

NOTA
PROFESSOR

4323202 Física Experimental B

Equipe

1)..... função ..... Turma:.....

2)..... função ..... Data:.....

3)..... função ..... Mesa nº: .....

EXP 2- Circuito RC  
Guia de trabalho

**Objetivos**

Examinar um circuito RC com um osciloscópio digital:

1. *Determinar a constante de tempo do circuito de três maneiras diferentes;*
2. *Familiarizar-se com montagem de circuito elétrico, um multímetro digital e o osciloscópio digital.*

**1. Medidas da resistência e da capacitância, e determinação da constante de tempo**

Serão usados um resistor e um capacitor comerciais. Antes de montar o circuito RC em série, anote os valores nominais da resistência  $R_n$  e da capacitância  $C_n$ :

$R_n = ( \text{_____} \pm \text{_____} ) \text{_____}$  ,  $C_n = ( \text{_____} \pm \text{_____} ) \text{_____}$  .

Meça agora a resistência  $R$  e a capacitância  $C$  com o multímetro, ET-2053, Minipa:

$R = ( \text{_____} \pm \text{_____} ) \text{_____}$  ,  $C = ( \text{_____} \pm \text{_____} ) \text{_____}$  .

Com os valores medidos de  $R$  e  $C$ , calcule a constante de tempo  $\tau = RC$ :

$\tau = ( \text{_____} \pm \text{_____} ) \text{_____}$  .

Mostre abaixo que a constante de tempo  $\tau$  possui a dimensão do tempo:

**2. Funcionamento do osciloscópio digital, TDS2002C, Tektronix**

**2.1 Características do osciloscópio**

Neste experimento, será usado um osciloscópio digital para observar dois ou mais sinais de voltagem simultaneamente versus tempo. Em um osciloscópio digital, as amostras coletadas de cada sinal, digitalizadas, armazenadas em memória e mostradas no display do osciloscópio em função do tempo. O osciloscópio de armazenamento digital, TDS2002C, Tektronix, com dois

canais (CH1 e CH2), que será usado no experimento, faz amostragem de um bilhão de vezes por segundo (1 GS/s: 1 *gigasamples per second*) em cada canal e é capaz de exibir sinais com frequências de até 70 MHz [1].

O painel frontal do osciloscópio está dividido em algumas partes funcionais:

A metade do painel frontal esquerda consiste de:

- Um display de cristal líquido colorido que exibe dois sinais com duas cores diferentes (amarelo para CH1, azul para CH2). Ao longo do lado direito do display, está instalado um conjunto de cinco botões, chamados aqui botões de display.

A outra metade do painel frontal possui:

- Os botões na parte superior, que são chamados aqui botões de painel.

Em baixo desta parte, há as seguintes três partes: Vertical, Horizontal e Trigger.

- O controle Vertical se separa em CH1 e CH2. Cada canal possui o botão **Position**, o botão **Escala** e um conector de entrada BNC. O botão **Position** ajusta a posição vertical do sinal correspondente. O botão **Escala** seleciona uma das resoluções de voltagem; esta resolução dada pela voltagem por divisão de escala, variando de 20,0 mV/div a 50,0 V/div, é exibida no display;
- No controle Horizontal, o botão **Position** ajusta a posição horizontal de todos os sinais uniformemente. O botão **Escala** seleciona uma das resoluções de tempo para a base de tempo; esta resolução dada pelo tempo por divisão de escala, variando de 5,00 ns/div a 50,0 s/div, é exibida no display. Um conector de entrada BNC para um sinal **External Trigger** é correlacionado com o item seguinte;
- O controle Trigger determina o ponto de partida para a exibição de todos os sinais no display, com referência a um sinal interno ou externo selecionado.

## 2.2 Verificação do funcionamento do osciloscópio

(a) Ligue o osciloscópio e espere alguns segundos para o osciloscópio iniciar os testes de partida. O osciloscópio está na configuração armazenada antes do último desligamento.

