

# Filtros com Constante de Tempo Simples (CTS) e familiarização com os instrumentos de bancada

Bianca Yoshie Itiroko - 164923, Luiz Eduardo Cartolano - 183012,  
Seong Kim - 177143  
EE534 - Turma Y - Grupo 2

Agosto de 2018

## Resumo

A primeira parte do experimento consiste na familiarização com os equipamentos e no estudo do método de medida com o *cursor* e com o recurso *measure* do osciloscópio, sendo que o segundo se mostrou mais preciso. A segunda parte trata-se do estudo de circuitos passa baixa e passa alta quando submetidos a diferentes frequências. Analisando o diagrama de Bode obtido dos dados gerados por essa parte do experimento, pode-se ver que para circuitos passa baixa há atenuação de frequências altas. Já para circuitos passa alta há atenuação de frequências baixas, como esperado.

## 1 Introdução

Os filtros de frequência são bem comuns na eletrônica, utilizados para moldar sinais elétricos e promover a atenuação de interferências em ondas de áudio, vídeo e dados com base em suas frequências de oscilação. Um dos exemplos mais imediatos da aplicação de filtros é o equalizador de som, que permite ao usuário selecionar a atenuação desejada do áudio em diversas faixas de frequência, e assim deixar o som conforme sua preferência. Existem dois principais tipos de filtros de frequência: os ativos e os passivos.

Neste experimento, será estudado o comportamento de filtros de frequência passivos, isso é, filtros que são compostos apenas por resistores e capacitores, sem a presença de amplificadores operacionais. Busca-se compreender as relações entre a amplitude senoidal da tensão de saída em comparação com a de entrada e as defasagens causadas pelos elementos reativos dos circuitos passa-baixa e passa-alta, em suas várias configurações. Para melhor visualização, são confeccionados diagramas de Bode dos resultados obtidos.

O experimento também buscou familiarizar os alunos com os equipamentos usados no laboratório, como o osciloscópio, gerador de ondas/funções, placa de contatos, cabos com plugs banana e coaxial, multímetro digital, resistores e capacitores.

## 2 Procedimentos

Para a realização dos experimentos propostos, foram utilizados os seguintes componentes e ferramentas: Osciloscópio digital de dois canais, gerador de ondas/funções, cabos com plugs banana e coaxial, multímetro digital, placa de contatos, capacitores de 100pF e resistores de 100kΩ.

A primeira parte do experimento consiste na familiarização com os equipamentos do laboratório. Para isso conectou-se o sinal de *output* do gerador de ondas/funções em um dos canais do osciloscópio digital, e usou-se os recursos *cursor* e *measure* deste. Nesta parte do experimento é preciso tomar cuidado com a impedância explicitada no gerador de ondas/funções que deve ser configurada para *high impedance*.

A segunda parte do experimento consiste no estudo de filtros passa-alta e passa-baixa formados por um resistor e um elemento reativo em série, um capacitor. Na qual se montou um filtro como o mostrado na Figura 1. Um detalhe importante na montagem do circuito é o uso do  $T(BNC)$  a fim de conectar o sinal emitido pelo gerador em dois locais, a placa de contatos e um dos canais do osciloscópio.

O ponto central, denominado de V1 para esse experimento, entre o resistor e o capacitor, é o ponto de medição da tensão do gerador de ondas, e "a" e "b", denominado de V2, são os pontos de leitura da

tensão filtrada por frequências (passa-baixa e passa-alta, respectivamente), ou seja, é o ponto de onde o sinal seguiria seu caminho pelos demais circuitos do componente eletrônico após ser filtrado. Para estudo das efetividade dos circuitos montados em moderar a frequência, deve-se variar a frequência do gerador de ondas senoidais em uma ampla gama, incluindo as frequências dos sinais que deseja-se atenuar ou manter.

Para avaliar a atenuação, deve-se comparar as amplitudes de tensão das ondas senoidais medidas em V2 (tensão de saída) com as medidas em V1 (tensão de entrada).

Ao final da segunda parte, desconectou-se o cabo BNC do canal-1, colocou-se frequência 16kHz e com duas pontas de prova efetuou-se a medida de tensão diferencial entre os nós [A] e [B].

