
Sumário

TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS	3
Prática 4: Osciloscópio e Corrente Alternada	5
Objetivos	5
Introdução	5
Experimentos	10
I. Introdução ao uso do Osciloscópio.....	10
II. Circuito RC.....	21
III. O Diodo em AC.....	30
IV. O Diodo como retificador.....	32
Exercícios.....	37

TABELA DOS SÍMBOLOS DOS ELEMENTOS UTILIZADOS NOS EXPERIMENTOS

	Fonte de Tensão		Gerador de Onda Quadrada
	Fonte de Tensão Variável		Gerador de Onda Senoidal
	Fonte de Tensão Alternada		Transformador
	Pilha		Lâmpada
	Pilha, Bateria		Resistor
	Terra		Potenciômetro
	Chave		LDR (Light Dependent Resistor)
	Chave de Contato (Push Button)		Diodo
	Amperímetro		LED (Light Emitting Diodo)
	Voltímetro		Capacitor
	Ohmímetro		Supercapacitor
	Frequencímetro		Capacitor Eletrolítico
	Capacímetro		Indutor

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

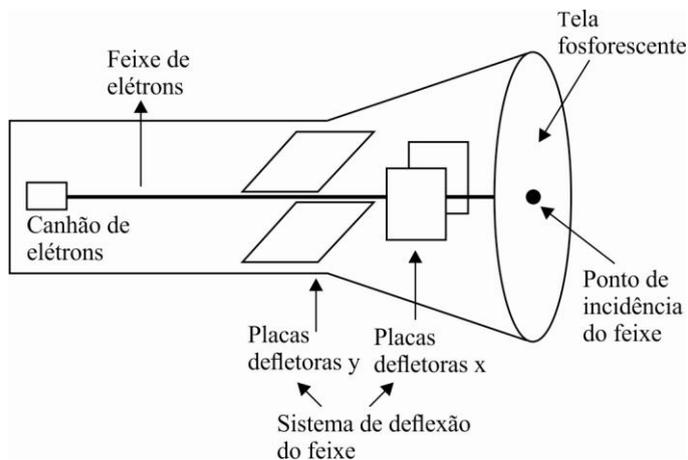
Osciloscópio

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 0.1 - Tubo de raios catódicos (TRC).



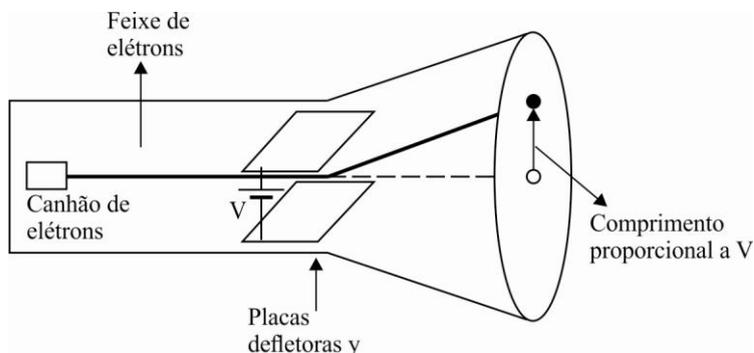
Fonte: Elaborada pelo Compilador

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.

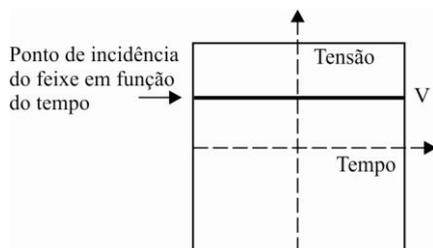
Figura 0.2 - Medida de tensão elétrica com o TRC



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 0.3 - 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:

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

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:

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

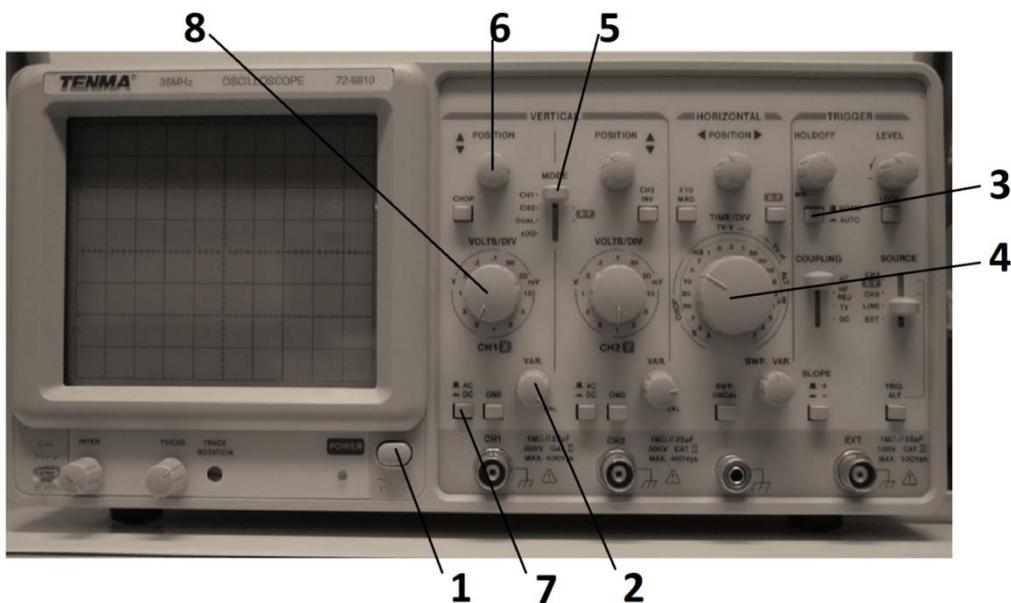
Analogamente, podemos ter uma corrente alternada expressa por: **$I(t) = I_o \sin(\omega t)$** . Neste caso, I_o representa a corrente de pico e **$I_{rms} \sim 0,707I_o$** .

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 0.4 - 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

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

I.1 Como varia a velocidade do feixe quando vocês passam de **0.5s** a **0.2s**, ou seja, a velocidade aumenta ou diminui?

I.2 Utilizando o cronômetro, meçam o tempo necessário para o feixe percorrer toda a tela, (**10 divisões**).

I.3 Comparem o tempo medido com o valor esperado, segundo a escala indicada (HORIZONTAL).

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*)

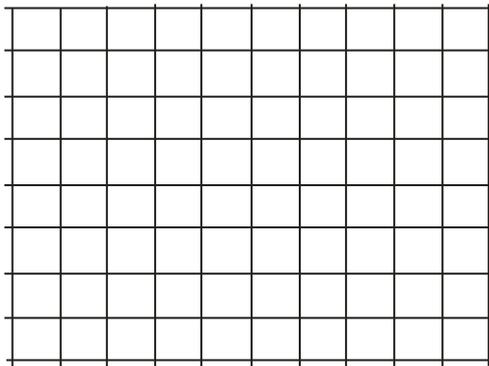
Sigam os seguintes passos:

- 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.

I.4 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?

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.



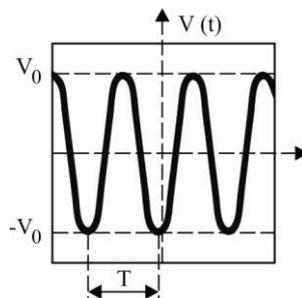
I.5 Repitam o experimento invertendo a posição dos terminais banana, ou seja, colocando a banana vermelha no terminal (-) da pilha e a banana preta no terminal (+).

I.6 Meçam a tensão da pilha usando um voltímetro e comparem com o valor anterior.

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 0.5 - Tela do osciloscópio durante a medida de uma tensão alternada



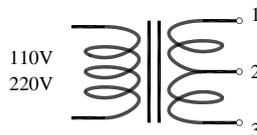
. Fonte: Elaborada pelo Compilado

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**).

Transformador

O transformador é um dispositivo constituído de duas bobinas. Seu símbolo está mostrado na Figura 4.6. 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.

Figura 0.6 – Símbolo do transformador



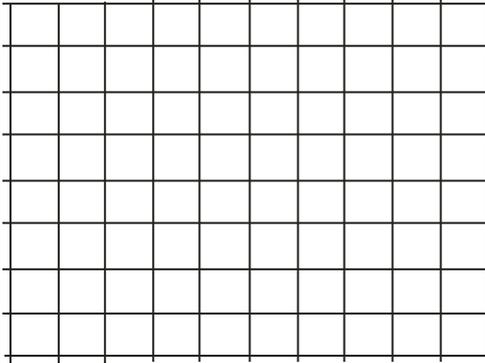
Fonte: Elaborada pelo Compilador

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.

