

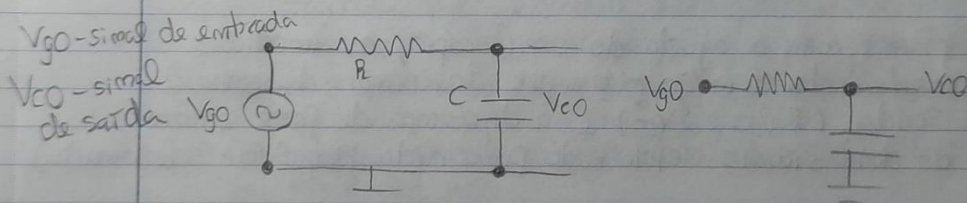
12/09/2022

## Trabalho 2A Filtros AC

### Objetivos

- Analisar e compreender o uso de filtros em circuitos AC e a sua relação com a frequência de um sinal.
- Determinar importantes grandezas de sinais com a ajuda de um osciloscópio.
- Estudar as características dos filtros "passa-baixo" e "passa-alto".

### Esquemas/Notas importantes

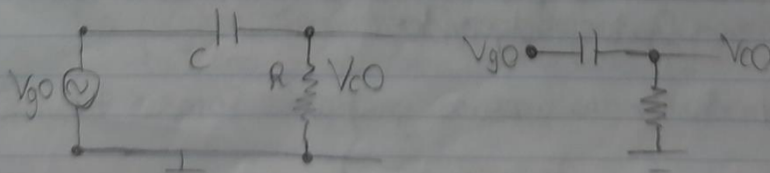


#### \* Representações de um circuito AC "passa-baixo"

⇒ Um filtro "passa-baixo" apenas "aceita" sinais cujas frequências estejam abaixo da frequência de corte.

Se a frequência for maior que este parâmetro, ocorrerá uma atenuação mais ou menos acentuada do sinal.

O circuito "passa-baixo" referente é montado de maneira a que seja medida a tensão nos terminais do condensador.



#### \* Representações de um circuito AC "passa-alto".

⇒ Um filtro "passa-alto" apenas "acerta" sinais cujas frequências estejam acima da frequência de corte. Se a frequência for menor que este parâmetro, ocorrerá uma atenuação mais ou menos acentuada do sinal. O circuito "passa-alto" referente é montado de maneira a que seja medida a tensão nos terminais da resistência.

Material: Osciloscópio digital, gerador de sinais, placas eletrônicas com circuito eletrônico (passa-baixo e passa-alto) com entrada e saída BNC, derivador.

Procedimento: • Montar o circuito "passa-baixo"

- Selecionar no gerador de sinais uma amplitude do sinal sinusoidal à volta dos 5V.
- Fazer, com a ajuda do osciloscópio, as medições corretas da tensão pico-a-pico dos sinais de entrada e saída ( $2V_0$  e  $2V_c$ ) e a diferença de fase entre os dois sinais. (isto tudo para cada frequência selecionada)

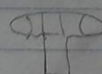
(NOTA: As frequências utilizadas serão do intervalo  $[20, 20 \times 10^3]$  Hz)

- Após possuir os valores das medições, elaborar uma tabela com os seguintes parâmetros: frequência, logaritmo da frequência; tensão pico-a-pico do sinal de entrada, tensão pico-a-pico do sinal de saída,  $A_c$  ( $A_c = \frac{V_c}{V_0}$ ) diferença de fase em graus e diferença de fase em radianos.
- Elaborar um gráfico com  $\log(f)$  no eixo das abscissas e  $A_c$  no eixo das ordenadas com os resultados adquiridos.
- Introduzir no mesmo gráfico a função teórica:

$$A_c = \frac{V_c}{V_0} = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f RC)^2}} \quad (\text{e linearizar a expressão!})$$

- Determinar a partir do gráfico a frequência de corte, considerando  $f_c = \frac{1}{2\pi RC}$  como ordenada correspondente.
- Comparar o valor da frequência de corte experimental com o valor teórico ( $\frac{1}{2\pi RC}$ ).
- Verificar a existência de 2 regimes assintoticamente lineares: um para frequências elevadas com  $A_c \propto 1$  e um para frequências baixas com  $A_c \propto \omega$ .
- Calcular e representar graficamente a resposta da fase ( $\phi(f)$ ) e os correspondentes valores analíticos obtidos da relação  $\phi_c = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right) - \frac{\pi}{2}$ .
- Fazer uma estimativa da frequência de corte, considerando que o valor correspondente para a fase é  $\phi_c = -\frac{\pi}{4}$ , comparando mais uma vez com o valor teórico ( $\frac{1}{2\pi RC}$ ).
- Montar o circuito "passa-alto" e repetir todo o processo descrito.

NOTA: o derivador é usado no circuito para introduzir o sinal de entrada proveniente do gerador de sinais e, ao mesmo tempo, exibi-lo no osciloscópio


 → derivador

Está montado o circuito!

