Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Física Experimental para Engenharia Informática

2019/2020 (1º. Semestre)

Nome: Diogo Pinto **nº** 52763 **Turma PL** 12

Nome: Francisco Ramalho **nº** 53472 **Grupo :** 3

Nome: João Funenga **nº** 53504 **Data:** 13 / 11 / 2019

Lab #6 – O Condensador e os Circuitos RC e CR

*Notas **Muitíssimo** Importantes* ***LEIA-AS*** *Notas **Muitíssimo** Importantes*

1. Registe os valores medidos *respeitando os algarismos significativos* (*a.s.*) dados pelos aparelhos.
   a. Nos multímetros escolha sempre a escala que dá mais *a.s.*.
   b. No osciloscópio escolha as escalas que expandem o sinal ao máximo possível e útil.
2. Inclua sempre as unidades de cada valor medido ou calculado.
3. Apresente os resultados finais dos cálculos respeitando os *a.s.* das parcelas.
4. *Nas leituras na grelha do osciloscópio* considere as incertezas $\delta x = \delta y = \pm 0{,}1 div$ (estimado).
5. As duas Pontas de Prova do osciloscópio têm o terminal da tensão de referência ("crocodilo") em comum e estão sempre com 0 volts (*e forçam-na*) proveniente da tomada de alimentação de 230V. S*elecione o modo "Acoplamento CC" nas entradas do osciloscópio*.
6. Quando se pede "*justifique...*" => fazer a dedução matemática baseada nas leis dos circuitos.

Equipamento necessário:

1. Gerador de tensão alterna, com frequência, amplitude e fase reguláveis. Painel Breadboard.
2. Osciloscópio digital com pontas de prova.
3. Resistência de 12 KΩ.
4. Condensador de 10 nF.

Objetivos

- Obter as curvas de carga e descarga do condensador e deduzir daí o valor de τ.
- Verificar a resposta dos circuitos RC e CR.
- Estudar nestes circuitos o comportamento de filtro em frequência.

Experiência 1 – Carga e Descarga do Condensador.

Objetivo: medir a tensão $V_C(t)$ durante a descarga e obter a constante de tempo.

No circuito representado na figura 1 os componentes têm o valor R= 12 kΩ e C= 10nF.

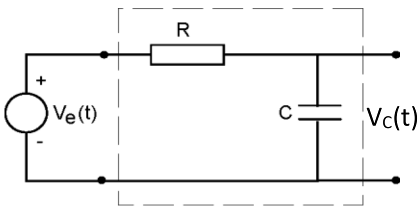


Figura 1. **Circuito RC**. Se o *sinal de entrada* $V_e(t)$ for quadrado e positivo e tiver um período T bem maior do que o "tempo característico" τ do par RC, então a tensão $V_C(t)$ aos terminais do condensador demonstra bem o processo de carga e descarga do mesmo.

1. Meça R e C com o multímetro e registe os valores e incertezas de leitura.

R = 11.08 ± 0.01 kΩ
C = 9.5 ± 0.1 nF

2. Calcule o valor da constante de tempo $\tau = RC \pm \Delta\tau$ (*ms*) com os *valores medidos*.

τ = RC = 11080 * 9.5*10^-9 = 0.00010526 s = 0.10526 ms

3. O gerador de sinais deve fornecer um sinal quadrado de frequência *f* = 1 kHz com tensão a variar entre $0 \leq Ve \leq \boldsymbol{V_m}$ = **7,5 volt**. Calcule analiticamente *o período* T_s deste sinal em *milissegundos*.

Ts= 1/f = 1/1000 = 0.001 s = 1.000 ms

A **equação 1** $V_C(t) = V_m\, e^{-t/\tau}$ descreve a tensão aos terminais do condensador, na sua descarga através de R. Define-se τ como a "constante de tempo" do par RC. Note que ao fim de t = τ (s) o condensador descarrega-se até e^{-1} = 36,8% do valor inicial V_m.

4. Calcule analiticamente o valor de T_s/τ e mostre que ao fim do tempo t=T_s o condensador está praticamente descarregado, ou seja, (*calcule!*) $V_C(T_s) \approx 0$V.