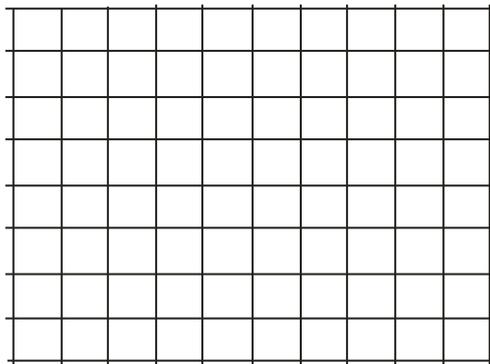
Experimentos usando o transformador

I.7 Calculem o período, T , (em unidades de milissegundo ou ms) de um sinal senoidal com frequência $f=60\text{Hz}$. Registrem o sinal no quadro a seguir, tal como feito anteriormente.



I.8 Usando o osciloscópio, meçam as tensões V_{13} e a V_{23} de um transformador (com entrada em **220V**) (Fig.4.7). 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.



I.9 Usando o osciloscópio, meçam o valor de **T** e calculem **f** e ω nas unidades apropriadas.

I.10 Usando o sinal observado no osciloscópio, meçam da tensão de pico V_o calculem o valor de V_{rms} . obs: pela Eq.(3), $V_{rms} \sim 0,71V_o$.

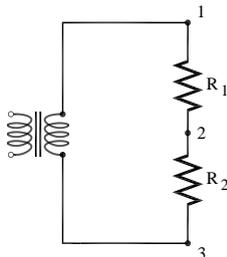
I.11 Quando trabalhamos com tensão alternada (sinais senoidais) utilizamos o multímetro (Minipa ET-2082A) digital na função de voltímetro (modo AC).

Meçam a tensão usando um voltímetro. Comparem este valor V_{rms} obtido no osciloscópio (item anterior).

Circuito simples de AC.

Experimento: Montem o circuito (Fig.4.8) usando a saída V_{13} do transformador conectado em **220V**, com $R_1=1K\Omega$ e $R_2=470\Omega$

Figura 0.7 - Transformador ligado a duas resistências em série



Fonte: Elaborada pelo Compilador

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

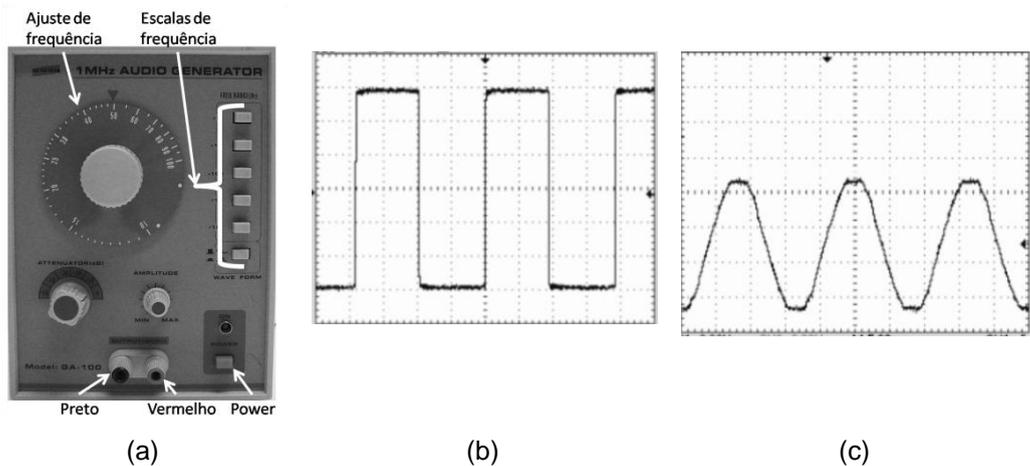
I.13 A lei das malhas de Kirchhoff é válida neste circuito AC? Justifiquem a resposta.

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 *Instrutherm* (GA-100) (Fig.4.9) cuja frequência pode ser ajustada no intervalo entre 1 e 10^6 Hz, com formas de onda senoidal ou quadrada.