## Filtro Passa-Baixo

R ( $\Omega$ )	3300	
u(R)	$\pm 5\%$	
C (F)	8,41E-08	84,1 nF
u(C)	0,1	

## Filtro Passa-Alto

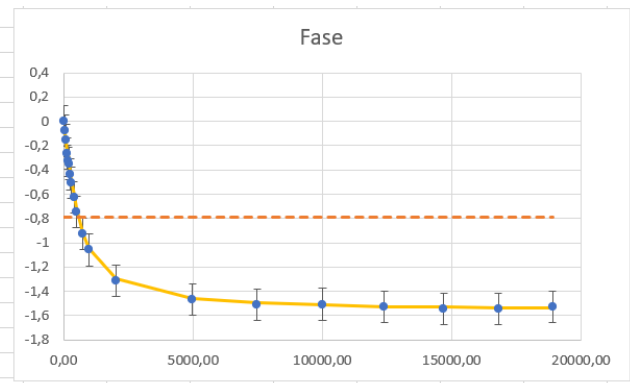
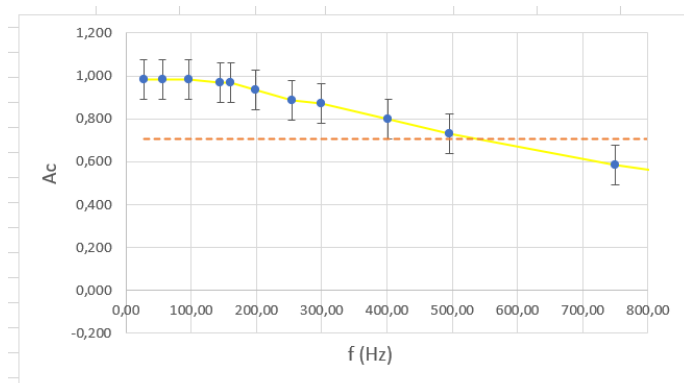
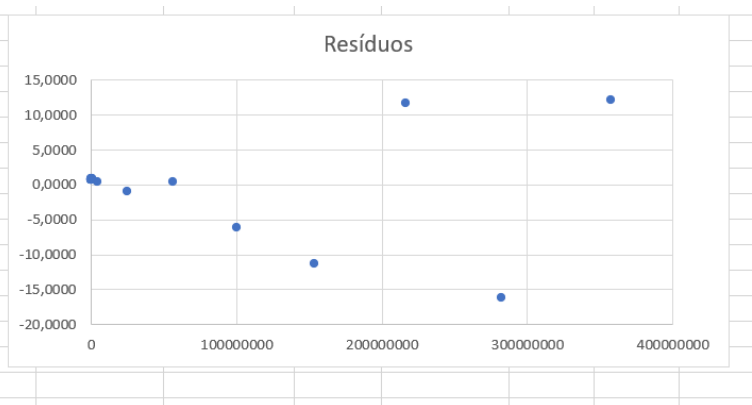
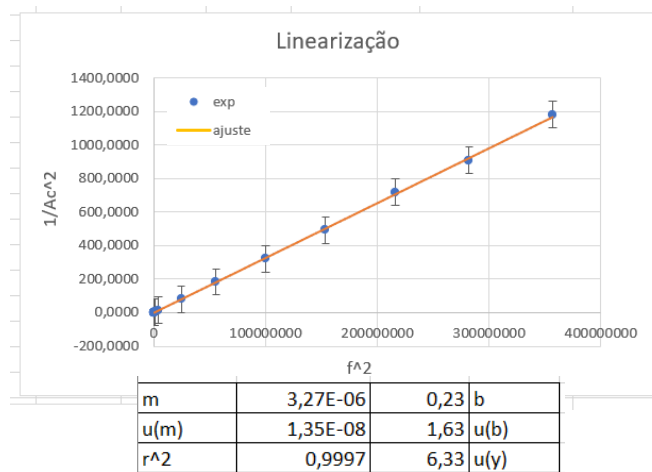
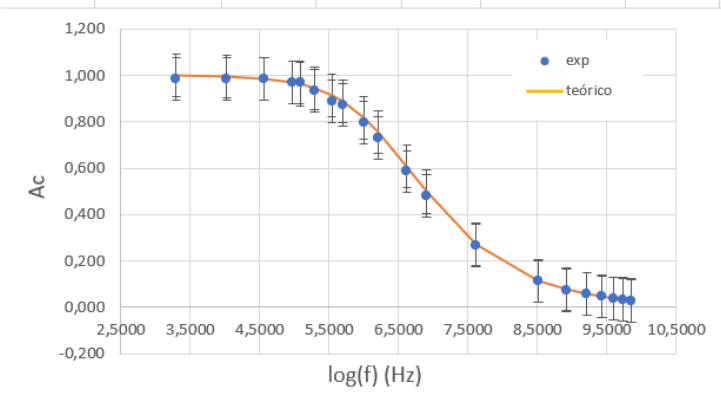
R ( $\Omega$ )	3300	
u(R)	$\pm 5\%$	
C (F)	8,56E-08	85,6 nF
u(C)	0,1	



