

Trabalho 6: Osciloscópio e análise de tensões variáveis

Introdução à Física Experimental - 2020/21

Cursos: Lic. Física e M. I. Eng. Física

Departamento de Física - Universidade do Minho

Objectivos deste trabalho laboratorial:

- Familiarizar-se com os comandos dos osciloscópios (digital e analógico) e do gerador de funções.
- Utilizar o osciloscópio para visualizar diferenças de potencial (ddp) em função do tempo.
- Medir a constante de tempo de um circuito RC usando o osciloscópio.
- Medir período, frequência, amplitude e desfasamento de sinais eléctricos.

Material necessário

- osciloscópio digital (Agilent Digital Storage Oscilloscope DS03062A)
- osciloscópio analógico
- gerador de funções
- fonte de tensão contínua
- cabos coaxiais com entradas BNC
- fios de ligação
- placa de furos
- resistências de $\sim 100\Omega$ e $\sim 10\text{ k}\Omega$
- condensador de 10 nF

I. O osciloscópio

O osciloscópio é um aparelho cuja principal função é a de permitir visualizar num ecrã diferenças de potencial (ddp) em função do tempo. É particularmente útil para o estudo de tensões eléctricas que variam periodicamente com o tempo.

Os primeiros osciloscópios (analógicos) eram baseados na deflexão e deteção de um feixe de electrões. Neste tipo de aparelho a deteção é realizada a visualmente quando o feixe de electrões embate num ecrã fluorescente. Nos últimos anos estes aparelhos têm vindo a ser substituídos por osciloscópios digitais, cujo princípio de funcionamento é diferente. É este segundo tipo de osciloscópio que será preferencialmente utilizado neste trabalho prático, mas pode também familiarizar-se com o osciloscópio analógico. Será útil a leitura de algumas notas sobre o funcionamento do osciloscópio analógico, que se encontram no apêndice 1 do livro "Física experimental - uma introdução" de M. C. Abreu, L. Matias e L. F. Peralta, Editorial Presença, Lisboa, 1994. Apesar do princípio de funcionamento dos dois tipos de osciloscópio ser diferente, o modo de operar com ambos os aparelhos tem muitas semelhanças.

II. Gerador de funções

Um gerador de funções é uma fonte que fornece uma tensão variável no tempo, periódica (frequentemente designada por sinal). Um gerador de funções típico permite:

- seleccionar sinais sinusoidais, quadrados ou triangulares;
- seleccionar a frequência do sinal
- regular a amplitude do sinal
- acrescentar uma tensão contínua (DC) ao sinal seleccionado (normalmente identificado por '*DC offset*')

O gerador de funções possui normalmente duas saídas para ligação de um cabo coaxial com conector BNC. A saída principal (identificada por '*main*') fornece o sinal periódico seleccionado. A segunda saída, identificada por '*sync*', '*aux*' ou '*TTL*', fornece um sinal quadrado que pode ser usado para fazer a sincronização de outro aparelho (por exemplo, um osciloscópio) com o sinal fornecido na saída principal.

III. Exploração dos comandos básicos do osciloscópio digital

Na figura 1 apresenta-se o painel frontal do osciloscópio digital, onde é possível observar os comandos que permitem operar com o aparelho. Os procedimentos seguintes destinam-se a familiarizar-se com alguns destes comandos.

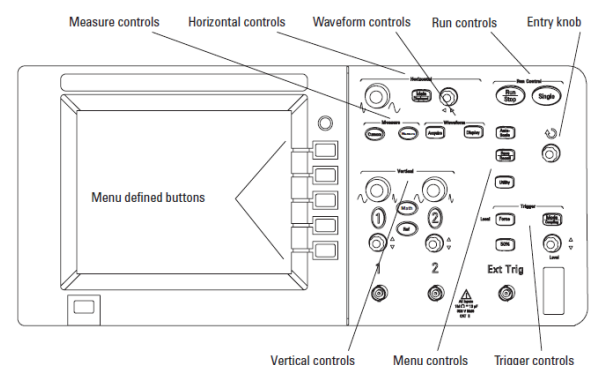
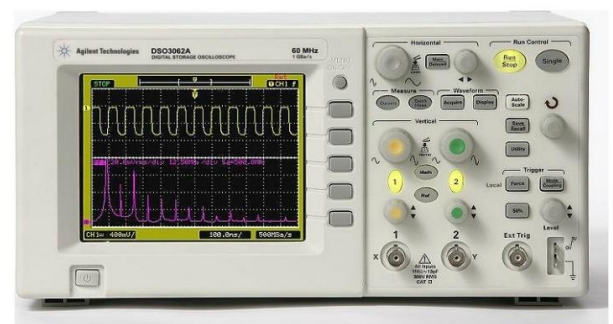


Figura 1: Fotografia (em cima) e esquema (em baixo) do painel frontal do osciloscópio Agilent Digital Storage Oscilloscope DS03062A.