(b) Pressione o botão de painel **Conf. Padrão** para entrar a seguinte configuração: somente CH1 ativo com a atenuação de 10×; o acoplamento elétrico CC (Corrente Contínua) na entrada de sinal do osciloscópio; 1,00 V/div e 500 μs/div.

(c) Conecte uma ponta de prova (atenuação de 10×) ao CH1, e sua garra ao terminal superior e jacaré (terra) ao terminal inferior no local **Probe Comp**, que fica abaixo do conjunto dos botões de display. Os terminais fornecem uma forma de onda quadrada com voltagem pico a pico ( $V_{p-p}$ ) de 5 V e frequência de 1 kHz.

(d) Pressione o botão de painel **Auto Set**. Em alguns segundos o sinal de onda quadrada (amarela) aparecerá. Se a onda quadrada estiver deformada, chame o(a) professor(a). Gire os botões do controle **Vertical** do CH1 e do controle **Horizontal** para experimentar a função de cada botão. Ajuste a resolução de voltagem a 1,00 V/div e a resolução de tempo a 250 μs/div. Posicionando o sinal no display, conte o número de divisões correspondentes a  $V_{p-p}$  e anote abaixo o valor dessa voltagem. Faça tal procedimento para a medida do período  $T$  do sinal:

$$\text{CH1: } V_{p-p} = 1,00 \text{ V/div} \times \text{_____ divisões} = \text{_____ V}$$

$$T = 250 \text{ μs/div} \times \text{_____ divisões} = \text{_____ s}$$

(e) Retire do local **Probe Comp** a garra e o jacaré da ponta de prova do CH1. Conecte a segunda ponta de prova ao CH2, e a garra e o jacaré aos respectivos terminais do local **Probe Comp**. Para ativar o CH2, pressione o botão **2** (azul) do Controle **Vertical**.

(f) A imagem do sinal no CH2 (azul) não está fixada por conta de o trigger não estar associado ao CH2, mas ao CH1. Para associá-lo ao CH2, faça as seguintes etapas:

- Pressione o botão **Tri Menu** no Controle **Trigger**.
- Pressione o segundo botão de display e selecione **Origem > CH2**.

Se a imagem ainda não ficar estática, posicione a flecha azul, apontando à esquerda no lado direito do display, dentro de  $V_{p-p}$ , ajustando o botão **Nível** do Controle **Trigger**. Pressione o botão de painel **Auto Set**. Anote os valores de  $V_{p-p}$  e de  $T$  no CH2.

$$\text{CH2: } V_{p-p} = 1,00 \text{ V/div} \times \text{_____ divisões} = \text{_____ V}$$

$$T = 250 \text{ } \mu\text{s/div} \times \text{_____ divisões} = \text{_____ s}$$

Continue para o próximo item 3, sem desligar o osciloscópio.

### 3. Tomada de dados

#### 3.1 Montagem do circuito RC e Medida da constante de tempo no domínio de tempo

Neste sub-item, serão feitas: (3.1.1) Montagem de um circuito RC em série; (3.1.2) Observação do sinal de decaimento exponencial da voltagem no capacitor,  $V_C$ ; (3.1.3) Coleta de dados no decaimento de  $V_C$ .

##### 3.1.1 Montagem de um circuito RC

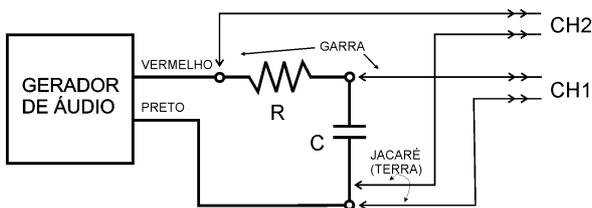


Figura 1. Circuito de RC e conexões.

(a) Como ilustra a Fig. 1, monte o circuito RC em série, e conecte  $V_C$  ao CH1 e a voltagem na saída do gerador de áudio ( $V_G$ ) ao CH2, através das respectivas pontas de prova.