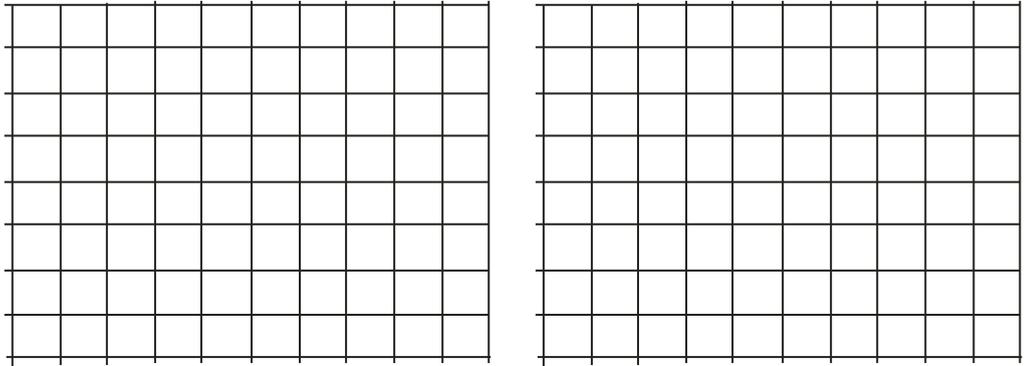
Figura 0.8 – (a) Gerador de Áudio *Instrutherm (GA-100)*, (b) Onda quadrada fornecida pelo gerador; (c) Onda senoidal fornecida pelo gerador.



Fonte: Elaborada pelo Compilador

I.14 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.



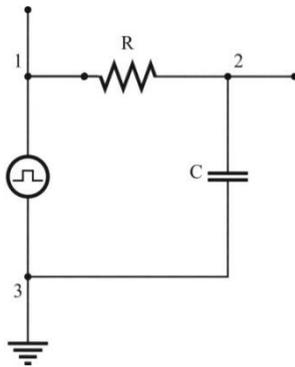
II. Circuito RC

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

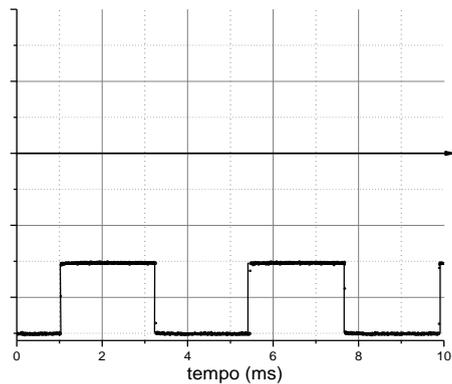
Sugestão: Expresse seu resultado na unidade de μseg (1 micro-segundo = 10^{-6} seg.).

II.2 Previsões: 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.4.10(b) considerando o sinal de onda quadrada mostrado na figura (ou seja, os dois gráficos devem ser coerentes). Registre também justificativas sucintas.

Figura 0.9 - a) Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito RC; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no capacitor



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

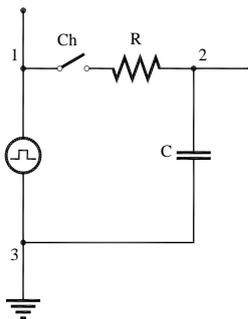
Dica: Lembrem-se do comportamento de $V_C(t)$ observado na Prática 3.

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. 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.**

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

Figura 0.10 - Gerador de Onda Quadrada ligado a um circuito RC



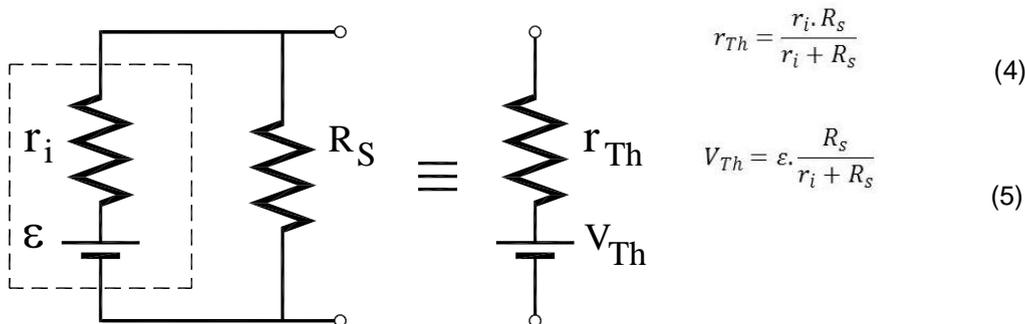
Fonte: Elaborada pelo Compilador

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 0.11 - Resistor R_S em paralelo com um gerador real, com seu equivalente ao circuito Thévenin



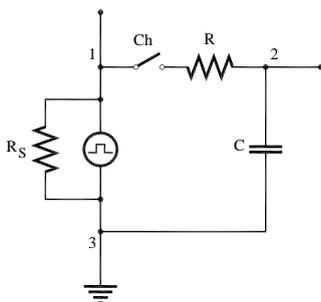
Fonte: Elaborada pelo Compilador

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.

II.4 Experimento: Coloquem o resistor $R_S = 47\Omega$ em paralelo ao gerador, tal como ilustrado na Fig.4.12. 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?