## Filtro Passa-Baixo

f(Hz) protocolo	f (Hz)	u(f)	log(f) (Hz)	u(log(f))	2V <sub>g0</sub> (V)	u(V)	2V <sub>c0</sub> (V)	u(V)	A <sub>c</sub>	u(A <sub>c</sub> )	A <sub>c</sub> teórico
30	27,00	0,01	3,2958	0,0004	5,04	0,01	4,96	0,01	0,984	0,003	0,9989
50	56,00	0,01	4,0254	0,0002	5,04	0,01	4,96	0,01	0,984	0,003	0,9953
100	96,00	0,01	4,5643	0,0001	4,96	0,01	4,88	0,01	0,984	0,003	0,9863
150	145,00	0,01	4,9767	0,0001	4,96	0,01	4,80	0,01	0,968	0,003	0,9695
160	161,00	0,01	5,0814	0,0001	4,96	0,01	4,80	0,01	0,968	0,003	0,9628
200	199,00	0,01	5,2933	0,0001	4,96	0,01	4,64	0,01	0,935	0,003	0,9447
250	254,00	0,01	5,53733	0,00004	4,96	0,01	4,40	0,01	0,887	0,003	0,9143
300	299,00	0,01	5,70044	0,00003	4,96	0,01	4,32	0,01	0,871	0,003	0,8867
400	402,00	0,01	5,99645	0,00002	4,96	0,01	3,96	0,01	0,798	0,003	0,8188
500	496,00	0,01	6,20658	0,00002	4,92	0,01	3,60	0,01	0,732	0,003	0,7563
750	750,00	0,01	6,62007	0,00001	4,92	0,01	2,88	0,01	0,585	0,002	0,6074
1000	997,00	0,01	6,90475	0,00001	4,92	0,01	2,36	0,01	0,480	0,002	0,4986
2000	2030	1	7,6158	0,0005	4,88	0,01	1,30	0,01	0,266	0,002	0,2719
5000	4980	1	8,5132	0,0002	4,88	0,01	0,544	0,001	0,1115	0,0003	0,1144
7500	7480	1	8,9200	0,0001	4,88	0,01	0,360	0,001	0,0738	0,0003	0,0764
10000	10010	1	9,2113	0,0001	4,88	0,01	0,272	0,001	0,0557	0,0002	0,0572
12500	12400	1	9,4255	0,0001	4,88	0,01	0,220	0,001	0,0451	0,0002	0,0462
15000	14700	1	9,5956	0,0001	4,88	0,01	0,182	0,001	0,0373	0,0002	0,0390
17000	16800	1	9,7291	0,0001	4,88	0,01	0,162	0,001	0,0332	0,0002	0,0341
19000	18900	1	9,8469	0,0001	4,88	0,01	0,142	0,001	0,0291	0,0002	0,0303

