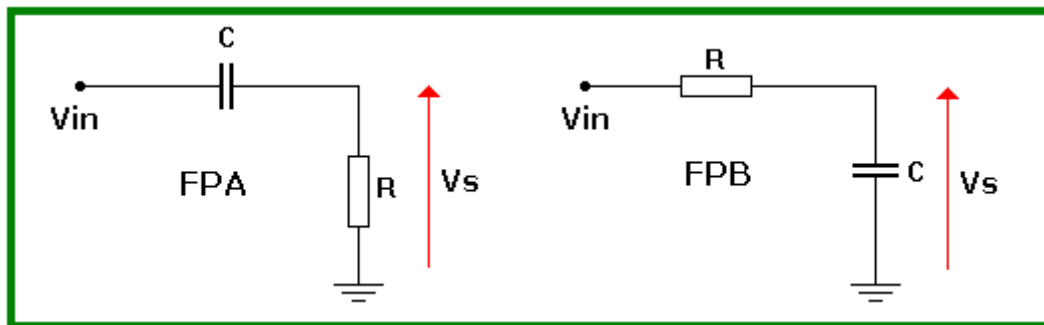


FILTRO PASSA ALTAS (FPA) FILTRO PASSA BAIXAS (FPB)

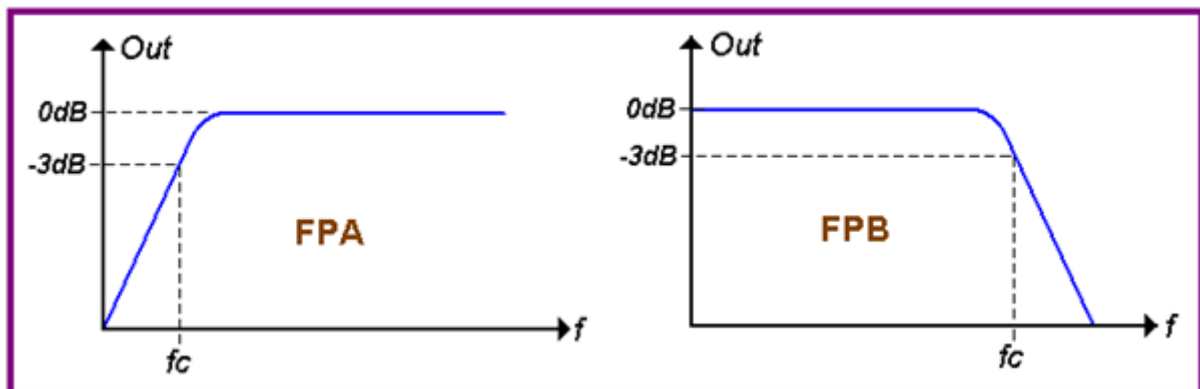
A figura a seguir mostra dois circuitos RC que formam respectivamente um filtro passa altas (FPA) e um filtro passa baixas (FPB).



Observa-se que a caracterização de um FPA e de um FPB é dada pela tensão de saída do circuito.

Desta forma, para um filtro passa altas a tensão de saída é obtida através dos terminais do resistor, enquanto que, para um filtro passa baixas, a tensão de saída é obtida através dos terminais do capacitor.

Vamos analisar então as curvas características dos dois tipos de circuitos:



Observe que as curvas estão calibradas em dB (decibel) x frequência, onde dB pode representar uma grandeza qualquer (por exemplo, tensão ou corrente) na saída de um circuito.

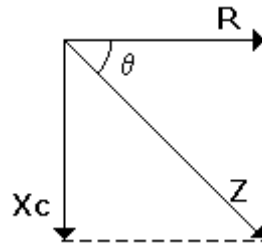
Portanto, na frequência de corte (f_c) a saída é atenuada $-3dB$ em relação a entrada, como veremos adiante.

Ao ser aplicada uma tensão alternada, existirá uma frequência em que a reatância capacitiva do capacitor (X_c), se igualará ao valor da resistência ôhmica do resistor.

Essa frequência é denominada frequência de corte " f_c ".

A figura a seguir mostra o diagrama fasorial da reatância capacitiva do capacitor e a resistência ôhmica do resistor e seu ângulo de defasagem.

Como temos $X_c = R$, logo, $\theta = \arctan$ de $1 = 45^\circ$.

