

4 – Osciloscópio e circuito RC

Objectivos – Exploração das funcionalidades básicas do osciloscópio. Utilização do gerador de funções. Influência da impedância de entrada do osciloscópio nas medições. Estudo da resposta do circuito RC nos domínios do tempo e da frequência.

4.1 – Gerador de funções e osciloscópio

Ligue o cabo do gerador de funções (ou gerador de sinal AC) ao Canal 1 do osciloscópio usando uma ponta de prova. Coloque o comutador da ponta de prova na posição X1. A pinça crocodilo da ponta de prova deve estar ligada à pinça crocodilo de cor preta do cabo do gerador.

$$V_{ff} = 6\text{V} (3\text{V})$$

- a) Ajuste o gerador de funções para ter na saída uma tensão sinusoidal de frequência 2KHz e 3V de amplitude. Visualize este sinal no osciloscópio premindo o botão AUTOSET. $L f = 2,023\text{Hz}$
Confirme os valores de amplitude e frequência usando primeiro a medição automática do osciloscópio e depois a medição manual, contando divisões na grelha do ecrã.

b) No gerador de funções altere a amplitude e a frequência do sinal. No osciloscópio ajuste a base de tempo e a atenuação vertical, de forma a ter visível no ecrã dois ou três períodos do sinal. Visualize também outras formas de onda.

c) Mude o comutador da ponta de prova para a posição X10 e veja o que sucede ao valor medido da amplitude. Altere agora a atenuação do osciloscópio para X10.

A amplitude sofre uma pequena diminuição, mas foi pouco significativa ($V = 5,80\text{V}$)
O sinal sofre uma pequena alteração

4.2 – Efeito da impedância do osciloscópio

Monte na placa branca o circuito da fig. 4.1 com $R_1 = 10k\Omega$ e $R_2 = 4.7k\Omega$. A fonte de tensão é o gerador de funções. Ligue o cabo deste de acordo com as indicações na figura.

Note que a pinça de cor preta do gerador define, no circuito, o nó de referência. Ligue as pontas de prova dos canais 1 e 2 do osciloscópio de acordo com a fig. 4.1. Coloque os comutadores de ambas as pontas de prova na posição X1.

- a) Ajuste o gerador de sinal para uma tensão sinusoidal de frequência 200Hz e 10Vp-p (valor pico a pico; 5V de amplitude). Visualize no osciloscópio, simultaneamente, os sinais dos canais 1 e 2 e meça as respectivas amplitudes. A tensão medida no Canal 2 (V_o) está de acordo com o valor esperado?

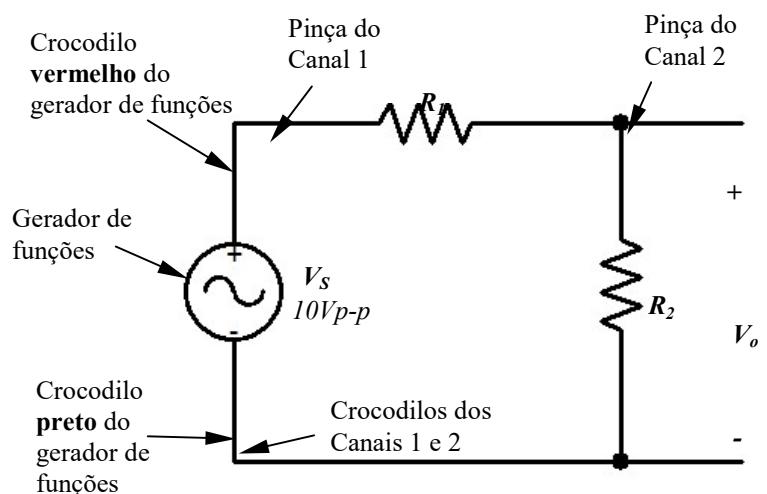
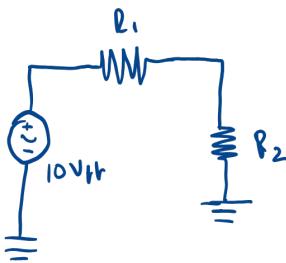