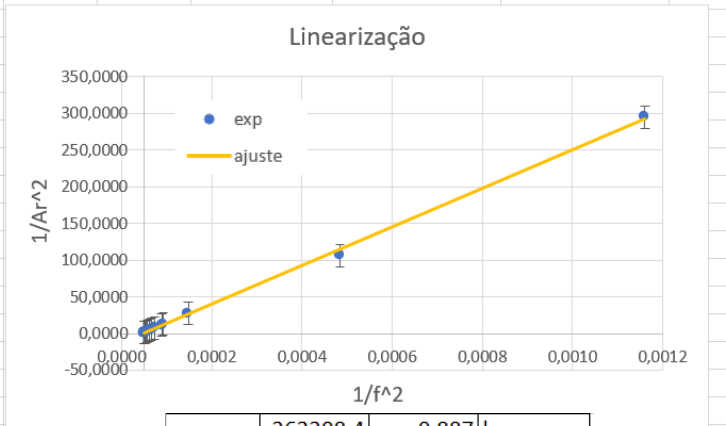
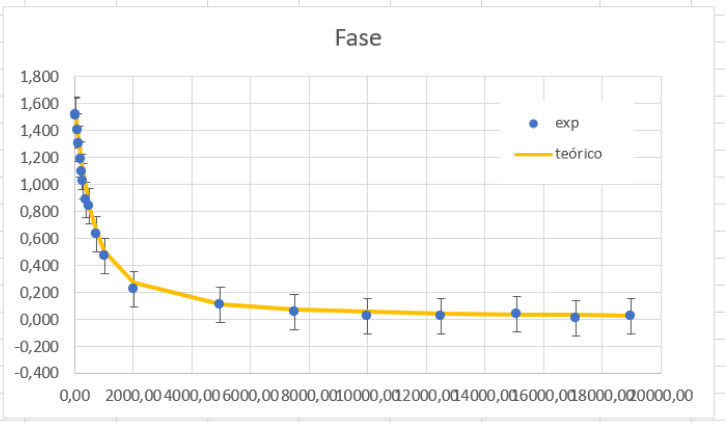
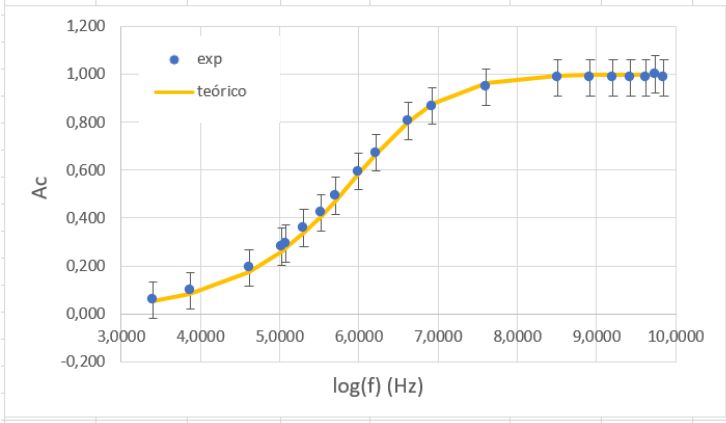
$\alpha_c$ (graus)	$u(\alpha_c)$ (°)	$\alpha_c$ (rad)	$u(\alpha_c)$ (rad)	f <sup>2</sup> (x)	1/Ac <sup>2</sup> (y)	1/Ac <sup>2</sup> (y) aj.	Resíduos	$\alpha_c$ teórico (rad)
0,0	0,1	0	0,002	729	1,0325	0,2346	0,7979	-0,047047113
-4,4	0,4	-0,077	0,007	3136	1,0325	0,2425	0,7900	-0,097342626
-9,0	0,7	-0,16	0,01	9216	1,0331	0,2624	0,7707	-0,165864199
-15,1	0,5	-0,264	0,009	21025	1,0678	0,3010	0,7668	-0,247656393
-18,5	0,1	-0,323	0,002	25921	1,0678	0,3170	0,7508	-0,273701595
-20	1	-0,35	0,02	39601	1,1427	0,3618	0,7809	-0,334009278
-25,1	0,5	-0,438	0,009	64516	1,2707	0,4433	0,8275	-0,41694911
-29	1	-0,50	0,02	89401	1,3182	0,5247	0,7936	-0,480611204
-35,9	0,1	-0,627	0,002	161604	1,5688	0,7609	0,8079	-0,611394451
-42,9	0,5	-0,749	0,009	246016	1,8678	1,0371	0,8307	-0,713087294
-53,1	0,3	-0,927	0,005	562500	2,9184	2,0724	0,8460	-0,918000247
-61	1	-1,06	0,02	994009	4,3462	3,4841	0,8620	-1,048815576
-75,1	0,7	-1,31	0,01	4120900	14,0914	13,7138	0,3776	-1,295473469
-84,2	0,1	-1,470	0,002	24800400	80,4715	81,3671	-0,8957	-1,456146835
-86,5	0,5	-1,510	0,009	55950400	183,7531	183,2749	0,4782	-1,494278989
-86,4	0,1	-1,508	0,002	100200100	321,8858	328,0385	-6,1527	-1,513569237
-87,6	0,6	-1,53	0,01	153760000	492,0331	503,2606	-11,2275	-1,52458173
-88,6	0,4	-1,546	0,007	216090000	718,9470	707,1742	11,7728	-1,53180458
-88,5	0,1	-1,545	0,002	282240000	907,4226	923,5850	-16,1624	-1,536674496
-87,6	0,1	-1,529	0,002	357210000	1181,0355	1168,8506	12,1849	-1,540463341



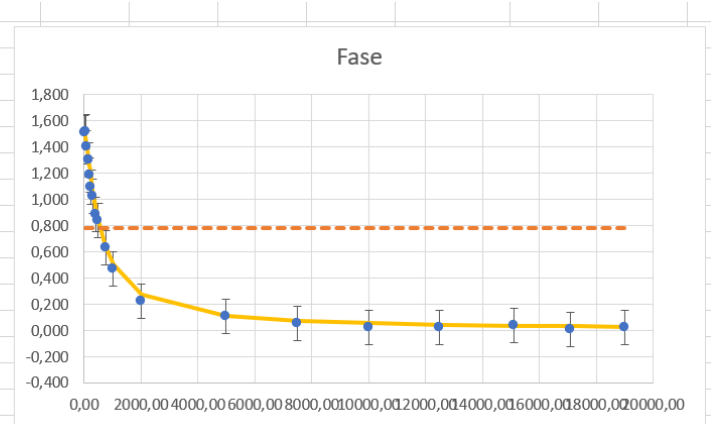
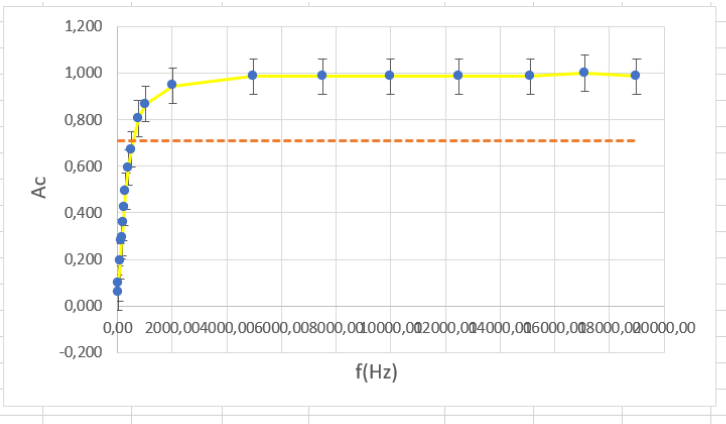
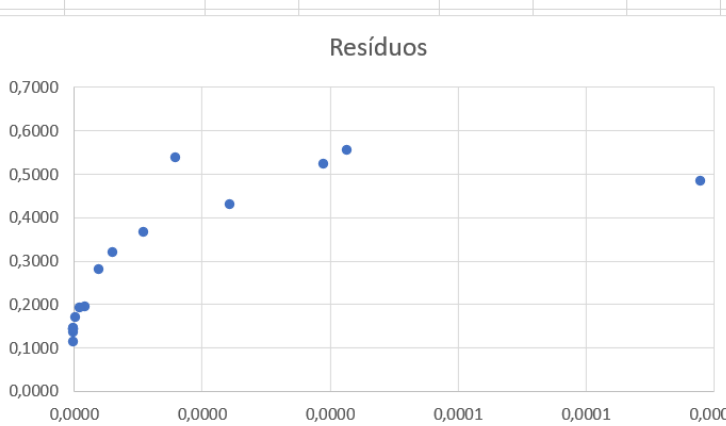
## Filtro Passa-Alto