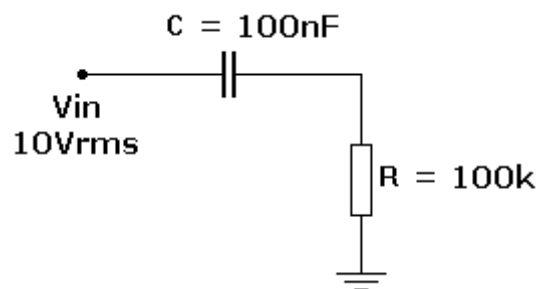


$$\text{Onde: } \theta = \arctan \frac{X_c}{R}$$

FILTRO PASSA ALTAS:

Exemplo: Supondo um FPA com as seguintes características:

$R = 100k$ e $C = 100nF$. Calcular a frequência de corte.



A frequência de corte é calculada pela fórmula:

$$\omega C = \frac{1}{RC}, \text{ onde } \omega = 2\pi f \rightarrow \text{portanto: } f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

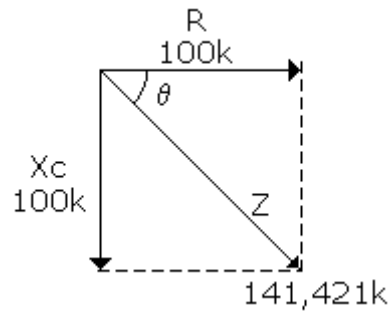
Calculando a frequência de corte:

$$\frac{1}{2 \times 3,14 \times 100 \cdot 10^3 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 15,923\text{Hz}$$

Cálculo de X_c na frequência de corte:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{6,28 \times 15,923 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 100.003\Omega = 100k$$

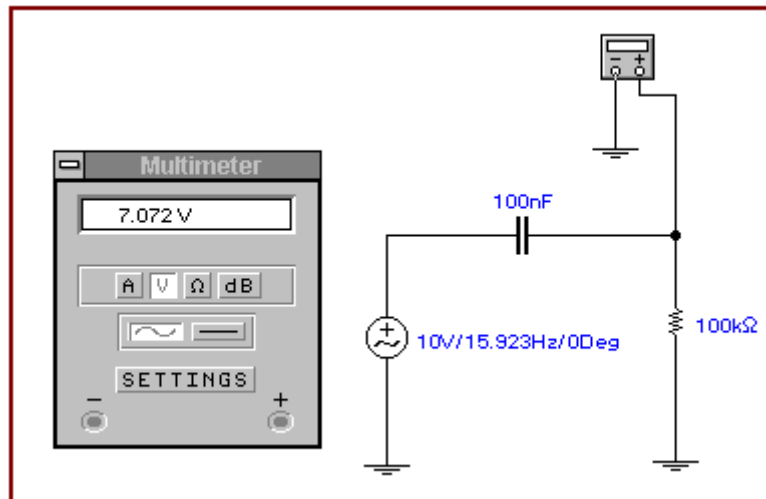
Teremos então o diagrama fasorial:



A impedância Z é calculada pela fórmula:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{100000^2 + 100000^2} = 141,421k$$

Na figura a seguir, temos a tensão na saída do filtro, para uma tensão de entrada de $10V_{rms}$, na frequência de corte.



A tensão existente na saída para a frequência de corte, pode ser especificada como uma atenuação do filtro, normalmente em dB (decibel). Neste caso o decibel relaciona as tensões de saída com a tensão de entrada. Como a tensão de saída é menor do que a tensão de entrada, teremos então uma atenuação, daí a nomenclatura -3dB.

A fórmula que relaciona tensões de saída e entrada é:

$$20 \log V_{out} / V_{in} = \text{dB}$$

$$20 \log 7,072V / 10V = \text{dB}$$

$$20 (\log 0,7072) = \text{dB}$$

$$20 \times -0,1505 = -3\text{dB}$$

Mas, o que significa -3dB?

Significa que a tensão de saída é atenuada na frequência de corte.

Teremos então a -3dB:

$$V_s = \frac{V_{in}}{\sqrt{2}}$$

Portanto:

$$V_s = \frac{10}{1,414} = 7,072V$$

Calculando a tensão de saída na frequência de corte por outro método:

Se levarmos em conta o diagrama fasorial mostrado anteriormente, vemos que a impedância total $Z = 141.421\Omega$.

