o instante em que a tensão é máxima (o pico). A tensão então decai linearmente atingindo o valor mínimo $V_{\min} = V_o(1 - T/\tau)$. O valor $V = V_o - V_{\min}$ representa uma figura de mérito do retificador.

a) Mostre que $\Delta V = \frac{V_o T}{R.C} = \frac{I}{f.C}$ e conseqüentemente o fator de ripple é dado por: $r = \frac{\Delta V}{V_o} = \frac{1}{f.R.C}$

onde $I = V_o/R$ é a corrente de carga e f a frequência. Note que a expressão acima mostra que o fator de *ripple* aumenta com a corrente de saída da fonte.

b) Calcule o fator de *ripple* correspondente ao experimento que vocês fizeram no laboratório onde $f=60\text{Hz}$, $R=1\text{k}\Omega$ e $C=100\mu\text{F}$.

c) Idem para $R=100\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, 100Ω e 10Ω . Para quais valores de R é válida a aproximação $\tau \ll T=1/60$?