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

Figura 0.12 - Circuito com Resistor R_S em paralelo ao gerador de onda senoidal, ligado ao circuito RC



Fonte: Elaborada pelo Compilador

II.5 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 ?

II.6 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.

II.7 Fechem a chave 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.8 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 μseg (micro-segundos)

II.9 Calculem o valor da constante de tempo usando a expressão:

$$\tau_{\text{exp}} = 1,44t_{1/2}.$$

Sugestão: *Expresse seu resultado na unidade de μseg (micro-segundos)*

II.10 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 **II.9**.

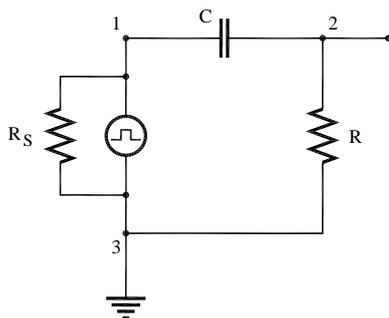
Obs.: *Estes valores devem ser iguais, mas não são idênticos, devido às incertezas na sua determinação experimental. Neste caso, considere τ_{exp} como o valor médio entre as duas medidas. A diferença entre os valores dá uma ideia da incerteza.*

II.11 Comparem o valor experimental τ_{exp} com o valor esperado partir dos valores nominais de $\tau_{\text{calc}} = RC$.

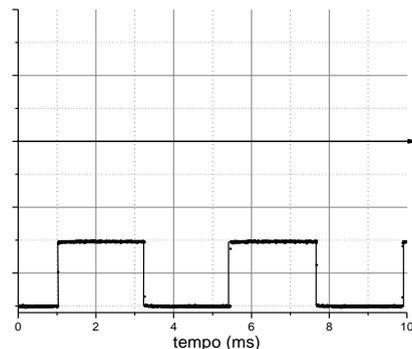
II.12 Previsões: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

O circuito da Fig.4.12 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 II.2)

Figura 0.13 - (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)

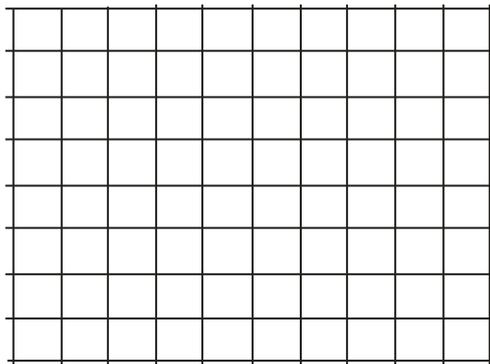


(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

II.13 Experimento: Montem o circuito e esbocem o sinal $V_R(t)$ observado. Está de acordo com o previsto? Expliquem.

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



II.14 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 **II.9**.

II.15 Repitam todo o procedimento para outros valores de R e C. (**optativo**)

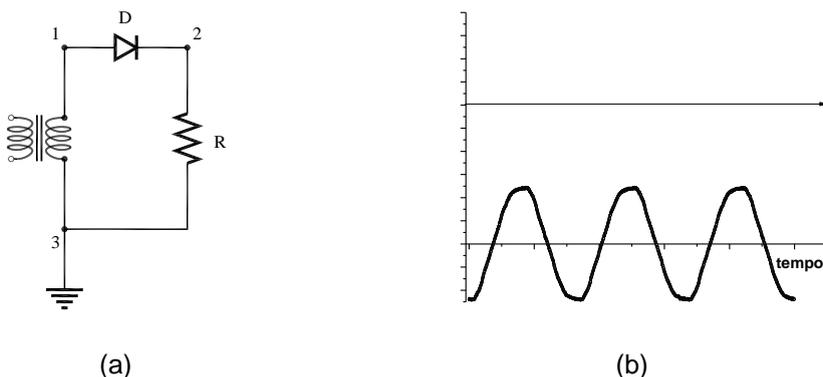
III. O Diodo em AC

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.4.14(a) $V(t)=V_o \cdot \text{sen}(\omega t)$, esbocem no espaço da Fig.4.14(b) o sinal previsto para a forma de onda no resistor, $V_R(t)$.