III.1 – Modo *Y-T* e modo *X-Y*

Num osciloscópio o modo de funcionamento mais comum é o modo *Y-T*, que permite a visualização de uma tensão em função do tempo: a tensão é mostrada no eixo vertical e o tempo é mostrado no eixo horizontal. Neste modo de funcionamento é possível visualizar em simultâneo dois sinais, um em cada canal do osciloscópio. O outro modo de funcionamento, designado por modo *X-Y*, é usado para estudar uma tensão em função de outra. Neste modo de funcionamento a tensão fornecida ao canal 1 é mostrada no eixo *Y* (vertical) e a tensão fornecida ao canal 2 é apresentada no eixo *X* (horizontal).

No osciloscópio digital, prima o botão *Main/Delayed* e verifique que no menu apresentado é possível seleccionar entre o modo *Y-T* e *X-Y* premindo o botão correspondente a *Time Base*. Antes de prosseguir assegure-se que seleccionou o modo *Y-T*.

III.2 - Visualização de um sinal no osciloscópio

1. Ligue o osciloscópio digital.
2. Ligue o gerador de funções, selecione um sinal quadrado com uma frequência de aproximadamente 1 kHz e regule o botão da amplitude numa posição intermédia.
3. Usando um cabo coaxial com conectores BNC em ambas as extremidades, ligue a saída do gerador ao canal 1 do osciloscópio (entrada BNC na parte inferior do painel de comandos identificada por (1) em cima e X à esquerda).
4. Prima o botão “Auto-scale” e verifique que é possível visualizar um sinal quadrado no ecrã do osciloscópio. Note que, por defeito, o osciloscópio mostra uma tensão no eixo vertical e um tempo no eixo horizontal.
5. Na parte superior do painel, à direita, existem dois botões para iniciar e parar o sistema de aquisição do osciloscópio: *Run/Stop* e *Single*.

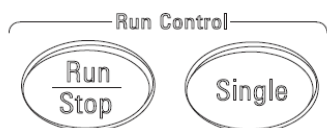


Figura 2: Botões *Run/Stop* e *Single*

Quando o botão *Run/Stop* está verde o osciloscópio está no modo de aquisição de dados. Para parar a aquisição, passando para o modo “congelado”, pressione *Run/Stop* (ao fazê-lo o botão deve ficar vermelho). Nessa altura a imagem mostrada no ecrã corresponde ao último sinal adquirido. Pressione de novo no mesmo botão para voltar ao modo de aquisição de dados. Para fazer uma única aquisição de dados, pressione o botão *Single*, (antes de atuar em *Single* o osciloscópio tanto pode estar no modo de aquisição como no modo congelado).

5. Observe o mesmo sinal mudando o cabo para o canal 2.

III.3 - Controlos verticais

Os controlos verticais servem para definir a posição e a escala do eixo vertical, separadamente para cada um dos canais.

1. Comando de posição vertical (ver figura 3): depois de voltar a ligar o sinal anteriormente seleccionado ao canal 1, use o comando que se situa imediatamente acima da entrada do canal 1 (comando de posição vertical) para deslocar o sinal verticalmente, para cima e para baixo. Note que este procedimento apenas desvia o sinal não afetando a sua forma.

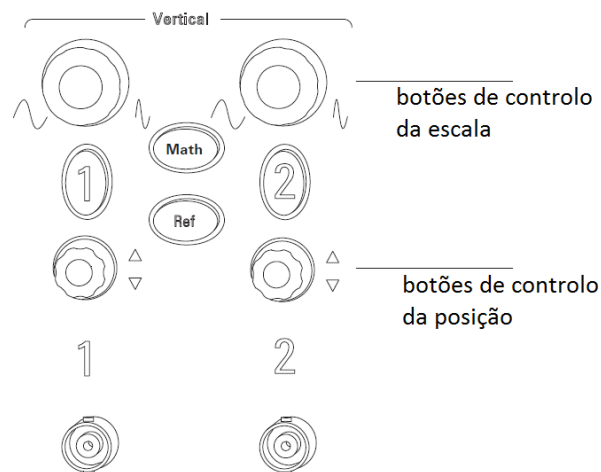


Figura 3: Controlos verticais.