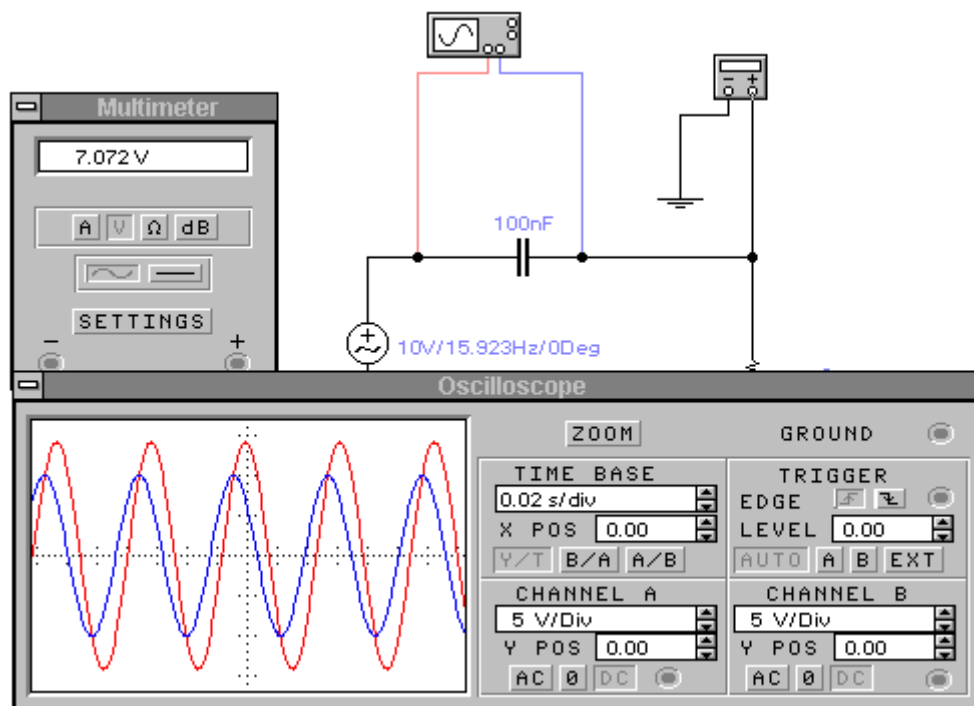
Calculando a corrente total no circuito: $\frac{10}{141.421} = 70,71\mu A$

Como a tensão de saída é obtida nos extremos do resistor, então:

$$V_s = 100.000 \times 70,71\mu A = 7,071V \approx 7,072V$$

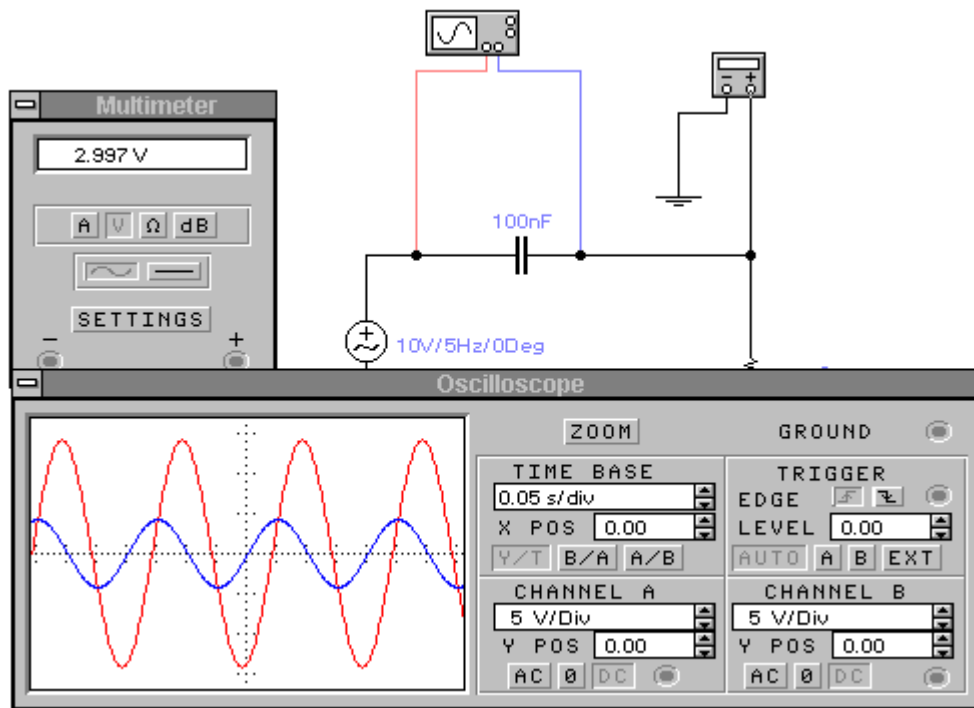
Portanto, os resultados obtidos são iguais.