Figura 0.14 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resistor; (b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor

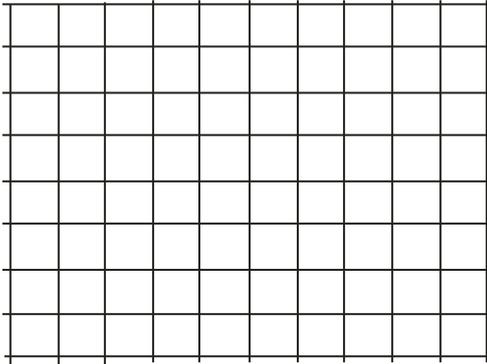


Fonte: Elaborada pelo Compilador

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).

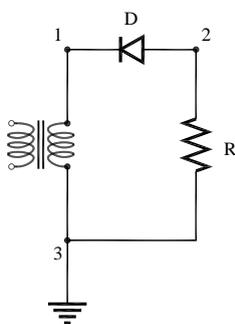
O sinal observado está de acordo com o previsto? Justifiquem.



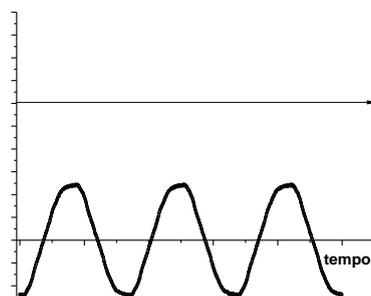
III.3 Previsões: registrem por escrito as suas previsões e/ou do grupo e justificativas.

Considerem agora a situação ilustrada na Fig.4.15(a) onde o diodo foi invertido. Esbocem na parte superior da Fig.4.15(b) a forma de onda prevista para o resistor, $V_R(t)$, nesta situação.

Figura 0.15 - (a) Circuito com um transformador ligado a um Diodo e um Resisto
(b) Espaço gráfico com a curva da tensão no resistor



(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

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

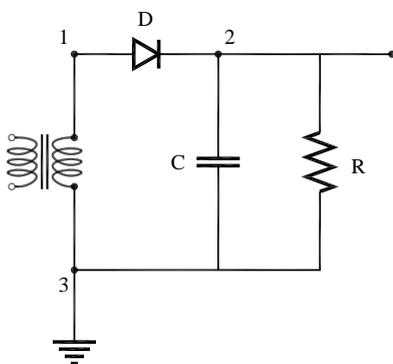
CUIDADO: O terminal preto do cabo coaxial deve ser conectado ao terminal terra (3) e o vermelho ao ponto (2).

O sinal observado está de acordo com o previsto? Justifiquem

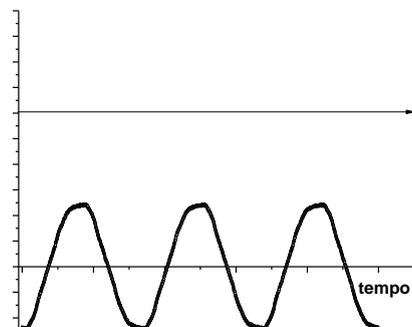
IV. O Diodo como retificador

Experimento: Considerem agora o caso em que um capacitor, de capacitância C , é colocado em paralelo ao resistor R (Fig.4.16(a)).

Figura 0.16 - (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

IV.1 Montem o circuito, usando $R=1k\Omega$ e $C=100\mu F$, e registrem (esbocem na Fig.4.16(b)) a forma de onda, $V_R(t)$.

CUIDADO: *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, 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.

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:

$$V(t) \sim V_0 + \delta v(t) \quad (6)$$

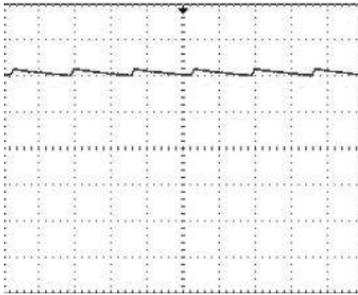
onde a parte que varia no tempo, $\delta v(t)$, tem amplitude máxima ΔV (ΔV é o valor de pico da tensão $\delta v(t)$). Logo se $\Delta V \ll V_0$, a fonte se aproxima de uma fonte **DC** ideal ($\delta v(t)=0$). A Fig.4.19(a) mostra um sinal **DC**, $V_0=3,0V$ superposto a uma oscilação de amplitude $\Delta V \sim 0,08V$. 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:

$$r = \frac{\Delta V}{V_0} \cdot 100\% \quad (7)$$

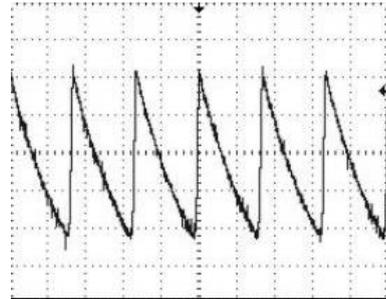
No exemplo mencionado acima $V_0=3V$ e $\Delta V=0,08V$, temos $r \sim 2.7\%$.