f(Hz) protocolo	f (Hz)	u(f)	log(f) (Hz)	u(log(f))	2V <sub>g0</sub> (V)	u(V)	2V <sub>co</sub> (V)	u(V)	Ar	u(Ar)	Ar teórico
30	30,00	0,01	3,4012	0,0003	4,88	0,01	0,284	0,01	0,058	0,002	0,0532
50	48,00	0,01	3,8712	0,0002	5,04	0,01	0,488	0,01	0,097	0,002	0,0849
100	101,00	0,01	4,6151	1E-04	5,12	0,01	0,984	0,01	0,192	0,002	0,1764
150	153,00	0,01	5,03044	7E-05	5,12	0,01	1,44	0,01	0,281	0,002	0,2621
160	160,00	0,01	5,07517	6E-05	5,12	0,01	1,50	0,01	0,293	0,002	0,2732
200	202,00	0,01	5,30827	5E-05	5,12	0,01	1,84	0,01	0,359	0,002	0,3375
250	250,00	0,01	5,52146	0,00004	5,12	0,01	2,16	0,01	0,422	0,002	0,4056
300	302,00	0,01	5,71043	3E-05	5,12	0,01	2,52	0,01	0,492	0,002	0,4724
400	401,00	0,01	5,99396	2E-05	5,12	0,01	3,04	0,01	0,594	0,002	0,5799
500	500,00	0,01	6,21461	0,00002	5,12	0,01	3,44	0,01	0,672	0,002	0,6638
750	751,00	0,01	6,62141	1E-05	5,12	0,01	4,12	0,01	0,805	0,003	0,7999
1000	1020	1	6,928	0,001	5,12	0,01	4,44	0,01	0,867	0,003	0,8753
2000	2020	1	7,6109	0,0005	5,12	0,01	4,84	0,01	0,945	0,003	0,9632
5000	4980	1	8,5132	0,0002	5,20	0,01	5,120	0,001	0,985	0,002	0,9937
7500	7500	1	8,9227	0,0001	5,28	0,01	5,200	0,001	0,985	0,002	0,9972
10000	10000	1	9,2103	0,0001	5,28	0,01	5,200	0,001	0,985	0,002	0,9984
12500	12500	1	9,43348	0,00008	5,28	0,01	5,200	0,001	0,985	0,002	0,9990
15000	15100	1	9,6225	0,0001	5,28	0,01	5,200	0,001	0,985	0,002	0,9993
17000	17100	1	9,7468	0,0001	5,20	0,01	5,200	0,001	1,000	0,002	0,9995
19000	19000	1	9,8522	0,0001	5,28	0,01	5,200	0,001	0,985	0,002	0,9996