(b) Ligue o gerador de áudio e escolha a forma de onda quadrada. Pressione o botão de painel **Auto Set** e ajuste a voltagem pico a pico de  $V_G$  a  $\sim 10$  V.

##### 3.1.2 Observação do sinal de decaimento de $V_C$

Para observar o decaimento de  $V_C$ , devem ser levados em conta a frequência da onda quadrada e o trigger. Siga as etapas seguintes:

(a) O período da onda quadrada,  $T$ , deve ser suficientemente maior que  $\tau$ , por exemplo,  $T = 20\tau$ , para poder determinar a linha de base do sinal (Fig. 2). Ajuste a frequência do gerador de áudio a  $f = 1/T = 1/(20\tau)$ . A diferença entre  $V_C$  e a voltagem correspondente à linha de base será chamada aqui  $\Delta V_C$ ;  $\Delta V_C$  é dada por  $\Delta V_C = (\Delta V_C)_0 \cdot \exp(-t/\tau)$  no decaimento, onde  $t$  é o tempo e  $(\Delta V_C)_0$  é  $\Delta V_C$  a  $t = 0$ .

(b) A “descida” de sinal, uma das opções no trigger, deve ser selecionada para observar o decaimento do sinal. Para isso, pressione o botão **Tri Menu** no controle **Trigger**. Pressione o terceiro botão de display e selecione **Inclinação > Descida**.

(c) Ajuste os botões no controle **Vertical** e no controle **Horizontal** para que o display exiba os dois sinais ao jeito da Fig. 2(a).

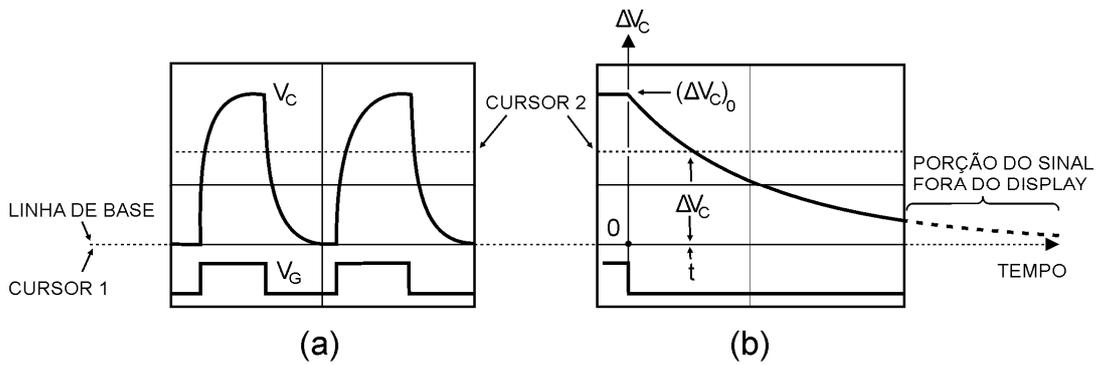


Figura 2. (a) Sobreposição do cursor 1 com a linha de base. (b) Ampliação da imagem ao longo do eixo de tempo e o sistema de coordenadas  $(\Delta V_C, t)$ .

### 3.1.3 Coleta de dados no decaimento de $V_C$

(a) Para medir  $\Delta V_C$  em um instante  $t$ , serão usados dois cursores de amplitude; um será sempre posicionado na posição da linha de base e o outro será ajustado a  $V_C$  no instante  $t$ .

(b) Para configurar os cursores de voltagem, siga as seguintes etapas:

- Pressione o botão de painel **Cursores**. Verificando a informação **Origem > CH1** na posição do segundo botão de display, pressione o primeiro botão de display e selecione **Tipo > Amplitude**.
  - Aparecem duas linhas horizontais amarelas no display; O cursor 1, que está ativo, é representado pela linha cheia, enquanto que o cursor 2, que está inativo, pela linha pontilhada.
- Atenção: (i) Para ativar o cursor 2, pressione o quinto botão de display, e para voltar a ativar o cursor 1, pressione o quarto botão de display; (ii) a diferença vertical na posição entre os cursores 1 e 2,  $\Delta V$ , que corresponde a  $\Delta V_C$  no nosso caso, será exibida na posição do terceiro botão de display.