### 3 Discussão

Na primeira parte do experimento, mediu-se a amplitude com os cursores no osciloscópio e obteve-se 5.04V e -5.12V, o que é condizente com os 10Vpp setados no gerador. Como período, encontrou-se -508us e -404us para os extremos da função, o que nos resulta 104us, também condizente com o esperado quando calculou-se o período com a frequência setada no gerador. De tempos de subida e descida, obteve-se 38us para ambos.

Ainda nessa primeira parte, utilizou-se também o recurso *measure* do osciloscópio. Ao analisar os dados obtidos, pode-se perceber que os mesmos são mais precisos do que os setados via cursores anteriormente: para a amplitude obteve-se 10V, para o período obteve-se 100us e nos tempos de subida e descida obteve-se 43us, que são exatamente o que foi introduzido no gerador.

Essa diferença pode ser justificada por conta de o primeiro método necessitar de ajuste humano para definir os cursores, o que provavelmente foi o que trouxe as diferenças entre os resultados.

A fim de obter comparações, configurou-se o canal para medida CA e então para medida CC. Obteve-se que para medidas em CA, ao alterar o *offset*, nada variava. Já em CC, alterar o *offset*, trazia deslocamentos no eixo y. Isso se deve pois quando se coloca o osciloscópio para medir CA, ele automaticamente corrige o *offset*. Já quando a medida é CC, o *offset*, por ser importante, não é anulado.

Para a segunda parte do experimento, montou-se o circuito da Figura 1 em que a esquerda tem-se um filtro Passa-Baixas de primeira ordem e o circuito à direita da fonte é um filtro Passa-Altas. Com o auxílio de uma ponta de prova, realizou-se medições de diferentes frequências, de comparar os resultados com frequências próximas ou não da frequência de corte. Os valores obtidos podem ser observados na Tabela 1.

Para refinar a análise, calculou-se a frequência de corte teórica usando a Fórmula 1 e obteve-se o valor de 15915 Hz, o que foi condizente com os intervalos de frequência obtidos na tabela.

$$\omega_c = \frac{1}{RC} \quad (1)$$

A partir da atenuação e da fase obtidas a partir do logarítmico da frequência, utilizou-se um script em *Python3* para plotar os dados e obter um diagrama de Bode. Para o circuito Passa Alta, pode-se ver que claramente existe uma atenuação maior para frequências baixas. O comportamento é fruto do fato de que o circuito é constituído por um circuito CR série, no qual a tensão de saída é a do resistor. O comportamento dele é o inverso de um filtro passa-baixa: para frequências altas a reatância capacitiva assume valores baixos em comparação ao valor da resistência, de modo que tensão de saída é praticamente igual à tensão de entrada. Para frequências baixas, a reatância capacitiva assume valores altos em comparação com o valor da resistência, atenuando a tensão de saída para um valor praticamente nulo. Como pode ser observado nas Figuras 2 e 3.

Da mesma forma, no circuito Passa Baixa houve atenuação mais expressiva para frequências altas, o que acontece pois o filtro em questão é formado por um circuito RC em série, no qual a tensão de saída é a do capacitor. Para ondas senoidais de frequências baixas, a reatância capacitiva assume valores altos em comparação ao valor da resistência. Assim, a tensão de saída é praticamente igual à tensão de entrada. Para frequências altas, a reatância capacitiva assume valores mais baixos do que o valor da resistência, o que atenua a tensão de saída para um valor praticamente nulo. Como pode ser observado nas Figuras 4 e 5.

Também pode-se observar que para o filtro passa-baixa, a fase relativa na frequência de corte é de -41 graus, enquanto para o filtro passa-alta, a fase relativa é de 38 graus. Isso é coerente com a teoria que diz que na frequência de corte, a fase relativa é, em módulo, de 45 graus.