$\alpha_c$ (graus)	$u(\alpha_c)$ (º)	$\alpha_c$ (rad)	$u(\alpha_c)$ (rad)	$1/f^2$ (x)	$1/Ar^2$ (y)	$1/Ar^2$ (y) aj.	Resíduos	$\alpha_c$ teórico (rad)
86,7	0,1	1,513	0,002	0,0011	295,2589	292,2294525	3,0294	1,517600336
87	1	1,52	0,02	0,0004	106,6649	114,6925199	-8,0276	1,4858
80,2	0,7	1,40	0,01	9,80296E-05	27,0738	26,59097907	0,4829	1,3934
74,6	0,3	1,302	0,005	4,27186E-05	12,6420	12,08797264	0,5540	1,3056
74,5	0,1	1,300	0,002	3,90625E-05	11,6508	11,12930925	0,5215	1,2941
68,1	0,3	1,189	0,005	2,45074E-05	7,7429	7,312840199	0,4301	1,2265
62,8	0,2	1,096	0,003	0,000016	5,6187	5,082128195	0,5365	1,1532
58,6	0,4	1,023	0,007	1,09644E-05	4,1280	3,761759842	0,3662	1,0788
50,9	0,1	0,888	0,002	6,21887E-06	2,8366	2,517432979	0,3191	0,9522
48,1	0,1	0,840	0,002	0,000004	2,2153	1,935627482	0,2796	0,8450
36,2	0,2	0,632	0,003	1,7730E-06	1,5443	1,351701584	0,1926	0,6436
27,1	0,6	0,47	0,01	9,6117E-07	1,3298	1,138820432	0,1909	0,5047
12,9	0,5	0,225	0,009	2,4507E-07	1,1190	0,951054373	0,1680	0,2720
6	1	0,11	0,02	4,0322E-08	1,0315	0,897366659	0,1341	0,1127
3	2	0,05	0,03	1,7778E-08	1,0310	0,891455393	0,1396	0,0750
1,4	0,2	0,025	0,003	0,00000001	1,0310	0,889415994	0,1416	0,0563
1	1	0,02	0,02	6,4E-09	1,0310	0,888472044	0,1425	0,0450
2,2	0,6	0,04	0,01	4,3858E-09	1,0310	0,887943897	0,1431	0,0373
0	1	0,01	0,02	3,4199E-09	1,0000	0,887690625	0,1123	0,0329
1,4	0,5	0,024	0,009	2,7701E-09	1,0310	0,88752025	0,1435	0,0296



m	262208,4	0,887	b
u(m)	1811,9	0,5	u(b)
r^2	0,999	2	u(y)



- Foi necessário, por vezes, fazer médias aos valores da diferença de fase visto os mesmos não serem constantes durante a visualização no osciloscópio. Daí também a sua incerteza ir variando e não ser sempre 0,1. Quando for diferente do mesmo, significa que foi utilizada a semidiferença para chegar ao valor da incerteza correspondente.
- Foi também necessário realizar médias a ambos os sinais (de vez em quando) de maneira a diminuir o ruído que eventualmente aparecia. (optamos logo por fazer 128 médias de cada vez)

- Com a ajuda do site Digitkey Electronics obteve-se o valor da resistência  $\rightarrow (3300 \Omega, 5\%)$
- Condensador (passa-alto)  $\rightarrow (85,6 \pm 0,1) \text{ nF}$
- Condensador (passa-baixo)  $\rightarrow (84,1 \pm 0,1) \text{ nF}$

$$A_c = \frac{V_{co}}{V_{go}} = V_{co}^1 \times V_{go}^{-1}$$

$$\underset{\text{incerteza}}{u(A_c)} = \sqrt{A_c^2 \left[ \left( \frac{u(V_{co})}{V_{co}} \right)^2 + \left( - \frac{u(V_{go})}{V_{go}} \right)^2 \right]}$$

Para o 1º valor referente ao filtro passa-baixo  
 §, por exemplo, fica:

$$u = \sqrt{0,9841^2 \left[ \left( \frac{0,01}{4,96} \right)^2 + \left( - \frac{0,01}{3,4} \right)^2 \right]} \approx \underline{0,003}$$

Para calcular as incertezas de  $\log(f)$ ,  
 basta fazer  $\frac{u(x)}{x}$  para  $x$  o valor de  $f$ .

$$\text{Função teórica de } A_c: A_c = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi f R C)^2}}$$



$$W = \frac{29\pi}{T} = 29\pi f$$

$$\alpha_c(\text{technico}) = \arctan\left(\frac{1}{\omega \beta c}\right) - \frac{\pi}{2}$$

NOTA: Durante quase todo o trabalho experimental, as escalas do osciloscópio foram reguladas para 200 V/div na vertical para ambas as canais (1 e 2) e 100  $\mu$ s/div na horizontal, salvo raras exceções que possibilitavam uma melhor visualização dos sinais de entrada e saída no osci.

Filtro Passa-baixa

Ok, bem temos então os seguintes valores de A e C:

$$R = 3300 \Omega, 5\% \quad C_{p.b.} = (84 \times 10^{-9} \pm 1 \times 10^{-9}) F$$

(Sp. are 8,56 x 80 - 8071) F

Cálculo de  $f_c$  teórico: (filtro passa-baixo)

$$f_{c1} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 3300 \times 8,41 \times 10^{-8}} = 573,47 \text{ Hz}$$

Incerteza de fe teórico:

Assim,

$$f_{c_{\text{teórico}}} \approx (573 \pm 30) \text{ Hz}$$

$$\alpha_{c+} = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right) = \arctan\left(\frac{1}{2\pi f RC}\right)$$

porque  $\omega = 2\pi f$ ,  $f = \frac{1}{T}$  e  $\omega = \frac{2\pi}{T}$

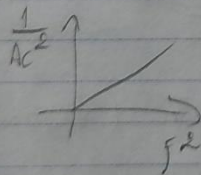
Linearização:

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

$$A_c = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f RC)^2}} \approx A_c = \frac{1}{\sqrt{1+(f/f_c)^2}}$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{A_c} = \sqrt{1+(f/f_c)^2} \approx \frac{1}{A_c^2} = 1+(f/f_c)^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{A_c^2} = 1 + \frac{1}{f_c^2} f^2 \approx \underbrace{\frac{1}{A_c^2}}_y = \underbrace{\frac{1}{f_c^2}}_m \underbrace{f^2}_x + \underbrace{1}_b$$



$$y = mx + b$$

• Cálculo do m teórico:

$$m_{\text{teórico}} = \frac{1}{f_c^2} = \frac{1}{573^2} = 3,05 \times 10^{-6}$$

• Cálculo da incerteza do m teórico:

$$U(m_{\text{teórico}}) = \sqrt{(-2 \times f_c^{-3}) \times U(f_c)} \approx 3,0 \times 10^{-7}$$

$$m_{\text{teórico}} \approx (3,1 \times 10^{-7} \pm 3,0 \times 10^{-7})$$

$$b_{\text{teórico}} = 1$$

- calcular erro(%) de m e b.

$$\text{Erro}(\%)_m = \frac{|131 \times 10^{-7} - 3,2715 \times 10^{-6}|}{31 \times 10^{-7}} \times 100 \approx \underline{5,5\%}$$

$$\text{Erro}(\%)_b = \frac{|1 - 0,23291|}{1} \times 100 = \underline{76,8\%} \rightarrow \text{muito grande!}$$

- Determinação da  $f_c$  experimental

Sabemos que  $A_c = 1/\sqrt{2}$ .  $\rightarrow$  Traça-se o gráfico de  $A_c$  em função de  $f$ .

Traçando a linha contínua de  $A_c = 1/\sqrt{2}$  e analisando o gráfico, efetua-se a média das frequências dos 2 pontos mais próximas da linha de tendência.

As frequências obtidas são  $496^{\text{Hz}}$  e  $750^{\text{Hz}}$ .

$$\bar{x} = \frac{496 + 750}{2} = \underline{623^{\text{Hz}}}$$

A incerteza correspondente é 0,7.  $(\sqrt{(0,5 \cdot \Delta x)^2 + (0,5 \cdot \Delta y)^2})$

$$\text{Assim, } \boxed{f_{c,\text{exp}} = (623,0 \pm 0,7) \text{ Hz}} \quad (1)$$

- cálculo do erro(%) de  $f_c$

$$\text{Erro}(\%)_{f_c} = \frac{|573 - 623|}{573} \times 100 \approx \underline{8,7\%}$$



Analisando o gráfico de  $A_c$  em função de  $\log(f)$ , aperechamo-nos da existência de 2 assíntotas horizontais lineares. Uma, dá-se quando a frequência é baixa e  $A_c \approx 1$  e outra quando a frequência é alta e  $A_c \approx 0$ . Podemos então concluir a existência de 2 regimes assintoticamente lineares

$$\text{Ou seja, } \omega \rightarrow 0 \Rightarrow A_c \rightarrow 1 \quad \omega = 2\pi f$$

$$\omega \rightarrow +\infty \Rightarrow A_c \rightarrow 0$$

Isto faz sentido, visto estermos a considerar filtros passa-baixo!

- ⇒ • Voltando ao  $f_c$  experimental, se passarmos na equação obtida através da linearização ( $1/A_c^2 = (1/f_c^2)f^2 + 1$ ), resulta que  $1/f_c^2$  é o declive! Ora, efetuando os cálculos:
- $$\frac{1}{f_c^2} = m \Leftrightarrow \frac{1}{f_c^2} = 3,2745 \times 10^{-6} \Leftrightarrow f_c \approx 553 \text{ Hz}$$
- Um valor muito mais próximo do teórico do que aquele obtido pela medição!

$$V(f_c) = 1 \quad \boxed{f_{c_{exp}} \approx (553 \pm 1) \text{ Hz}} \quad (2)$$

$$\text{erro}(\%) = 3,5\%$$

**Filtro Passa-alto**

Termos:

$$R = 3300 \Omega, 5\% \quad C_{p.a.} = (86 \times 10^{-9} \pm 1 \times 10^{-9}) \text{ F}$$

• cálculo de  $f_c$  teórico

$$f_{c_t} = \frac{1}{2\pi RC} = \frac{1}{2\pi \times 3300 \times 8,96 \times 10^{-8}} \approx 563,42 \text{ Hz}$$

Imprecisão de  $f_c$  teórico:

$$V(f_{c_t}) = 30$$

$$\text{Assim, } \boxed{f_{c_t} \approx (563 \pm 30) \text{ Hz}}$$

4 pontos.  $0,05 \times 3300 = 165 \Omega$



$$f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Linearização:

$$A_{rc} = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{2\pi f RC}\right)^2}} \Leftrightarrow \frac{1}{A_{rc}^2} = 1 + \left(\frac{1}{2\pi f RC}\right)^2$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{A_{rc}^2} = 1 + \left(\frac{f_c}{f}\right)^2 \Leftrightarrow \frac{1}{A_{rc}^2} = \frac{1}{f^2} f_c^2 + 1 \quad (y = mx + b)$$