Ts/τ = $\frac{0.001}{0.00010526}$ = 9.5003

Vc(0.001) = $7.5\, e^{-9.5003}$ = 5.612*10^{-4} V

5. Monte o circuito representado na figura 1 utilizando os componentes especificados. Para obter o V_e(t) pretendido use a função de "*offset*" no gerador e selecione as opções "*mín*" e "*máx*" para o canal de V_e no osciloscópio. Observe V_e(t) (**Ch1**) e V_C(t) (**Ch2**) e use as opções de "*Medidas*".
6. Regule a base de tempo do osciloscópio para 50 µs/div e a escala vertical do canal **Ch2**=V_C para 1V/div, de modo a *visualizar a curva completa de descarga do condensador* no máximo do ecrã, ajustando o *trigger* e as posições X e Y. *Recolha imagens dos sinais observados e junte-as ao relatório.*
7. No menu de "*Cursores*" pressione "*Tipo*" → "*Tempo*" para o canal de V_C. Rode o botão de funções que movimenta os cursores e meça os valores (*Δt*, V_C) de 8 pontos ao longo da curva de descarga do condensador (*uma função exponencial negativa*), **entre V_m e ≈V_m/3**. *Registe esses valores*.
8. Represente os N resultados experimentais de (Δ*t*, ln(V_C)) = (x,y) com Δt em *ms*, num gráfico linear e ajuste uma linha reta. Registe aqui os valores do declive *m* e a ordenada na origem *b*.

m = - 8.8982
b= 6.2418

9. Linearize a Equação 1 aplicando o logaritmo natural *ln* à igualdade. Identifique os termos assim obtidos com o declive *m* e a ordenada na origem *b* da alínea anterior.

$\ln Vc = \ln(Vm * e^{\frac{-t}{\tau}}) = \frac{-t}{\tau} + \ln Vm = \frac{-1}{\tau} \times t + \ln Vm$

m = $\frac{-t}{\tau}$

b = $\ln Vm$

10. Determine o valor da constante de tempo τ a partir de *m*. Compare este resultado com o obtido na alínea 2 e comente. Atenção às unidades e aos a.s..

m = $\frac{-1}{\tau}$ (=) -9.5003 = $\frac{-1}{\tau}$ (=) τ = $\frac{-1}{-9.5003}$ (=) τ = 0.10526 ms

Comparando este valor com o da alínea 2, verificamos que são iguais. Isto porque o declive representa o inverso da constante de tempo

11. Com o valor de τ obtido em 10., calcule o valor da capacidade do condensador. Compare este resultado com o valor medido (com o capacímetro). Atenção às unidades e aos a.s..

Ve mantém-se sempre positiva. O condensador, ao carregar, o sentido da corrente gera uma tensão positiva na resistência. Na descarga do condensador, este sentido da corrente ir-se-á inverter, descarregando no sentido condensador -> resistências, gerando uma ddp negativa. A função Ch1-Ch2 representa a diferença entre o canal 1 e o canal 2, ou seja, a ddp nas resistências.

12. No osciloscópio selecione a função Ch1–Ch2. O que é? Junte a foto e interprete o que se observa.

Turma PL 12 nº 52763 nº 53472 nº 53504 Grupo : 3 Data: 13 / 11/2019

Experiência 2 – Resposta em Frequência do circuito RC.

Objetivo: Características de V_C *para frequências altas.*

1. *Aumente muito* a frequência do sinal quadrado até V_C ficar um sinal quase triangular e constante. Diminua o valor da base de tempo para verificar se o sinal fica mesmo triangular. Meça o valor médio de V_C e compare-o com $V_m/2$. *Recolha imagens dos sinais observados*.

Ao estarmos a aumentar muito a frequência, o período do sinal irá, pelo contrário, diminuir devido a $f = \frac{1}{T}$.

No entanto, a constante de tempo τ mantém-se inalterada porque o condensador e as resistências são iguais.
Ao estarmos a diminuir o, estamos também a reduzir o tempo que o condensador tem para carregar, nunca carregando assim completamente.
Como nunca chega a carregar totalmente, a sua descarga também é muito rápida.

$Vc(t) = Vm * e^{\frac{-t}{\tau}}$, Como a frequência aumenta, t diminui (por ser o inverso da frequência) com $f \to +\ln f$ e $t \to 0$, então $\frac{-0}{\tau} = 1$, e, substituindo na equação 1, $Vm(t) = Vm * 1 = Vm$, o que dá origem a uma reta. Com isto, no osciloscópio apenas visualizamos uma reta tanto para a carga como para a descarga, dando assim um aspeto triangular. O valor médio medido de Vc foi de 3.73V, cerca de metade de 7.5V. Isto deve-se ao pouco tempo do ciclo carga-descarga, o Vc será cerca de metade do Vm.