Fig. 4.1



$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$$

8. (680Ω) - Equivalente de Thevenin

Utilizando uma resistência de $322,5 \Omega$ (R_T) e uma fonte $7,18 \text{ V}$ (V_T) medida a tensão aos terminais da uma segunda resistência em duas medições diferentes e verificares se o valor é idêntico ao medido c/ a resistência de 680Ω .

a) $V_{TH} = 10 \text{ V} \Rightarrow V = 5 \text{ V}$

Africar o divisor de tensão:

$$\cdot V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{TH}$$

$$\Leftrightarrow V_o = \frac{4,7 \times 10^3}{(10 + 4,7) \cdot 10^3} \alpha 10 \Leftrightarrow V_o \approx 3,2 \text{ V}$$

1. Ligo a R de 680Ω ao circuito original e migo tensão nos terminais

2. Substitui o circuito original pelo equivalente de Thevenin, ligando fonte ($7,18 \text{ V}$) em série c/ R de $322,5 \Omega$ e ligo de novo 680Ω . Medir a tensão. Comparar valores (parâmetros \rightarrow circuito equivalente)

\hookrightarrow Tensão Pico a Pico

b) $R_1 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$

$$\cdot V_o = \frac{1 \cdot 10^6}{1 + 1 \cdot 10^6} \alpha 10 = 5 \text{ V}_{TH}$$

Valor experimental

$$V_{TH} = 10 \text{ V}$$

$$V_{TH2} = 3,4 \neq 5$$

\hookrightarrow Não está de acordo c/ o valor teórico, o motivo é o efeito da impedância do osciloscópio em paralelo

c) Valores experimentais:

$$V_{TH1} = 9,92 \text{ V}; V_{TH2} = 4,80 \text{ V} (\approx 5 \text{ V})$$

As farden para $10X$ é melhor pois o circuito de entrada no osciloscópio fica insensível à frequência de sinal

4. 220Ω círculo - circuito-todo

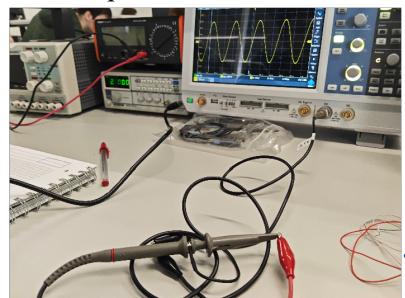
$V_i \text{ medida} = 3,06 \text{ V}$

P: Se a resistência de 220Ω estiver
círculo-circutada é o mesmo coisa que temos
a resistência de 330Ω em paralelo

Removendo R_{220} a Term V_1 diminui, pois
as tensões tanto a $R_{330} + R_{220}$ são menores
do que a tensão de R_{330} c/ R_{220}

4 – Osciloscópio e circuito RC

Objectivos – Exploração das funcionalidades básicas do osciloscópio. Utilização do gerador de funções. Influência da impedância de entrada do osciloscópio nas medições. Estudo da resposta do circuito RC nos domínios do tempo e da frequência.



4.1 – Gerador de funções e osciloscópio

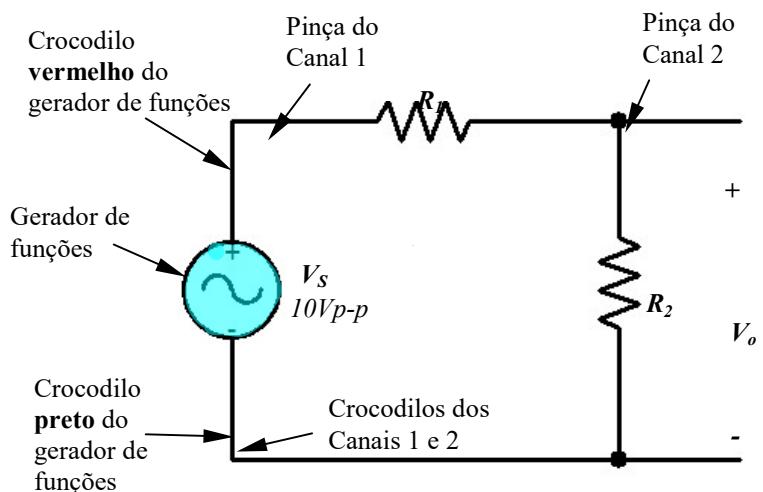
Ligue o cabo do gerador de funções (ou gerador de sinal AC) ao Canal 1 do osciloscópio usando uma ponta de prova. Coloque o comutador da ponta de prova na posição X1. A pinça crocodilo da ponta de prova deve estar ligada à pinça crocodilo de cor preta do cabo do gerador.