2. Comando de escala vertical: rode o botão redondo acima de comando da escala vertical e verifique que a escala da tensão (por exemplo, V/div) é alterada. Note que para uma análise adequada da tensão, o sinal deve preencher o mais possível o ecrã, mas sem ultrapassar os seus limites. Note ainda que um procedimento inteiramente análogo pode ser efetuado quando o sinal é visualizado no canal 2.

III.4 - Controlos horizontais

Os controlos horizontais são usados para definir a posição e a escala do eixo horizontal. Estas duas funções são controladas nos dois comandos redondos situados na parte superior do painel: o botão da esquerda para definir o tempo por divisão (por exemplo, s/div) e botão da direita para controlar a posição (ver Figura 4).

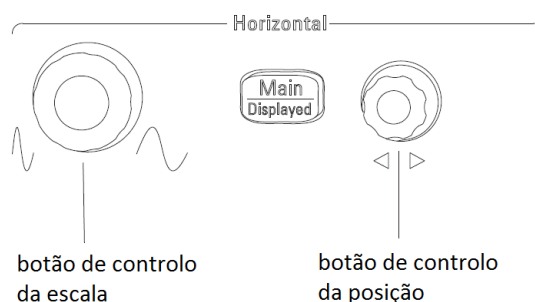


Figura 4: Controlos horizontais

Atue nos dois comandos e verifique as alterações provocadas na imagem do ecrã.

III.5 – Controlos de disparo de sincronismo (*trigger*)

O *trigger* define quando um sinal é adquirido e armazenado em memória, sincronizando o ciclo de medida do osciloscópio com o sinal de entrada. Para isso, antes de se iniciar cada uma das medidas que permite fornecer a imagem de um sinal que preenche o ecrã, é necessário que sistema faça um tempo de espera até que o sinal atinja um nível de tensão especificado. Deste modo, as diversas imagens que são apresentadas são sempre idênticas, tornando possível apresentar uma imagem estável do sinal no ecrã.

Na figura 5 apresentam-se os botões que estão associados à função *trigger*, situados no lado direito do painel do osciloscópio.

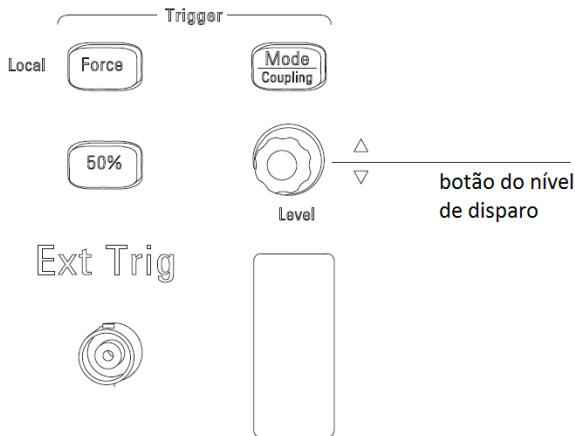


Figura 5: Controlos do *trigger*

1. Rode o botão do nível de disparo e verifique que se apresenta no ecrã: (i) o correspondente valor (no lado esquerdo, em baixo); (ii) uma linha mostrando a localização do nível de disparo. Desloque o nível do *trigger* dentro e fora da região de tensões onde está estabelecido o sinal e observe o efeito sobre a imagem apresentada.

2. Prima o botão '50%' e verifique que o nível de disparo é colocado na posição correspondente a 50% da amplitude do sinal.

3. Prima o botão 'Mode Coupling' para aceder ao menu do trigger.

4. Neste menu prima 'Mode' até seleccionar a opção 'Edge'.

5. Prima 'Source' para seleccionar o sinal que pretende sincronizar (canal 1, canal 2 ou externo).

6. Prima '*Slope*' (declive) para seleccionar se o disparo é produzido na fase ascendente (*rising edge*) ou descendente (*falling edge*) do sinal.

Nota: é possível efectuar uma aquisição mesmo numa situação em que não seja encontrado o '*trigger*', premindo o botão *Force*.

IV. Exploração dos comandos básicos do osciloscópio analógico (opcional)

Explore agora os comandos básicos do osciloscópio analógico, adaptando para este osciloscópio aquilo que já aprendeu no osciloscópio digital.