Para medir r , é interessante retirar a parte constante do sinal (V_0) 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.4.17b, onde o modo **AC** possibilita ampliar a escala por um fator **25x**, permitindo observar mais detalhadamente a parte que varia no tempo, $\delta v(t)$.

Figura 0.17 - 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.



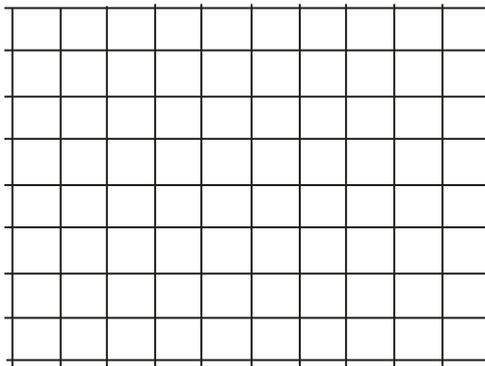
(a)



(b)

Fonte: Elaborada pelo Compilador

IV.4 Experimento: 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.



IV.5 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)

IV.6 Discussão: qual o motivo da variação do *ripple* com **R** que vocês observaram?

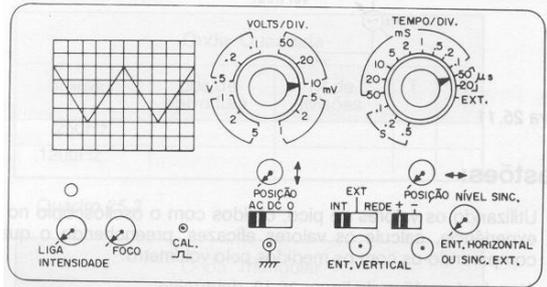
Lista de materiais

- 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. Usando as Eqs. (4) e (5) (dadas na Fig.4.12), calculem o valor da resistência interna do gerador, r_i (vide dados de II.4 – II.6)

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



3. 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.).

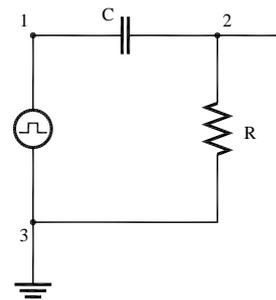


Figura (a) Circuito RC

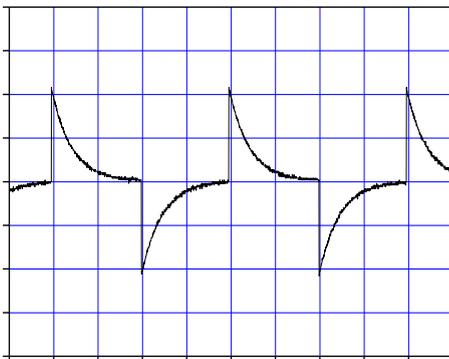


Figura (b) $V_R(t)$

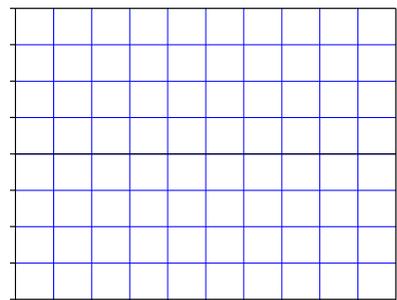


Figura (c) $V_C(t)$

4. Diodo em AC - Um estudante fez medidas similares as do item III (O Diodo em AC), 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.

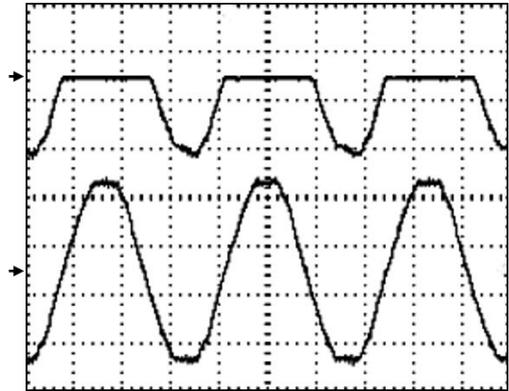


Figura (a)

b) Idem para a figura (b)