A fim de obter uma base de comparação para os Diagramas de Bode obtidos experimentalmente, foi preciso encontrar as funções de transferência, atenuação e fase de ambos os filtros. Para o filtro Passa Alta, encontrou-se, baseado nas demonstrações vistas em [2], as funções apresentadas nas equações 2, 3 e 4, que representam, a função de transferência, a atenuação e a fase, respectivamente. Enquanto que para o Passa Baixa, tais funções se encontram nas equações 5, 6 e 7.

$$H = \frac{R}{R + Z_C} = \frac{R}{1 + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\frac{1}{\omega RC}} \quad (2)$$

$$T = |H|^2 = 20 \log_{10}\left(\frac{\omega}{\omega_c}\right) - 10 \log_{10}\left(\frac{\omega^2}{\omega_c^2} + 1\right) \quad (3)$$

$$\theta = \arctan\left(\frac{1}{\omega RC}\right) \quad (4)$$

$$H = \frac{Z_C}{R + Z_C} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} = \frac{1}{1 + j\frac{\omega}{\omega_c}} \quad (5)$$

$$T = |H|^2 = 20 \log_{10}\left(\frac{1}{1 + \frac{\omega^2}{\omega_c^2}}\right) \quad (6)$$

$$\theta = \arctan(-\omega RC) \quad (7)$$

Ao realizar comparações entre os diagramas de Bode obtidos experimentalmente com os teóricos, obtidos pela substituição das frequências nas fórmulas mostradas anteriormente, pode-se ver que chegou-se muito próximo do esperado. Como pode-se observar nas Figuras 6, 7, 8 e 9. As diferenças apresentadas podem ser atribuídas a mal contato do cabo ou do *protoboard* e ao fato de que os componentes eletrônicos (resistor e capacitor) não são ideais, ou seja, seu valor de resistência/capacitância não são livre de desvios.

A fim de analisar as frequências de forma completa, utilizou-se o recurso *sweep* (varredura em frequência). Os resultados dessa análise podem ser vistos na Figura 10 e na Figura 11. Eles são condizentes com as teorias enunciadas acima pois para o gráfico do circuito Passa Alta, as frequências baixas são atenuadas. Para o circuito Passa Baixa, as frequências altas são atenuadas.

Para a última parte do experimento, buscou-se medir a tensão diferencial entre dois nós ao setar uma frequência de 16kHz. Observou-se pelo osciloscópio duas ondas senoidais com fases opostas. Isso foi de acordo com a saída esperada, pois a fase das ondas depende da frequência usada e da frequência de corte. Além disso, a fase ser oposta indica que o resultado realmente está próximo ao esperado como pode ser visto nos gráficos da 9 e 7.

## 4 Conclusão

Para o experimento, pode-se concluir que chegou-se aos objetivos esperados.

Na primeira parte, foi possível familiarizar-se com os equipamentos (osciloscópio e gerador de funções) e também pode-se comparar os métodos de medida com o cursor e com o recurso measure, sendo que o segundo resultou em maior precisão ao comparar-se o valor obtido com o esperado.

Na segunda parte do experimento, construiu-se os circuitos de passa alta e passa baixa com a *protoboard* e, com o auxílio do osciloscópio e do gerador, pode-se avaliar diferentes frequências para então analisar como era o comportamento de ambos. Com os diagramas de Bode, pode-se comprovar de fato que ocorre a atenuação para baixas frequências no caso do filtro Passa Baixa e para altas frequências no caso do filtro Passa Alta.

## Referências

- [1] MASIERO Bruno. Roteiro experimento 1. Disponível em: <https://bit.ly/2vQliWx>, Acesso em: 10-08-2018.
- [2] Adel S. Sedra and Kenneth C. Smith. *Microelectronic Circuits*. Oxford University Press, fifth edition, 2004.