A figura a seguir mostra a relação de fase entre as tensões de entrada (vermelho) e saída (azul):



A figura a seguir mostra o circuito com a aplicação de uma frequência de 5Hz, ou seja, abaixo da frequência de corte.

Observa-se que houve uma redução considerável na saída, para essa frequência.



Isto é explicável, a partir do cálculo da X_c para essa frequência:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$X_c = \frac{1}{2 \times 3,14 \times 5 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 318,471 \text{ k}$$

Calculando a impedância Z :

$$Z = \sqrt{R^2 + X_c^2} = \sqrt{100000^2 + 318471^2} = 333,802 \text{ k}$$

$$I_{\text{total}} = \frac{10}{333,802} = 29,96 \mu\text{A}$$

$$\text{Tensão em R} = V_s = 100 \text{ k} \times 29,96 \mu\text{A} = 2,996 \text{ V} \approx 2,997 \text{ V}$$

Sendo $X_c > R$, por tratar-se de uma associação em série, maior tensão estará presente nos terminais do capacitor.

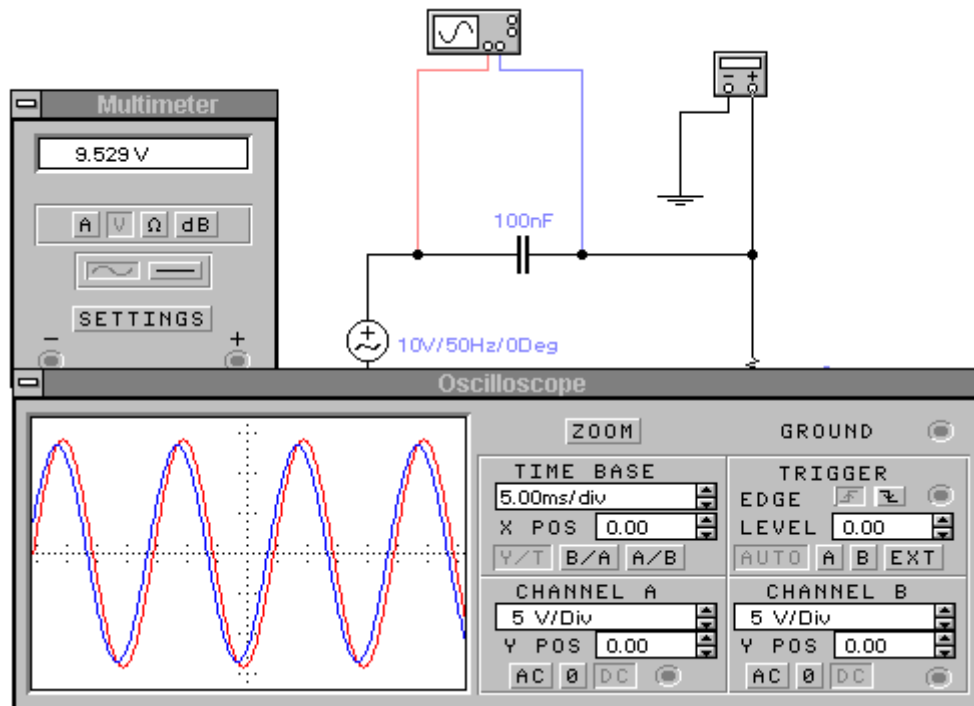
Calculando o ângulo de defasagem entre as tensões:

$$\theta = \arctan \frac{X_c}{R}$$

$$\theta = \arctan \frac{318,471}{100000} = 3,18471$$

$$\theta = \arctan 3,18471 = 72,57^\circ$$

Veja na figura a seguir, o resultado quando é aplicada uma frequência de 50Hz.