1. Comece por verificar que todas as escalas estão na posição "calibradas" (controlo CAL nos botões que seleccionam as

escalas TEMPO/DIV e V/DIV)

2. Ligue o osciloscópio (POWER ON) e aguarde que aqueça (cerca de dois minutos).

3. Coloque os comandos de MODO DE ENTRADA e FONTE DE TRIGGER na posição CH1 e MODO DE TRIGGER na posição AUTO.

4. Ajuste o comando de intensidade (INTENS.) para um valor intermédio.

Nota: Nunca deixe o ponto luminoso estacionar em qualquer ponto do ecrã com demasiada intensidade. Um feixe electrónico intenso num pequeno espaço do ecrã pode danificar e inutilizar a camada fluorescente. Mantenha o feixe com baixa intensidade.

5. Ajuste o comando de focagem (FOCUS) até obter um ponto focado no ecrã.

6. Coloque o osciloscópio a funcionar em modo *X-Y* (pode seleccionar os modos *Y-T* e *X-Y* rodando o botão da base de tempo (assinalado com TIME/DIV); o modo *X-Y* é seleccionado quando o botão é rodado até ao fim, no sentido dos ponteiros do relógio. Ajuste o nível de tensão zero:

- coloque as entradas do canal 1 (CH1) e canal 2 (CH2) ligadas à massa, posicionando em GND os comutadores de acoplamento do sinal para esses canais.

- com os botões de deslocamento vertical (*Y*) e horizontal (*X*) coloque o ponto brilhante no centro do ecrã.

7. Coloque o osciloscópio a funcionar em modo *Y-T* (rodando o comando da BASE DE TEMPO no sentido contrário aos ponteiros do relógio) e ajuste o nível de tensão zero:

- coloque a entrada do canal seleccionado (canal 1, se o MODO DE ENTRADA estiver na posição CH1, ou canal 2, se o MODO DE ENTRADA estiver na posição CH2) ligada à massa, posicionando em GND o comutador de acoplamento do sinal para esse canal;

- com o botão de deslocamento vertical, correspondente ao canal seleccionado, coloque o varrimento do ponto brilhante, ou o traço contínuo, centrado no ecrã.

8. Observe o que acontece quando a BASE DE TEMPO está em 0.2s/div, 0.1s/div, 50ms/div, 1ms/div.

Nota: quando mudar a escala da base de tempo convém ajustar o nível de tensão zero (como foi descrito no ponto 7).

9. Observe um sinal quadrado com uma frequência de aproximadamente 1 kHz ligando a saída do gerador aos canais 1 ou 2 do osciloscópio (entradas BNC identificadas com CH1 – X e CH2 – Y, respetivamente). Note que pode regular as escalas do tempo (eixo horizontal) e da tensão (eixo vertical) mexendo nos botões assinalados por TIME/DIV e VOLTS/DIV, respetivamente.

Para observar uma imagem estável no ecrã é necessário que o ciclo de medida do osciloscópio esteja sincronizado com o sinal de entrada. Esta sincronização é conseguida atuando no comando do nível de disparo (TRIGGER LEVEL) e no comutador declive (SLOPE +/-).

V – Medições com o osciloscópio

No osciloscópio digital as medidas podem ser realizadas manualmente, usando o retículo, ou automaticamente. No osciloscópio analógico apenas é possível realizar medidas com o retículo.

V.1 – Medições usando o retículo

As medidas manuais são realizadas usando o retículo do ecrã e as escalas (tensão/div e tempo/div) escolhidas. As medidas mais precisas da amplitude do sinal são conseguidas de maneira a que este preencha o mais possível o ecrã (mas sem ultrapassar os seus limites).

A amplitude do sinal obtém-se multiplicando o número de divisões do eixo vertical correspondente à amplitude pelo fator de escala. Por exemplo:

$$\text{Amplitude} = 5 \text{ divisões} \times 1 \text{ V/div} = 5 \text{ V}$$

É mais fácil medir a tensão pico-a-pico (entre o máximo e o mínimo do sinal) e dividir por dois para obter a amplitude.

O período do sinal obtém-se de forma análoga, mas relativamente ao eixo horizontal, medindo o tempo que decorre entre, por exemplo, dois máximos:

$$\text{Período} = 5 \text{ divisões} \times 200 \mu\text{s/div} = 1 \text{ ms}$$

A frequência do sinal é igual ao inverso do período. Por exemplo:

$$\text{Frequência} = 1/(1 \text{ ms}) = 1 \text{ kHz}$$

Seguidamente propõe-se a medida das características de alguns sinais:

1. Selecione um sinal sinusoidal no gerador de funções e use o osciloscópio (digital ou analógico, ou ambos) para, fazendo as medidas adequadas, garantir que a fonte fornece um sinal de 1500 Hz com uma amplitude de 2V.