(c) Posicione o cursor 1 (linha cheia) na posição da linha de base, como mostra a Fig. 2(a), ajustando o botão de painel esquerdo giratório, e ative o cursor 2.

(d) Ajuste os dois sinais como mostrados na Fig. 2(b) [2], controlando somente os botões do controle **Horizontal** (nunca mexa o controle **Vertical**, senão a posição da linha de base poderá se afastar da posição do cursor 1).

(e) Escolha aproximadamente 10 pontos do tempo  $t$  no display usando apenas os pontos entre  $(\Delta V_C)_0 \sim (\Delta V_C)_0/4$  e posicione o cursor 2 em  $V_C$  em cada ponto de tempo. Preencha a Tabela 1 estimando a incerteza de  $\Delta V_C$ . Não se esqueça de anotar as unidades.

Tabela 1. Dados de  $\Delta V_C$  versus tempo.

	$t$	$\Delta V_C$		$t$	$\Delta V_C$
1			5		
2			6		
3			7		
4			8		

### 3.2 Medidas da constante de tempo no domínio de frequência

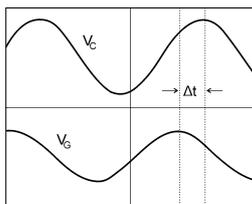


Figura 3. Sinais de  $V_C$  e  $V_G$ , e  $\Delta t$ .

Com o mesmo arranjo montado no sub-item 3.1, porém aplicando a voltagem com forma de onda senoidal desta vez, serão medidas em função da frequência da onda senoidal: (i) as voltagens pico a pico de  $V_G$  e  $V_C$  ( $V_{G, p-p}$  e  $V_{C, p-p}$ ); (ii) o atraso de tempo  $\Delta t$  entre as duas voltagens (veja a Fig. 3), que será convertida para a diferença de fase  $\Delta \phi$  em radianos através da relação:  $T/\Delta t = 2\pi/\Delta \phi$ .

Selecione a forma de onda senoidal do gerador de áudio e pressione o botão **Auto Set** no osciloscópio. Antes de tomar os dados, o osciloscópio será configurado para que: (3.2.1) as

medidas de  $V_{G, p-p}$  e  $V_{C, p-p}$ , sejam automáticas; (3.2.2) a diferença de tempo,  $\Delta t$ , seja medida com o auxílio de dois cursores de tempo.

### 3.2.1 Configuração para a exibição automática de voltagem pico a pico

- (a) Pressione o botão de painel **Medidas** e o primeiro botão de display. Verificando a informação **Origem > CH1** na posição do primeiro botão de display, pressione o segundo botão de display e selecione **Tipo > Pico a Pico**. Pressione o quinto botão de display correspondente a **Voltar** para sair. Verifique a exibição de valor de  $V_{C, p-p}$  no display.
- (b) Pressione o botão de painel **Medidas** e o segundo botão de display. Verificando a informação **Origem > CH2** na posição do primeiro botão de display (senão mude para CH2), pressione o segundo botão de display e selecione **Tipo > Pico a Pico**. Pressione o quinto botão de display e verifique a exibição de valor de  $V_{G, p-p}$  no display.

### 3.2.2 Configuração para os cursores de tempo

Pressione o botão de painel **Cursores** e o primeiro botão de display. Verificando a informação **Origem > CH1** na posição do segundo botão de display, pressione o primeiro botão de display e selecione **Tipo > Tempo**. A diferença horizontal na posição entre os cursores 1 e 2,  $\Delta t$ , será exibida na posição do terceiro botão de display.

Atenção: (i) Ao pressionar o botão de painel **Medidas**, o osciloscópio exibe os valores de  $V_{G, p-p}$  e  $V_{C, p-p}$ , enquanto que ao pressionar o botão de painel **Cursores**, os dois cursores estão disponibilizados; (ii) A configuração dos cursores se tornará inválida, se pressionar o botão **Auto Set**. Se quiser voltar, faça o procedimento acima.