Experiência 3 – Sinais sinusoidais e o filtro "passa baixo" RC.

Objetivo: Estudar a amplitude de "saída" de V_C *no circuito RC, em função da frequência.*

Quando se usa um sinal sinusoidal em V_e, a amplitude do sinal de saída V_C não é constante com a frequência *f*. Isto é devido à impedância Zc do condensador ser dependente de *f*, além de complexa: $Zc = -j/\omega C$ (onde $j = \sqrt{-1}$). A relação entre V_C e i_c do condensador também cria um desfasamento com ângulo ϕ entre V_e e V_C, calculado por $\tan(\phi)=\omega\,\tau$, ou seja, é dependente de *f*.

Vejamos apenas o caso da amplitude. O circuito RC (na fig. 1) mostra que a amplitude A_C (de V_C) é calculada em função da amplitude de entrada A_e, pela fórmula do divisor de tensão:

$$A_C(\omega) = \left|\frac{Zc}{R+Zc}\right| A_e = \left|\frac{\frac{-j}{\omega C}}{R + \frac{-j}{\omega C}}\right| A_e = \frac{\frac{1}{\omega C}}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} A_e = \frac{1}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} A_e$$

Equação 2

Procedimento experimental: para estudar a resposta em frequência do circuito é necessário medir a amplitude A_C para várias frequências de $V_e(\omega,t)$. **Nota**: use as entradas do osciloscópio em modo CC.

1. Altere o sinal fornecido pelo gerador para o tipo sinusoidal: $V_e(\omega,t) = A_e \,\mathrm{Sen}(\omega t)$, onde $A_e = 10$ V. Meça e registe o valor pico a pico e determine a amplitude do sinal.

V_{pp} medido = 20.4 ± 0.1V
A_e medida = 10.2 ± 0.1V

2. Mantendo a amplitude A_e constante, meça e registe as amplitudes pico a pico = $2A_C$ (de V_C) para as 11 frequências *f* : {50, 250, 600} Hz e {1.4, 2.9, 7, 16, 35, 90, 300, 500} kHz.

NOTA: Use o botão "*Medições*" ("*Measures*") do osciloscópio para obter diretamente as amplitudes pico-a-pico de V_e e V_C assim como a frequência do sinal. *Guarde as imagens das medições feitas*.

3. Aos valores registados acrescente o ponto teórico (10Hz, A_e). Com os N=12 valores construa um gráfico com *o eixo X em escala logarítmica*, correspondente à série (*f*, A_C/A_e) = (x,y).

4. Usando o valor teórico de A_C/A_e dado pela equação 2, acrescente à folha de cálculo uma coluna com este valor teórico, para cada frequência *f* medida. Ao gráfico anterior acrescente esta nova série de pontos (*f*, $(A_C/A_e)_{teórico}$), escolhendo as opções (Excel) de "*nenhum marcador*" e curva "*suavizada*" vermelha a uni-los. *Junte o gráfico completo ao relatório*.

5. Comente os resultados obtidos, *baseando-se na Equação 2*. Justifique a designação de "filtro passa baixo" (em frequência) para o circuito RC.

Pela equação 2, quando $f \rightarrow +\ln f$, $\omega \rightarrow +\ln f$ porque $\omega = 2\pi f$. Com isto, a equação 2 $\rightarrow 0$ logo $Ac \rightarrow 0$.
A designação "filtro passa-baixo" deve-se ao facto de a tensão no condensador apenas se manter aproximadamente igual quando a frequência do sinal do gerador tem valores baixos.
Isto porque $\lim(\omega \rightarrow 0)\ eq2 = Ae$, logo para frequências muito baixas, Ac é aproximadamente igual a Ae.
Caso a frequência seja alta, como escrito em cima, Ac tenderá para 0.
Resumidamente, um filtro passa baixo permite a passagem de baixas frequências e impede a passagem de frequências altas.

Experiência 4 – O circuito CR como filtro "passa alto"

Objetivo: Estudar a resposta em frequência de um circuito CR.

Nota: selecione as entradas do osciloscópio para modo AC

1. Troque a ordem dos componentes R e C. Obtém-se um circuito designado por CR.
2. Repita o procedimento de variar a frequência *f* do gerador para obter a resposta do circuito CR na amplitude V_R *aos terminais da resistência*. Faça o gráfico, interprete o resultado e justifique porque se designa o circuito por "filtro passa alto". *Junte fotos do que se observa*.