• cálculo do m teórico:

$$m_{teórico} = f_c^2 = 563^2 = 316969$$

$$b_{teórico} = 1$$

• cálculos do erro (%) de m e b.

$$\text{Erro}(\%)_m = \frac{|316969 - 262208| \times 100}{316969} \approx \underline{\underline{17,3\%}}$$

$$\text{Erro}(\%)_b = \frac{|1 - 0,8871|}{1} \times 100 \approx \underline{\underline{11,3\%}}$$

• Determinação da  $f_c$  experimental

Aplicando o mesmo método que foi usado para o filtro passa-baixa, a frequência de corte obtida pela média dos 2 valores mais próximos é

$$f_{cexp} = (629,5 \pm 0,7) \text{ Hz} \quad (1)$$

$$\text{Erro}(\%)_{f_{cexp}} = \frac{|563,42 - 629,5| \times 100}{563,42} \approx \underline{\underline{11,0\%}}$$

Pegando na equação  $\frac{1}{A_{rc}^2} = \left(\frac{f_c}{f}\right)^2 + 1$

$$m = f_c^2 \Leftrightarrow f_{cexp} = \sqrt{m_{exp}} \Leftrightarrow f_{cexp} = \sqrt{262208}$$

$$\Leftrightarrow f_{cexp} \approx 512,1$$

$$f_{cexp} = (512 \pm 2) \text{ Hz} \quad (2)$$

$$\text{Erro}(\%) = \underline{\underline{9,1\%}}$$

Analisando o gráfico de  $A_{rz}$  em função de  $\log(f)$ , perceberemos a existência de 2 assíntotas horizontais lineares. Uma dá-se quando a frequência é alta e  $A_{rz} \approx 1$  e outra quando a frequência é baixa e  $A_{rz} \approx 0$ . Podemos então concluir a existência de 2 regimes assintoticamente lineares.

$$\text{Ou seja, } w \rightarrow 0 \Rightarrow A_{rz} \rightarrow 0$$

$$w \rightarrow +\infty \Rightarrow A_{rz} \rightarrow 1$$

Isto faz sentido visto estamos a considerar filtros passa-alto!

- Estimativas de  $f_c$  considerando fase  $\alpha_c = -\frac{\pi}{4}$  ou  $\alpha_c = \frac{\pi}{4}$  (ambos os filtros)

$\Rightarrow$  Filtro Passa-baixo

- Traçada a linha contínua para  $\alpha_c = -\frac{\pi}{4}$  no gráfico da fase em função da frequência, faz-se a média das frequências dos 2 pontos mais próximos da linha e obtém-se:

$$f_c = (623 \pm 0,7) \text{ Hz, igual ao valor}$$

$$\text{Error}(\%) = \underline{8,7\%}$$

obtido através do gráfico  $A_c$  em função de  $f$ .

$\Rightarrow$  Filtro Passa-alto

- Traçada a linha contínua para  $\alpha_c = \frac{\pi}{4}$  no gráfico da fase em função da frequência, faz-se a média das frequências dos 2 pontos mais próximos da linha e obtém-se:

$$f_c = (625,5 \pm 0,7) \text{ Hz, igual ao valor}$$

$$\text{Error}(\%) = \underline{9,1\%}$$

obtido através do gráfico  $A_c$  em função de  $f$

## Análise/Conclusões.

- Inicialmente os valores da fase em radianos de ambos os filtros possuíam igual módulo aos valores teóricos, mas sinais contrários. Tal sucedeu muito provavelmente ao facto do osciloscópio ter medido canal 2 - canal 1 em vez de canal 1 - canal 2. Como estamos a falar do desfazamento de uma onda em relação à outra, bastou inverter o sinal dos dados associados à fase e assim obter concordância com os dados teóricos.
- Após efetuado o cálculo da frequência de corte ( $f_c$ ) por 3 maneiras diferentes em cada filtro: média das frequências associadas a 2 pontos experimentais do gráfico de  $A_c/A_{in}$ ; média das frequências associadas a 2 pontos experimentais do gráfico de Fase; e utilização da equação ( $y=mx+b$ ) referente à linearização da expressão de amplitude, chega-se à conclusão que o uso da equação de linearização fornece o valor da frequência de corte experimental mais próximo do valor teórico, ou seja, com menos percentagem de erro.
- Foi notória a maneira de como se estabeleceram limites assintoticamente lineares nos gráficos de  $A_c/A_{in}$  em função do logaritmo da frequência. A verdade é que os valores da tensão pico-a-pico nos sinais de entrada e saída não variaram muito para cada frequência considerada. Daí  $A_c/A_{in}$  apresentar valores compreendidos entre 0 e 1.