Mudando a frequência de 100 Hz a 10 kHz,  $V_{C, p-p}$  deve diminuir, como esperado da equação (5.5) na apostila:  $V_{C, p-p} / V_{G, p-p} = 1 / \sqrt{1 + (2\pi f \tau)^2}$ , que define o ganho do circuito. Cheque preliminarmente tal fato. A faixa de frequência é de 100 Hz até 100 kHz. A escala linear de frequência usada na montagem de gráfico será convertida na logarítmica na base 10. Portanto, leve em consideração este fato ao escolher ~10 valores de frequência (por exemplo: 0,1, 0,2, 0,5, 1, 2, 5, 10, 20, 50, 100 kHz). Preencha a Tabela 2.

Tabela 2. Dados no domínio de frequência.

	Frequência	$V_{C, p-p}$	$V_{G, p-p}$	Ganho	$\Delta t$	$\Delta\phi$ (radianos)
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						

Qual voltagem está adiantada em relação à outra? \_\_\_\_\_

Depois de completar esta tabela, desligue o osciloscópio e o gerador de áudio.

## 4. Análise dos dados

- (a) Usando os dados na Tabela 1, monte um gráfico de  $\ln(\Delta V_C)$  em função do tempo  $t$  (gráfico 1) e trace no gráfico 1 uma reta linear de ajuste usando o programa ORIGIN. Imprima uma cópia do gráfico para anexá-lo a este guia.

(b) Com os dados na Tabela 2, monte dois gráficos de: ganho e  $\Delta\phi$ , em função da frequência  $f$  (gráficos 2 e 3, respectivamente). Converta a escala linear de  $f$  na escala logarítmica na base 10 e trace curvas de ajuste nos gráficos 2 e 3, selecionando *Analysis* do programa ORIGIN > *Nonlinear curve fit* > as respectivas funções “ganho” e “defasagem” [3]. A função usada para o ajuste no gráfico 2 é o ganho =  $A/[1 + (Bf)^2]^{1/2}$  e aquela no gráfico 3,  $\Delta\phi = \arctan(Bf)$ , onde  $B = 2\pi\tau$ . Imprima uma cópia de cada gráfico e anexe-as ao guia.

(c) Preencha os resultados obtidos de análise na Tabela 3, onde “*Int*”, “*Sl*” e “*DP<sub>i</sub>*” são, respectivamente, *Intersept* e *Slope* do ajuste do gráfico 1, e o desvio percentual dado por

$$\frac{|\bar{x} - \tau|}{\tau} \times 100, \text{ onde } i = 1, 2, 3.$$

Tabela 3. Os resultados obtidos pelos ajustes computacionais.

Gráfico 1	Gráfico 2	Gráfico 3
<i>Int</i> =	<i>A</i> =	—
<i>Sl</i> =	<i>B<sub>2</sub></i> =	<i>B<sub>3</sub></i> =
$\tau_1$ =	$\tau_2$ =	$\tau_3$ =
<i>DP<sub>1</sub></i> =                    %	<i>DP<sub>2</sub></i> =                    %	<i>DP<sub>3</sub></i> =                    %

Explique o comportamento do ganho em relação à  $f$  no gráfico 2.

---



---

Explique o comportamento de  $\Delta\phi$  em relação à  $f$  no gráfico 3.

---



---

#### Referencias:

- [1] Manual de Usuário, Osciloscópios de Armazenamento Digital, Série TDS2000C e TDS1000C-EDU, Tektronix, Inc.
- [2] [http://www.colorado.edu/physics/phys1140/phys1140\\_sp10/LabE4.pdf](http://www.colorado.edu/physics/phys1140/phys1140_sp10/LabE4.pdf).
- [3] A elaboração das duas funções utilizadas na análise no programa ORIGIN foi atribuída ao Sr. Carlos Eduardo Freitas, do Laboratório Didático do IFUSP.