Neste caso, ao contrário do passado (por termos um circuito CR em vez de um RC), quando temos uma frequência baixa, verificamos que a tensão na resistência é muito baixa, quase 0.
Pelo contrário, ao aumentarmos a frequência começamos a ver valores de tensão na resistência a tenderem para o valor de tensão do gerador devido ao divisor de tensão criado pelo condensador.
Pela equação 3, $\lim(\omega \rightarrow 0)\ eq3 = 0$ e $\lim(\omega \rightarrow +\ln f)\ eq3 = Ae$. Com isto concluímos que quando a frequência é baixa, a tensão na resistência será aproximadamente 0, e quando é alta, será aproximadamente
igual à tensão do gerador.
Resumidamente, um filtro passa alto permite a passagem de altas frequências e impede a passagem de frequências baixas. Quando temos uma frequência baixa, $Ar \rightarrow 0$. Quando temos uma frequência alta, $Ar \rightarrow Ae$.

NOTA: repare que o circuito CR é um divisor de tensão em que C está em série com R, resistência que se encontra ligada à massa. Assim,

$$A_R(\omega) = \left|\frac{R}{R + Zc}\right| A_e = \left|\frac{R}{R + \frac{-j}{\omega C}}\right| A_e = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \frac{1}{(\omega C)^2}}} A_e = \frac{\omega RC}{\sqrt{1 + (\omega RC)^2}} A_e$$

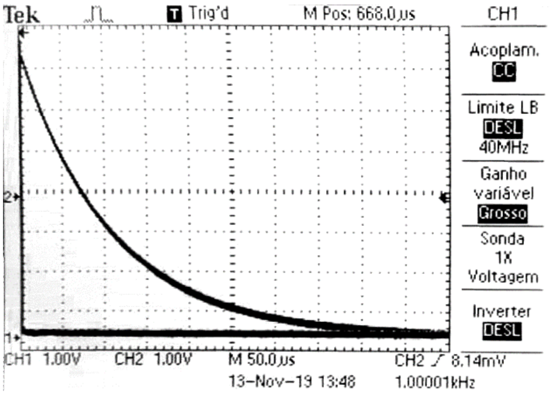
Equação 3. Resposta em frequência da amplitude de saída A_R do filtro CR.
Note que quando $\omega \rightarrow 0 \Rightarrow A_R \rightarrow 0$, e quando $\omega \rightarrow +\infty \Rightarrow A_R \rightarrow A_e$

Entrega obrigatória do relatório na Semana Seguinte

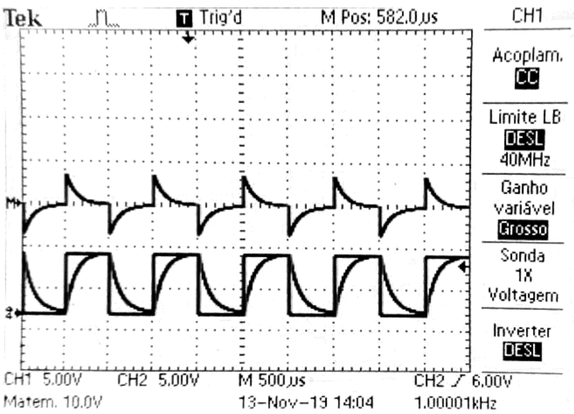
Turma PL 12 nº 52763 nº 53472 nº 53504 Grupo : 3 Data: 13 / 11/2019