2. Repita o procedimento para um sinal triangular de 2000 Hz e amplitude de 1V. Mantenha este sinal no osciloscópio para repetir estas medidas, mas automaticamente, no próximo ponto.

V.2 – Medições automáticas

O botão '*Measure*', situado na parte superior do painel do osciloscópio digital, entre os comandos verticais (ver figura 6), permite realizar várias medidas automaticamente.



Figura 6: botões para realizar medidas automáticas

1. Prima o botão '*Measure*'
2. No menu '*Measure*', selecione '*Source*' para escolher o canal onde se situa o sinal sobre o qual se pretende fazer as medidas.
3. Selecione '*Voltage*' (para medidas de tensão) ou '*Time*' (para medidas de tempo).
4. Prima o botão do menu para mostrar a medida da grandeza selecionada no ecrã. Na parte de baixo do ecrã aparecerá o valor das grandezas selecionadas (por exemplo, tensão pico-a-pico (V_{pp})).

Note que é possível mostrar um máximo de três medidas no ecrã. Se selecionar uma quarta medida, esta será acrescentada à direita das anteriores, fazendo desaparecer

aquela que estava mais à esquerda.

5. Usando o sinal triangular sobre o qual realizou medidas manualmente no ponto V.1, selecione as grandezas tensão pico-a-pico, período e frequência para medida automática e registe os valores.

V.3 – Medições com os cursores

Podem ainda usar-se um ou dois cursores para ajudar a realizar medidas de tensão e tempo no osciloscópio digital.

1. Prima o botão '*Cursors*' (situado à esquerda do botão '*Measure*').
2. No menu, prima '*Mode*' até selecionar '*Track*'.
3. Prima '*Cursor A*' para selecionar o canal a que o cursor A vai estar associado (ou prima '*None*' para desativar esta função).
4. Prima '*Cursor B*' para selecionar o canal a que o cursor B vai estar associado.
5. Para deslocar os cursores selecione '*CurA*' (ou '*CurB*') e rode o seguinte botão, situado do lado direito do painel:



Os valores mostrados no ecrã são:

- A -> X (valor medido pelo cursor A no eixo horizontal)
- A -> Y (valor medido pelo cursor A no eixo vertical)
- B -> X (valor medido pelo cursor B no eixo horizontal)
- B -> Y (valor medido pelo cursor B no eixo vertical)

Quando se usam os dois cursores, também são apresentados os seguintes valores:

- ΔX – diferença dos tempos medidos pelos cursores A e B
- $1/\Delta X$ – inverso do valor ' ΔX '
- ΔY – diferença dos valores de tensão medidos pelos cursores A e B

VI – Medida da constante de tempo de um circuito RC

Nesta parte do trabalho irá utilizar um gerador de funções e o osciloscópio digital para determinar a constante de tempo de um circuito RC.

1. Utilizando a placa de furos, monte o circuito RC mostrado na figura 8. Use, por exemplo, $R=10 \text{ k}\Omega$, $C=10 \text{ nF}$ e como tensão de entrada um sinal quadrado de frequência $\sim 500 \text{ Hz}$

e $V_{pp}=8\text{ V}$.

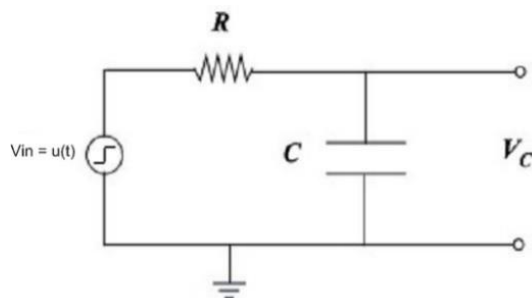


Figura 8: Circuito RC

2. Observe o sinal de entrada (do gerador) e o sinal de saída (aos terminais do condensador) nos canais 1 e 2 do osciloscópio digital, respectivamente. Não se esqueça que todas as terras têm que ser comuns. Deverá observar funções semelhantes àsquelas que são apresentadas na figura 9-a.