Ao contrário, quando a frequência da tensão de entrada aumenta, a tensão de saída tende a aumentar, pois se trata de um filtro passa altas.

Observa-se que à medida que a tensão de saída se aproxima do valor da tensão de entrada, o ângulo de defasagem tende a zero.

Isso é facilmente explicável, pois a X_c do capacitor é inversamente proporcional à frequência, e, portanto, com uma X_c tendendo a zero, a impedância do filtro torna-se praticamente resistiva, logo, a defasagem tenderá a zero.

Vamos proceder aos cálculos, como anteriormente.

Cálculo da X_c :

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C} \rightarrow X_c = \frac{1}{6,28 \times 50 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 31,847k$$

$$Z = \sqrt{100000^2 + 31847^2} = 104,949k$$

$$I_{total} = \frac{10}{104949} = 95,28\mu A$$

$$\text{Tensão em R} = V_s = 100.000 \times 95,28\mu A = 9,528V \approx 9,529V$$

Calculando o ângulo de defasagem entre as tensões:

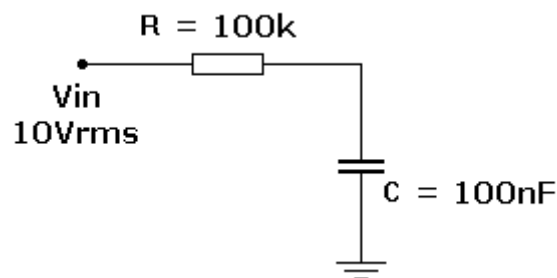
$$\theta = \arctan \frac{X_c}{R}$$

$$\theta = \arctan \frac{31847}{100000} = 0,318471$$

$$\theta = \arctan 0,318471 = 17,67^\circ$$

FILTRO PASSA BAI XAS:

Exemplo: Supondo um FPB com as seguintes características: R = 100k e C = 100nF, calcular a frequência de corte.



A frequência de corte é calculada pela fórmula:

$$\omega C = \frac{1}{RC}, \text{ onde } \omega = 2\pi f \rightarrow \text{portanto: } f_c = \frac{1}{2\pi RC}$$

Calculando a frequência de corte:

$$\frac{1}{2 \times 3,28 \times 100 \cdot 10^3 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 15,923 \text{Hz}$$

OBS: A fórmula para calcular a frequência de corte é a mesma tanto para FPA como para FPB.

No filtro passa baixas, a tensão de saída é obtida sobre o capacitor.

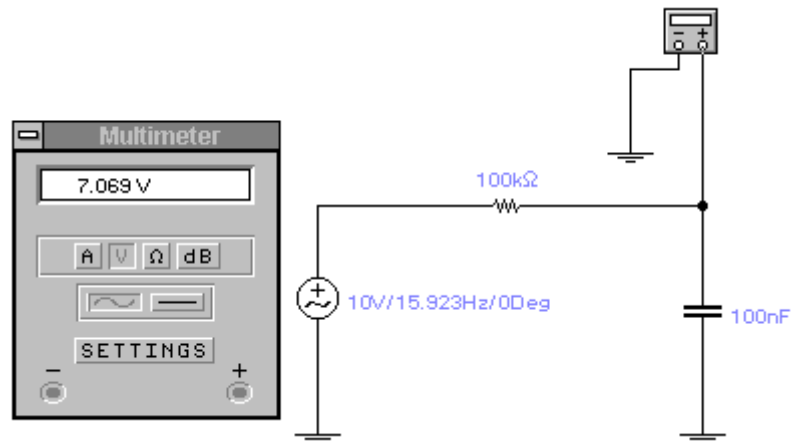
Os cálculos adotados anteriormente são rigorosamente iguais, apenas que, à medida que a frequência de entrada diminui, a tensão de saída aumenta, pois como sabemos a reatância capacitiva (X_c) de um capacitor é inversamente proporcional à frequência.

Assim:

$$X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

A figura a seguir mostra o FPB na frequência de corte, mantendo os mesmos valores do resistor e capacitor do FPA visto anteriormente.