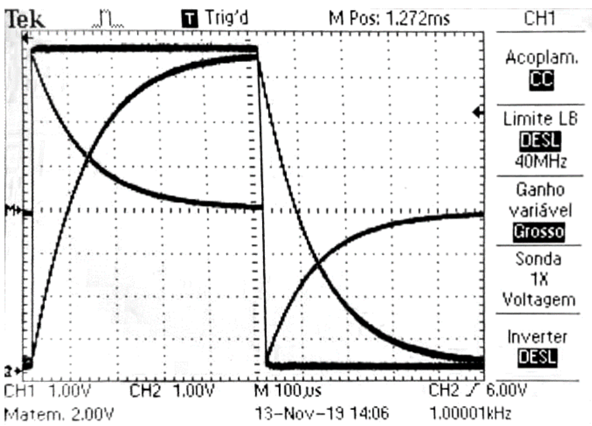
Imagens

Exp.1 Exerc.6

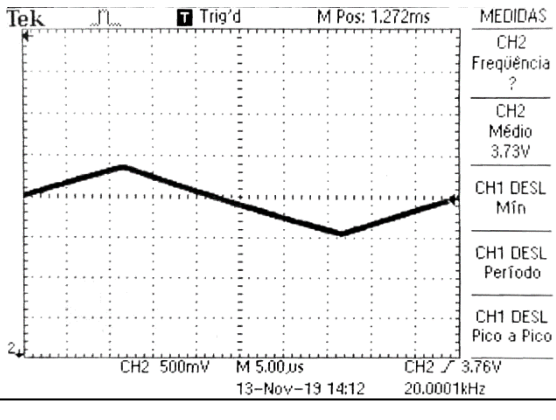


Exp.1 Exerc.12

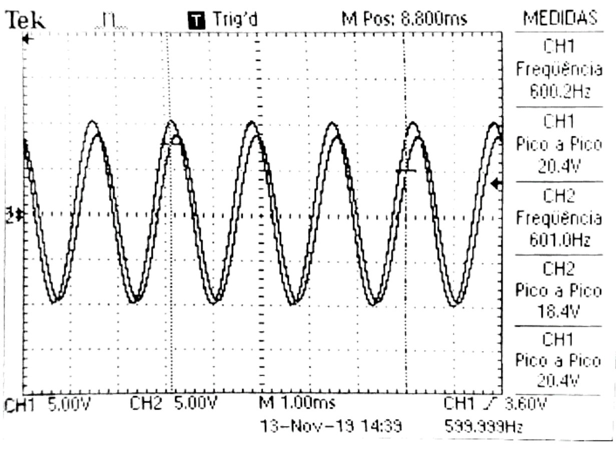


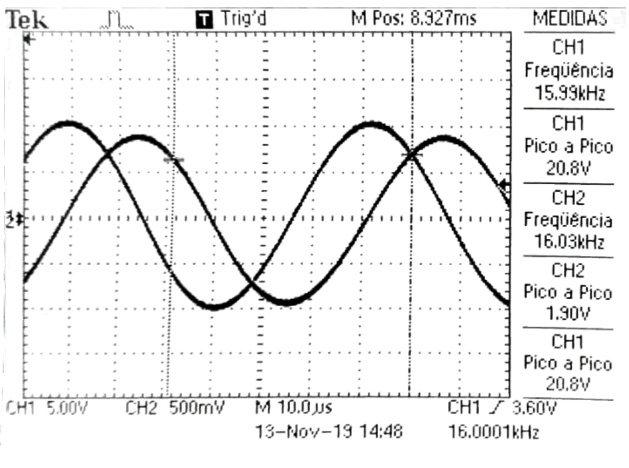


Exp.2 Exerc.1

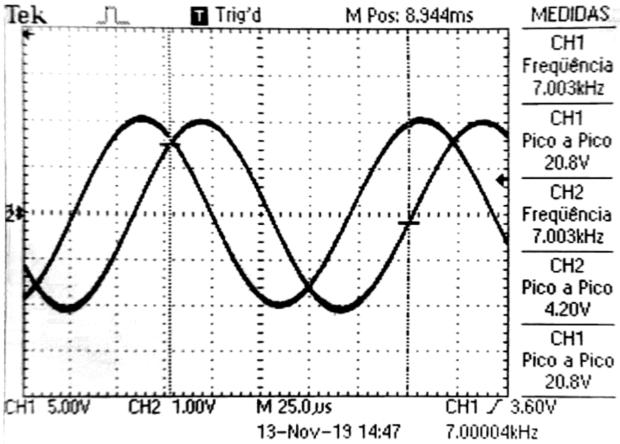