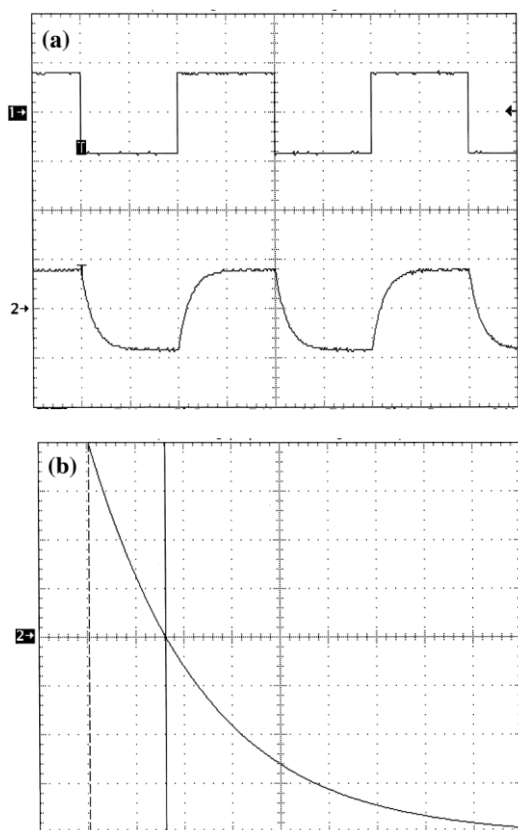


Figura 9: Medidas no osciloscópio para determinação da constante de tempo do circuito RC: (a) sinal quadrado de entrada (canal 1) e sinal de saída observado aos terminais do condensador (canal 2); (b) Ampliação das escalas do canal 2.

3. Desligue a visualização do canal 1 e utilize os comandos verticais e horizontais de modo a visualizar uma ampliação da tensão no processo de descarga, tal como se ilustra figura 9-b.

4. Utilizando o osciloscópio ligado ao computador registre a curva de tensão correspondente à descarga do condensador.

5. Utilize o processo de descarga para determinar a constante de tempo (τ) do circuito. Note que na descarga do condensador num circuito RC com constante de tempo τ , a

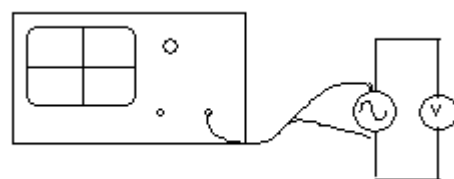
tensão aos terminais do condensador (V_C) varia com o tempo de forma exponencial:

$$V_C = V_0 e^{-t/\tau},$$

o que significa que o gráfico de $\ln(V_C)$ em função do tempo deve ser uma reta de declive igual a $-1/\tau$. Compare com o valor esperado ($\tau=RC$).

VII. Análise de uma tensão sinusoidal

Ligue em paralelo o multímetro e o osciloscópio ao seu gerador de funções como se indica na figura seguinte e, usando o osciloscópio, regule o último para um sinal sinusoidal com uma frequência de 500 Hz e uma tensão $V_{pp} = 3\text{ V}$.



Meça os seguintes valores de tensão aos terminais do gerador de funções utilizando o osciloscópio ou o voltímetro.

Amplitude da tensão: $V_{m\acute{a}x} = \underline{\hspace{2cm}}$

Tensão pico-a-pico: $V_{pp} = \underline{\hspace{2cm}}$

Tensão eficaz: $V_{ef} = \underline{\hspace{2cm}}$

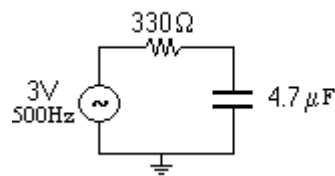
Período: $T = \underline{\hspace{2cm}}$

Verifique se os valores experimentais da tensão confirmam a relação esperada:

$$V_{ef} = \frac{V_{m\acute{a}x}}{\sqrt{2}}$$

VIII. Medição de desfaseamento entre sinais

a) Monte o circuito RC seguinte:



b) Meça a tensão aos terminais do condensador e o seu desfaseamento (ângulo) em relação à tensão da fonte, usando o osciloscópio.

$$|\overline{V_C}| = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$\text{Arg}(\overline{V_C}) = \underline{\hspace{2cm}}$$

Note que é necessário colocar no mesmo ponto as terras do gerador de funções e dos dois canais do osciloscópio.

Referências

- [1] *Física Experimental - Uma introdução*, M. C. Abreu, L. Matias, L. F. Peralta, Presença (1994)
- [2] *Agilent 3000 Series Oscilloscopes - User's and Service Guide*, Agilent Technologies, Inc., Fifth Edition (2010)