- a) Ajuste o gerador de funções para ter na saída uma tensão sinusoidal de frequência **2KHz** e **3V** de amplitude. Visualize este sinal no osciloscópio premindo o botão AUTOSET. Confirme os valores de amplitude e frequência usando primeiro a medição automática do osciloscópio e depois a medição manual, contando divisões na grelha do ecrã.
- b) No gerador de funções altere a amplitude e a frequência do sinal. No osciloscópio ajuste a base de tempo e a atenuação vertical, de forma a ter visível no ecrã dois ou três períodos do sinal. Visualize também outras formas de onda.
- c) Mude o comutador da ponta de prova para a posição X10 e veja o que sucede ao valor medido da amplitude. Altere agora a atenuação do osciloscópio para X10.

4.2 – Efeito da impedância do osciloscópio

Monte na placa branca o circuito da fig. 4.1 com $R_1 = 10k\Omega$ e $R_2 = 4.7k\Omega$. A fonte de tensão é o gerador de funções. Ligue o cabo deste de acordo com as indicações na figura. Note que a pinça de cor preta do gerador define, no circuito, o nó de referência. Ligue as pontas de prova dos canais 1 e 2 do osciloscópio de acordo com a fig. 4.1. Coloque os comutadores de ambas as pontas de prova na posição X1.

- a) Ajuste o gerador de sinal para uma tensão sinusoidal de frequência **200Hz** e **10Vp-p** (valor pico a pico; **5V** de amplitude). Visualize no osciloscópio, simultaneamente, os sinais dos canais 1 e 2 e meça as respectivas amplitudes. A tensão medida no Canal 2 (V_o) está de acordo com o valor esperado?

**Fig. 4.1**

$$f = \frac{1}{T}$$

Amplitude: $V_{ff} = (\text{número de divisões verticais}) \times (\text{escala V/div})$

4.2)

a) Medição com $R_1 = 10\text{ k}\Omega$ e $R_2 = 4.2\text{ k}\Omega$

$$\text{Tensão de saída: } V_o = V_s \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} = 10\text{ V} \times \frac{4.2}{10 + 4.2} \approx 3.2\text{ V}_{p-p}$$

b) Medição com $R_1 = R_2 = 1\text{ M}\Omega$

Resistência equivalente de R_2 é:

$$R_{eq} = \frac{R_2 \cdot R_{ase}}{R_2 + R_{ase}} = \frac{1\text{ M} \cdot 1\text{ M}}{1\text{ M} + 1\text{ M}} = 500\text{ k}\Omega$$

Isto muda o divisor de tensão

$$V_o = 10\text{ V} \times \frac{500\text{ k}\Omega}{1\text{ M} + 500\text{ k}\Omega} \approx 3.3\text{ V}_{f-f}$$

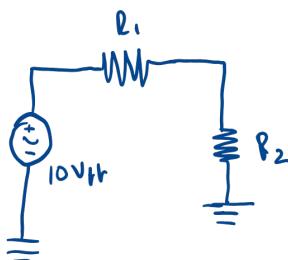
c) Impedância do osciloscópio sobe para $10\text{ M}\Omega$ ($1 \cdot 10^{\downarrow}$) Fator X

$$R_{eq} = \frac{1\text{ M} \cdot 10\text{ M}}{1\text{ M} + 10\text{ M}} \approx 0.91\text{ M}\Omega$$

$$V_o = 10\text{ V} \times \frac{0.91\text{ M}\Omega}{1\text{ M}\Omega + 0.91\text{ M}\Omega} \approx 4.78\text{ V}_{f-f}$$

Conclusão:

- Em X1, a medição é menor do que o esperado por causa da carga do osciloscópio
- Em X10, a medição fica mais próxima ao valor teórico



$$R_1 = 10 \text{ k}\Omega$$

$$R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$$

a) $V_{TH} = 10 \text{ V} \Rightarrow V = 5 \text{ V}$

Afícais o divisor da tensão:

$$\bullet V_o = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot V_{TH}$$

$$\Leftrightarrow V_o = \frac{4,7 \times 10^3}{(10 + 4,7) \cdot 10^3} \times 10 \Leftrightarrow V_o \approx 3,2 \text{ V}$$

b) $R_1 = R_2 = 1 \text{ M}\Omega$

$$\bullet V_o = \frac{1 \cdot 10^6}{1 + 1 \cdot 10^6} \times 10 = 5 \text{ V}_{TH}$$

6. Equivalente da Thévenin

Medição 1: $V_T = 4,11 \text{ V}$?? Valor estranho

Removendo a resistência de 560Ω e/ a fonte ligada, fazemos a medição da tensão nos terminais onde a resistência estava anteriormente ligada

Medição 2: $I = 21,3 \text{ mA}$

Tendo ainda a resistência removida com o auxílio do amperímetro, medimos a corrente onde a resistência estava mais numa vez

$$R_T = \frac{V_T}{I} = \frac{4,11}{21,3 \times 10^{-3}} \approx 193 \Omega$$

L Tensão Fico a Poco

Valor experimental

$$V_{TH} = 10 \text{ V}$$

$$V_{TH2} = 3,4 \neq 5$$

L Não está de acordo c/ o valor teórico, o motivo é o efeito da impedância do osciloscópio em função

c) Valores experimentais:

$$V_{TH1} = 9,92 \text{ V} ; V_{TH2} = 4,80 \text{ V} (\approx 5 \text{ V})$$

As farden para $10X$ é melhor pois o circuito de entrada no osciloscópio fica insensível à frequência de sinal

b) Repita a alínea anterior usando $R_1 = R_2 = 1M\Omega$. Desta vez a tensão medida no canal 2 (V_o) está de acordo com o valor teórico esperado? Como explica a discrepância? **3,46 V**

c) Repita o procedimento anterior mas agora com os comutadores de ambas as pontas de prova na posição X10 (não se esqueça de configurar no osciloscópio os canais 1 e 2 também em X10)⁶.

4.3 – Circuito RC: resposta no tempo

Voltando ao valor de $R_1 = 10k\Omega$, substitua R_2 por um condensador $C = 47nF$, obtendo assim um circuito **RC passa-baixo** (fig. 4.2). Ajuste agora o gerador de funções para uma saída **quadrada** a variar entre -5 e +5V (10Vp-p). Comece com uma frequência de **200Hz**.

a) Compare qualitativamente os sinais em V_s e V_o . Veja o que sucede ao sinal em V_o quando aumenta a frequência do gerador acima dos **200Hz**. Explique.

Este circuito é também conhecido por **integrador** porque, para certas gamas de frequência, V_o é aproximadamente proporcional ao integral de V_s . Verifique isso.

b) Meça o tempo que a tensão V_o demora a ir desde o início da transição até ao instante em que completa **63%** da excursão total. Como relaciona o valor obtido com os valores de R_1 e C ?

c) Troque agora as posições relativas da resistência e do condensador no circuito. A tensão de saída, V_o , passa a ser tomada aos terminais da resistência.

Verifique qualitativamente o comportamento do circuito para frequências entre **50Hz** e **1kHz**. Tente explicar a forma de onda que observa em V_o .

Este circuito é conhecido por **diferenciador** porque, para certas gamas de frequência, V_o é aproximadamente proporcional à derivada de V_s . Será que isso acontece para frequências baixas ou para frequências elevadas?

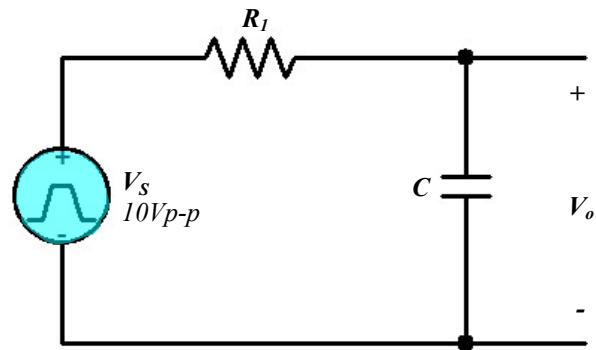


Fig. 4.2

4.4 – Circuito RC: resposta em frequência

O circuito da fig. 4.2, com entrada V_s e saída V_o , é um filtro passa-baixo de primeira ordem com frequência de corte dada por $f_c = 1/(2\pi R_1 C)$.