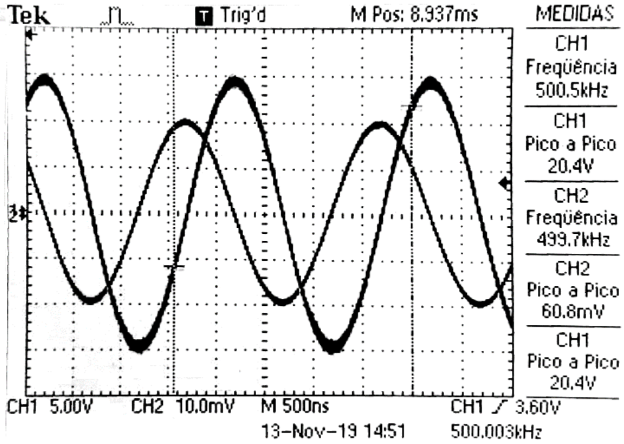
Exp.3 Exerc.2

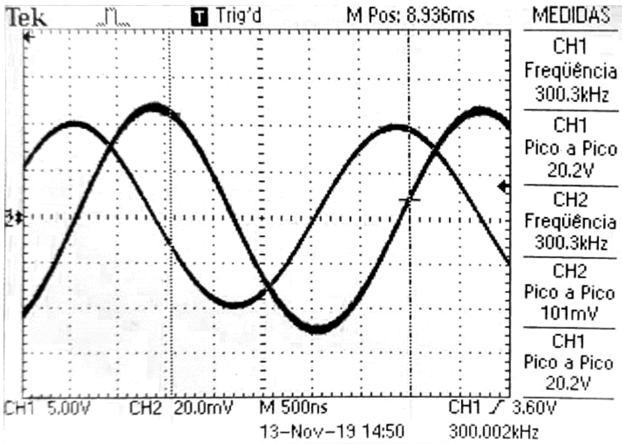


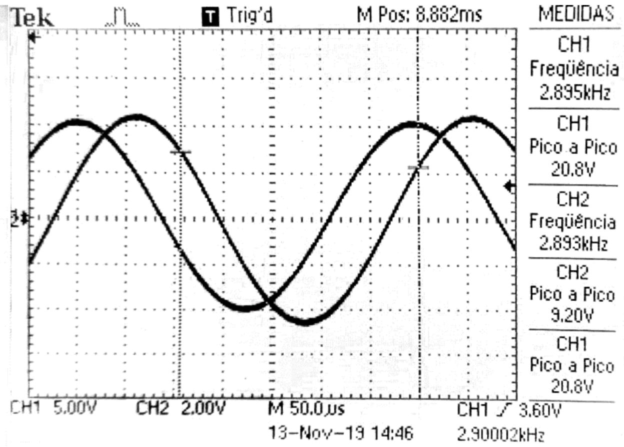


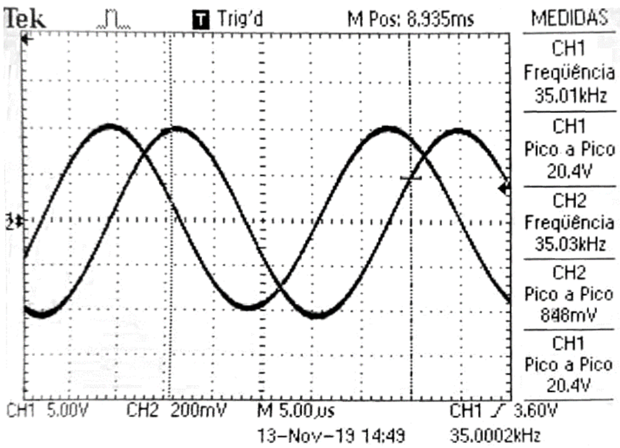
Turma PL 12 **nº** 52763 **nº** 53472 **nº** 53504 **Grupo :** 3 **Data:** 13 **/** 11**/2019**