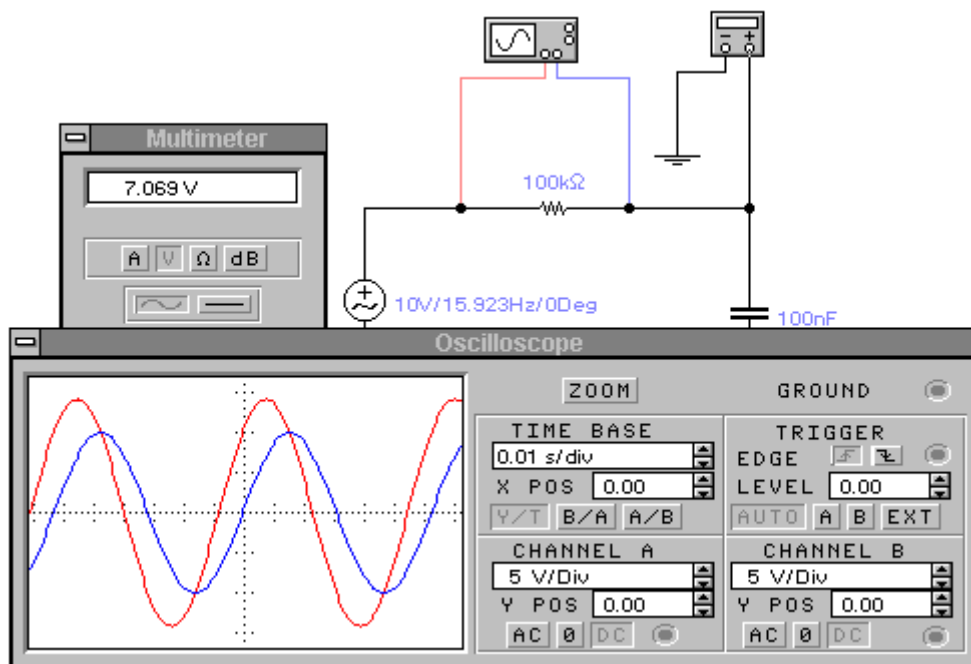
Observe que na frequência de corte, a tensão na saída é a mesma medida anteriormente no FPA ($7,072V \approx 7,069V$).



Veja na figura a seguir as formas de onda de entrada e saída.

A exemplo do FPA ocorre uma defasagem da tensão entre a entrada e a saída, defasagem essa da ordem de 45° , pois levando-se em consideração que também no FPB, na frequência de corte X_c iguala-se a R , teremos então como relação entre X_c e R o resultado 1.