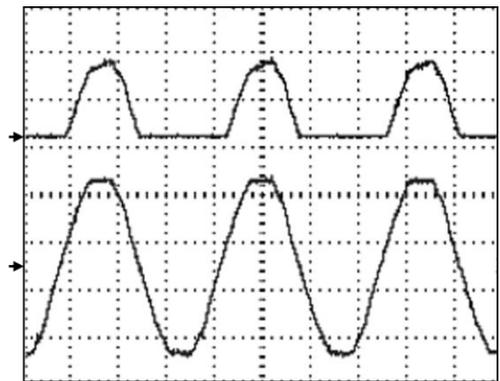
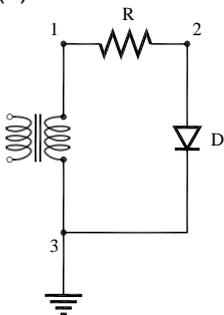
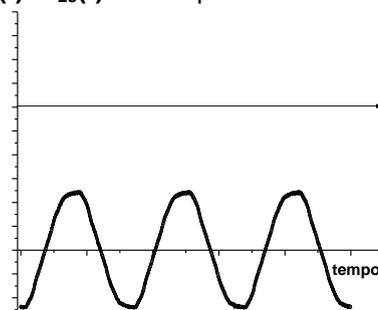


Figura (b)

5. Considerem agora a situação ilustrada na Figura abaixo, que é similar aos experimentos realizados no **item III**. Notem que esta Figura é similar a Fig.4.15, porém as posições do diodo e resistor no circuito foram trocadas. Esbocem na Figura (b) a forma de onda prevista para o resistor, $V_D(t)=V_{23}(t)$. Justifique.



(a)



(b)

6. 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.

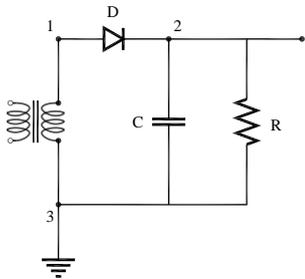


Fig.(a)

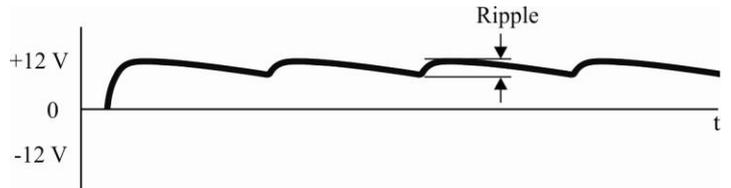
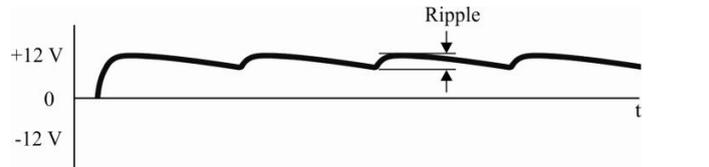
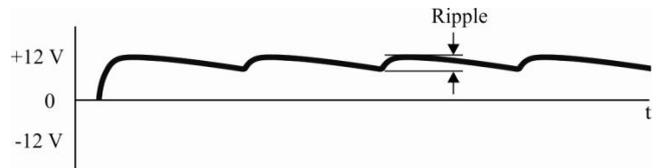


Fig.(b)

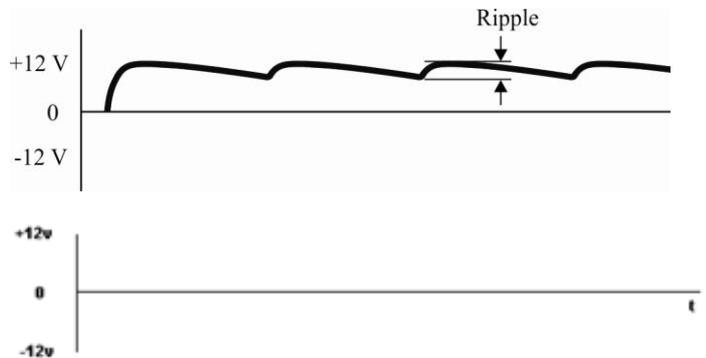
a) O que aconteceria, se o capacitor fosse retirado do circuito? Esboce este sinal, $V_R(t) = V_{23}(t)$, no espaço abaixo do gráfico da Fig. .b usando a mesma escala temporal.



b) Considere novamente o sinal $V_{23}(t)$, considerando o circuito original (Fig.a), porém com R 10 vezes menor. Esboce este 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 $R = 100\text{k}\Omega$, $10\text{k}\Omega$, $1\text{k}\Omega$, 100Ω e 10Ω . Para quais valores de R é válida a aproximação $\tau \ll T = 1/60$?