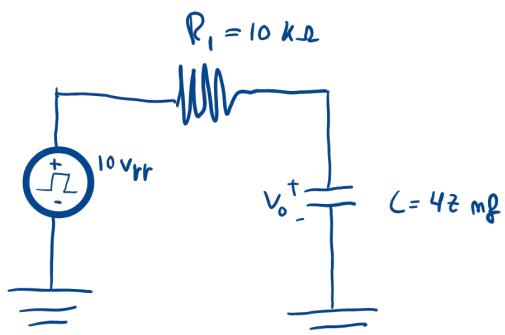
Neste ponto pretende-se que faça o estudo da resposta em frequência deste circuito, por isso configure agora o gerador de funções para uma saída **sinusoidal** a variar entre -5 e +5V (10Vp-p).

a) Verifique, de forma qualitativa, o efeito do circuito como passa-baixo. Para isso ligue o canal 1 do osciloscópio a V_s e o canal 2 a V_o , e observe a variação da amplitude de V_o à medida que varia a frequência do sinal do gerador desde **50Hz** até **10kHz**.

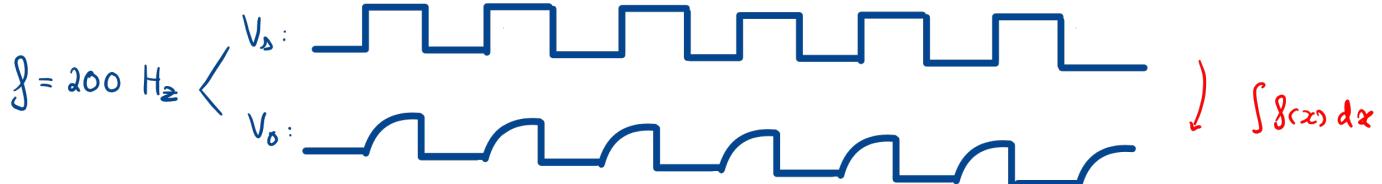
b) Meça agora a razão entre as amplitudes de V_o e V_s bem como o desfasamento entre estes dois sinais,

⁶ Uma resistência de entrada mais elevada não é o único benefício que se obtém por usar a ponta de prova configurada na posição X10. A maior vantagem é que o circuito de entrada do osciloscópio fica praticamente insensível à frequência do sinal. É por esse motivo que a ponta de prova se diz *compensada*. Daqui em diante use sempre a ponta de prova em X10.

4.3)



a)



$f > 200 \text{ Hz} \Rightarrow$ Ao aumentar a f , a onda passa a ser **triangular**, visto que o condensador não carrega na totalidade (c/ o aumento da f V_o diminui, aproximando assim de V_s)

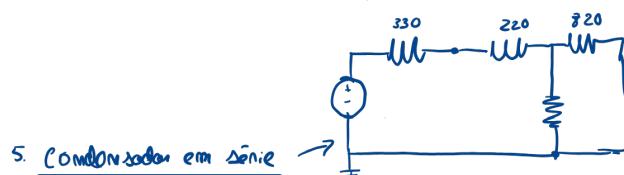
Porque é um circuito integrador, porque para certas gamas de frequência, V_o é aproximadamente ao integral de V_s

$$b) G = R \cdot C$$

|
constante de tempo (tempo de carga/descarga)

$$Z = R_1 \cdot C$$

$$= 10 \cdot 10^3 \times 4.7 \times 10^{-9} = 47 \times 10^{-5} = 470 \mu\text{s}$$



- Quando se coloca o condensador em série c/ a resistência de 820, este vai atuar como um interruptor aberto quando está carregado, tendo em conta que a tensão é constante logo o corrente vai ser nula. Quando isto acontece, o circuito fechado não vai os 3 restantes resistores em série. Tal como no exercício anterior, isto faz com que a resistência total aumente, logo a tensão em V , também aumenta

c)

Para **frequências baixas**, o condensador carrega, o gráfico mantém-se constante (não passa corrente)
" " " ", V_o é aproximadamente proporcional à derivada de V_s

4.4) **frequência de corte (f_c)**

$$f_c = \frac{1}{2\pi R \cdot C}$$

a) À medida que se aumenta a frequência, a V_o vai diminuindo

Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática – Universidade de Aveiro → evidencia que é um passa-baixo

para vários valores de frequência, e registe-os na Tab 4.1.