## Anexos

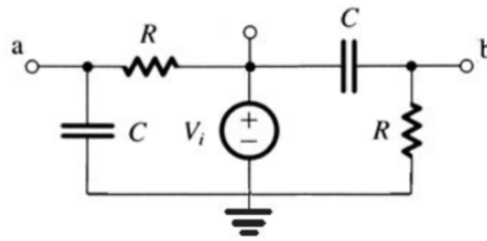


Figura 1: Circuito com filtros passa alta e passa baixa

Diagrama de bode filtro passa alta experimental

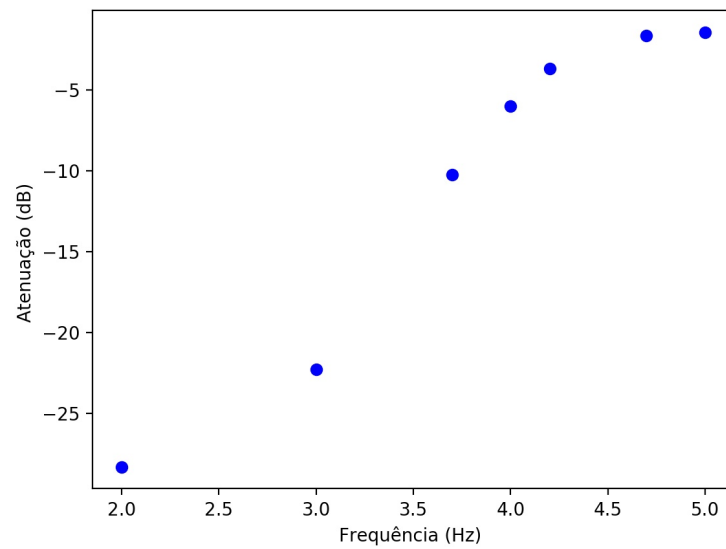


Figura 2: Diagrama de bode para a atenuação do filtro passa alta

Tabela 1: Dados experimentais obtidos para os filtros Passa Alta e Baixa

nó	Frequência	100	1000	5000	10000	15915	50000	100000
Vi	Amplitude (pico a pico)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04
Vo [Passa baixa]	Amplitude (pico a pico)	1	1	0.96	0.84	0.68	0.32	0.16
	Atenuação (em dB)	-0.341	-0.341	-0.695	-1.855	-3.690	-10.238	-16.258
	Fase relativa (a Vi)	0	-7	-21	-36	-41	-72	-83
Vo [Passa alta]	Amplitude (pico a pico)	0.04	0.08	0.32	0.52	0.68	0.86	0.88
	Atenuação (em dB)	-28.299	-22.279	-10.238	-6.021	-3.690	-1.651	-1.451
	Fase relativa (a Vi)	-	90	68	54	38	15	0