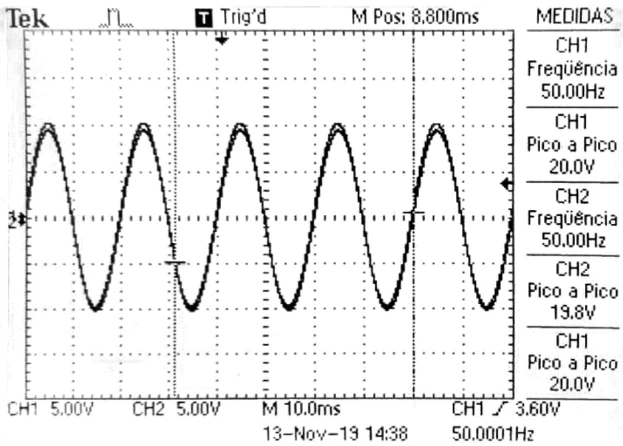


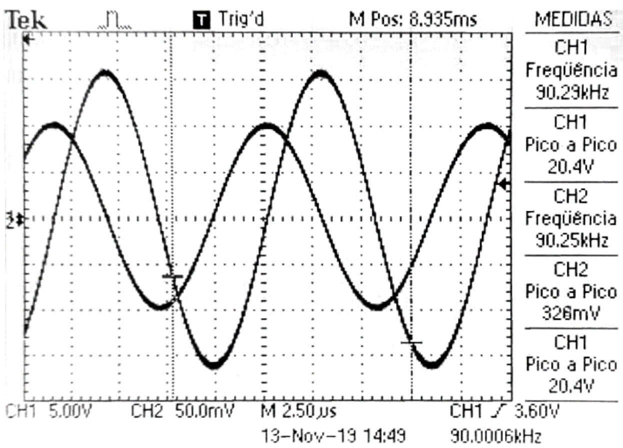


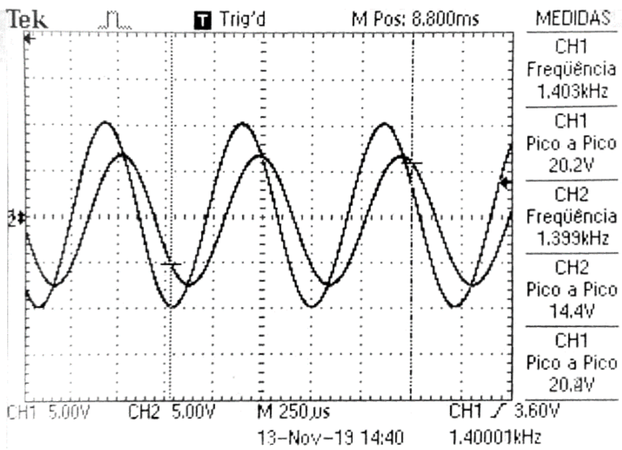






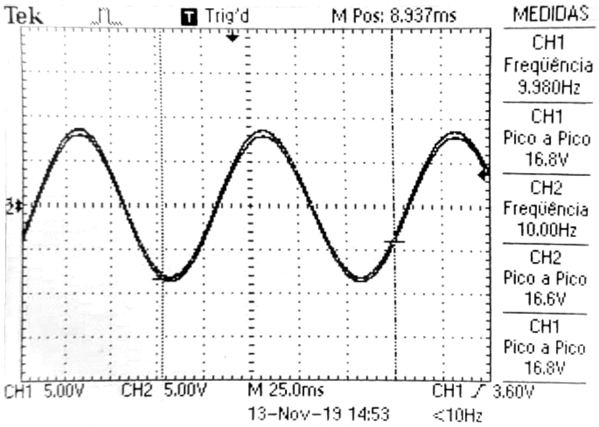




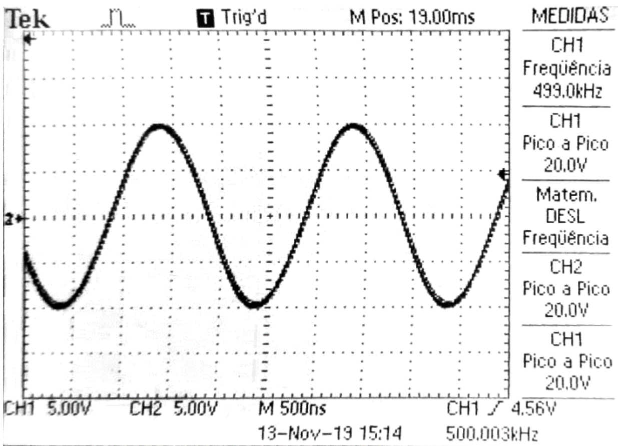


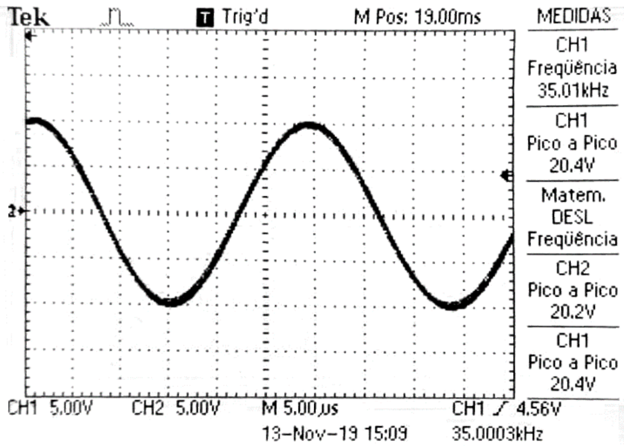
Turma PL 12 **nº** 52763 **nº** 53472 **nº** 53504 **Grupo :** 3 **Data:** 13 **/** 11**/2019**