Note que a razão V_o/V_s deve ser indicada em unidades de **dB** (decibeis), usando a expressão

$$\frac{V_o}{V_s} (\text{dB}) = 20 \log \frac{V_o}{V_s}$$

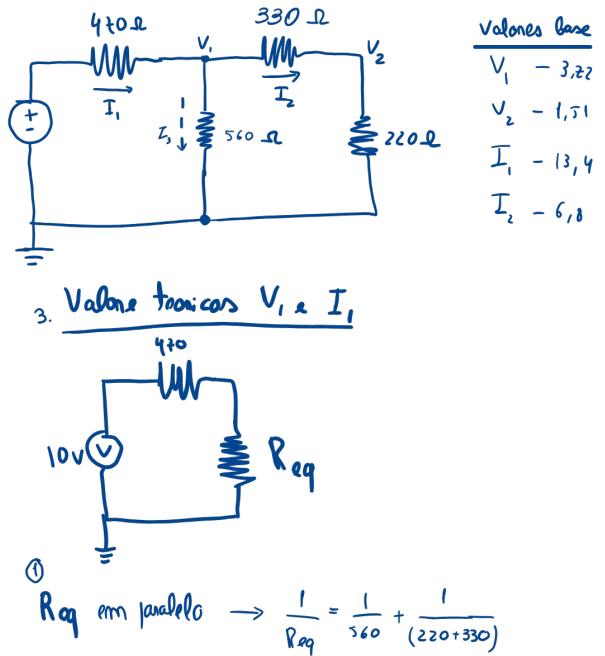
O desfasamento é medido no osciloscópio em unidades de tempo, devendo ser convertido depois para graus usando a expressão

$$\theta = 360 f t_d$$

em que θ é o desfasamento em graus, f a frequência do sinal em Hz e t_d o desfasamento temporal medido em segundos.

frequência (Hz)	$V_o/V_s (\text{dB})$	$\theta (\text{°})$
$f_c/4 =$		
$f_c/2 =$		
$f_c =$		
$2f_c =$		
$4f_c =$		
$8f_c =$		

Tab. 4.1



c) Tal como fez antes, troque agora as posições relativas da resistência e do condensador no circuito. A tensão de saída, V_o , passa a ser tomada aos terminais da resistência. Verifique, de forma qualitativa, o efeito desta mudança na resposta em frequência do circuito, variando a frequência do gerador de **50Hz** até cerca de **10kHz**.

d) Determine experimentalmente o valor de f_c , a frequência para a qual o ganho cai **3dB** em relação ao valor medido a frequências mais elevadas (frequências em que a amplitude de V_o é muito próxima da amplitude de V_s).

$$R_T (\text{Resistência total do circuito}) - R_T = R_{eq} + 470 \Omega$$

$$\textcircled{3} \text{ Cálculo da tensão } V_1$$

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1 \times R_{eq} \\ &= 13,4 \text{ mA} \times 277 \Omega \\ &= 0,0134 \times 277 = 3,71 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\textcircled{2} \text{ Corrente total } (I_1)$$

$$\text{Apontar da lei de Ohm: } I_1 = \frac{V}{R_T} = \frac{10 \text{ V}}{747 \Omega} = 13,4 \text{ mA}$$

$$\textcircled{4} \text{ Corrente } I_2$$

$$1. I_3 = \frac{V_1}{560} = 6,6 \text{ mA}$$

$$2. I_1 = I_2 + I_3$$

$$\Leftrightarrow I_2 = I_1 - I_3 \quad (\Rightarrow) I_2 = 13,4 \text{ mA} - 6,6 \text{ mA} = 6,8 \text{ mA}$$