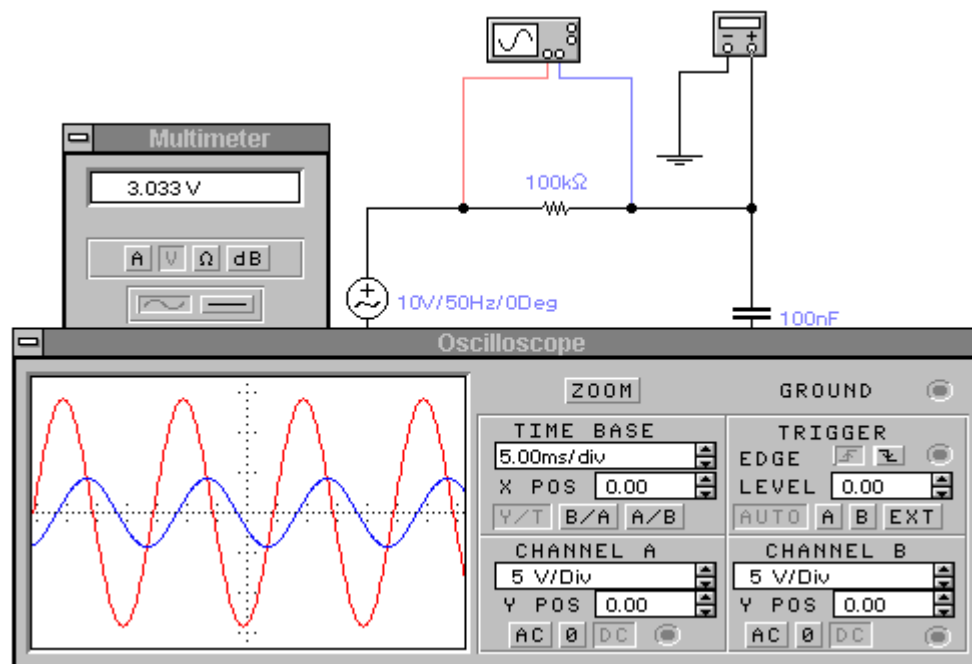
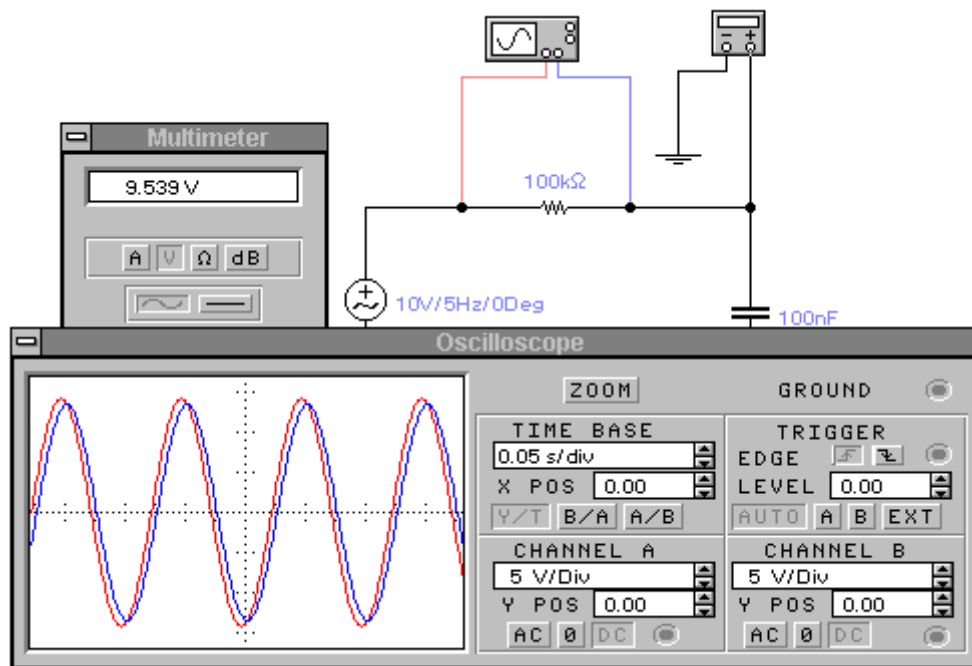
Desta forma, \arctan de 1 = 45° .



As figuras a seguir mostram as tensões e relações de fase entre entrada e saída, para as frequências de 5Hz e 50Hz respectivamente.

Observe agora, que o efeito é exatamente ao contrário em relação ao filtro passa altas, onde uma frequência menor propicia um aumento da tensão de saída.

A medida que a tensão de saída aumenta pela diminuição da frequência, a tendência é que o ângulo de defasagem se aproxime de zero.



Para calcular as tensões de saída, nas frequências de 5Hz e 50Hz respectivamente, basta seguir os mesmos procedimentos adotados utilizados no FPA.

Pode-se comprovar que o valor de X_c para a frequência de 5Hz é o mesmo:

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 100000 \cdot 10^{-9}} = 318,471k$$

O mesmo ocorre para a frequência de 50Hz.

$$X_c = \frac{1}{6,28 \times 50 \times 100 \cdot 10^{-9}} = 31,847k$$

Tomando como referência os cálculos efetuados anteriormente no FPA, é só calcular a tensão no resistor (FPA) e no capacitor (FPB).

Pequenas diferenças entre valores calculados e medidos, são provenientes de parâmetros internos dos componentes, principalmente do capacitor, quando deve ser levada em conta a sua resistência interna, mas, não podemos de deixar de levar em conta também a resistência interna dos equipamentos de medição, como por exemplo, o voltímetro.

Veja na tabela a seguir as comparações das tensões de saída nos dois tipos de filtro, na frequência de corte, em 5Hz e em 50Hz.

Essas medições foram obtidas em simulador virtual, cuja precisão é bastante confiável. Esses valores foram comprovados através de medições efetuadas em laboratório convencional.

| Tensões RMS | FPA | | | FPB | | |
|----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | f_c | 5Hz | 50Hz | f_c | 5Hz | 50Hz |
| Vin | 10V | 10V | 10V | 10V | 10V | 10V |
| Vs | 7,072V | 2,997V | 9,529V | 7,069V | 9,539V | 3,033V |

Onde f_c é igual a 15,923Hz