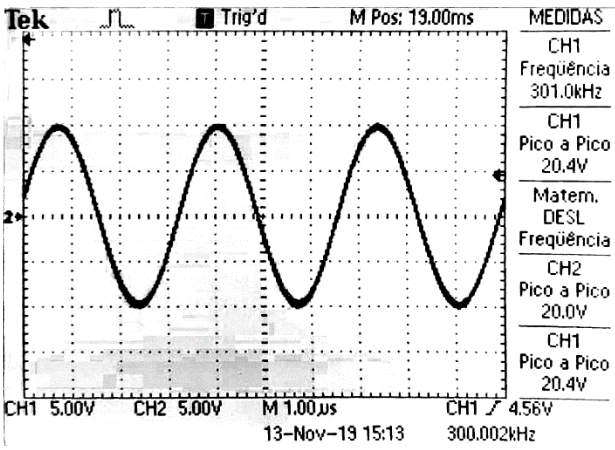
Exp.3 Exerc.3

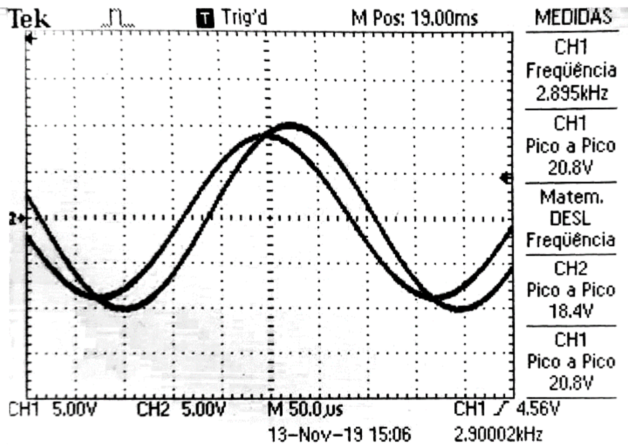


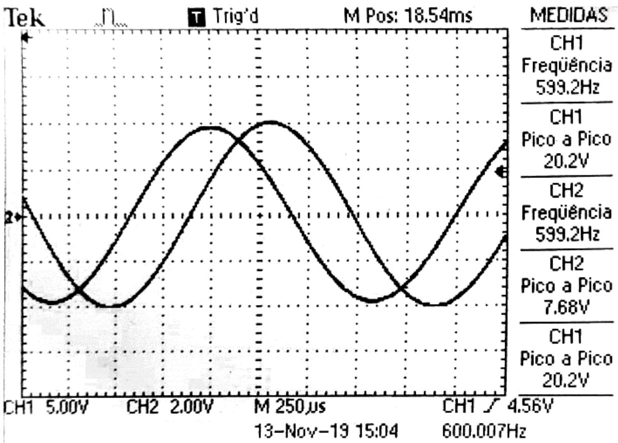
Exp.4 Exerc.2

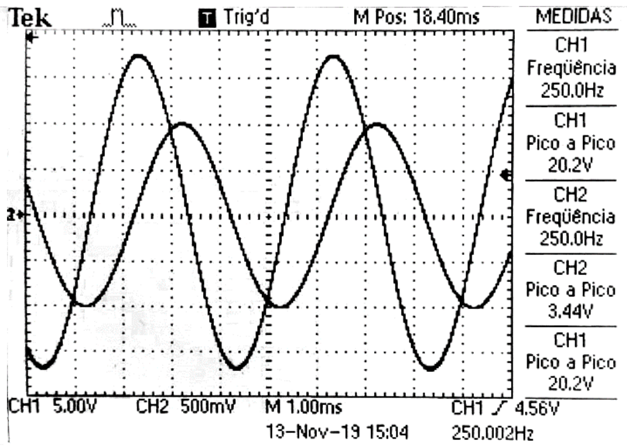












Turma PL 12 **nº** 52763 **nº** 53472 **nº** 53504 **Grupo :** 3 **Data:** 13 **/** 11**/2019**