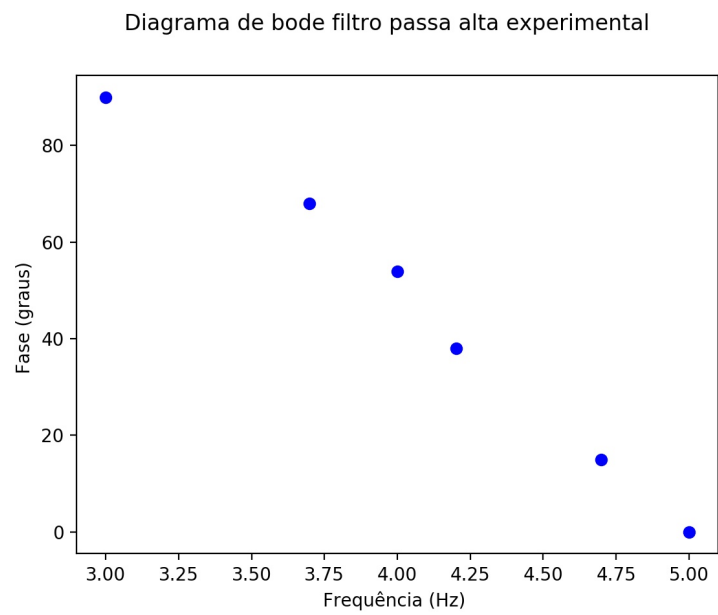


Figura 3: Diagrama de bode para a fase do filtro passa alta

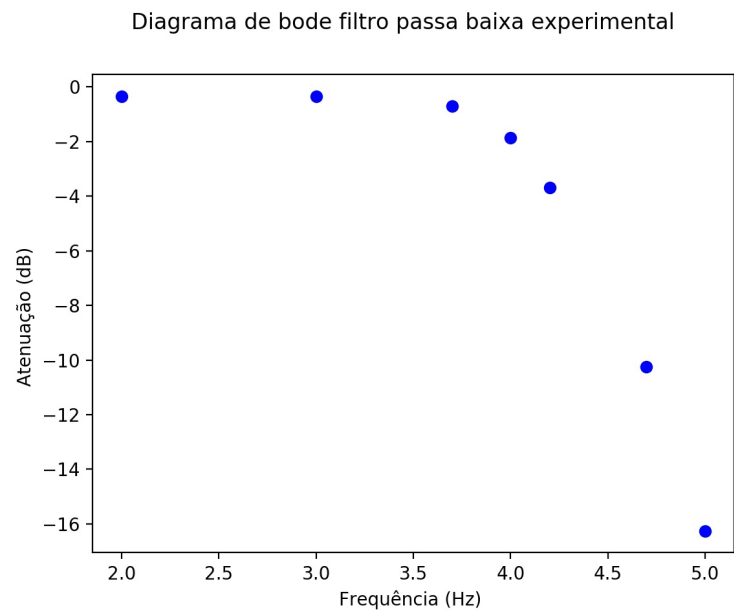


Figura 4: Diagrama de bode para a atenuação do filtro passa baixa

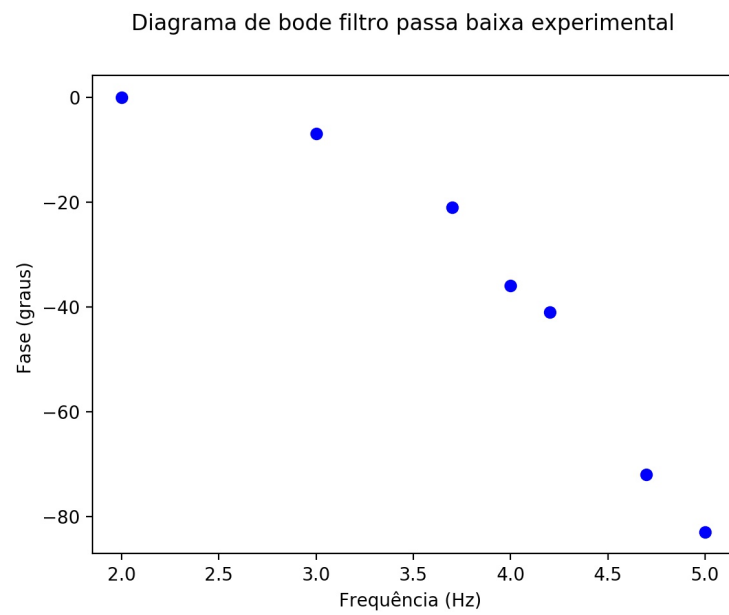


Figura 5: Diagrama de bode para a fase do filtro passa baixa

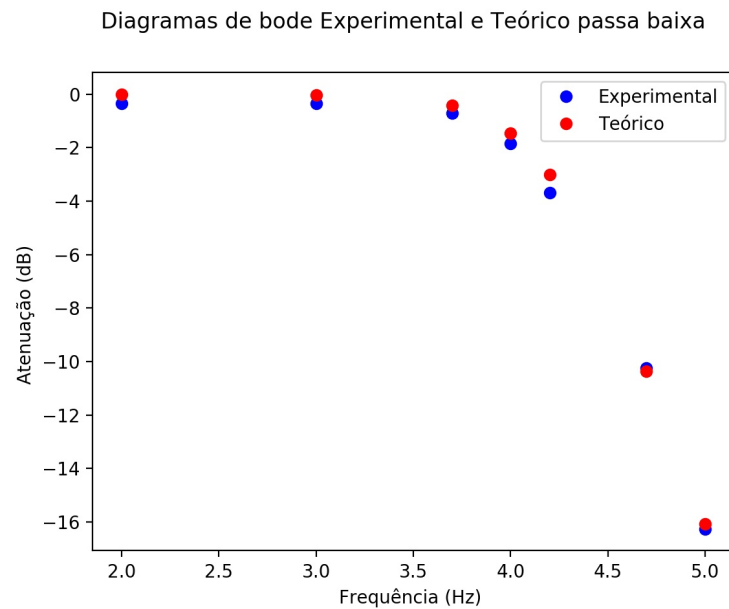


Figura 6: Comparação dos diagramas teórico e experimental para a atenuação do filtro passa baixa

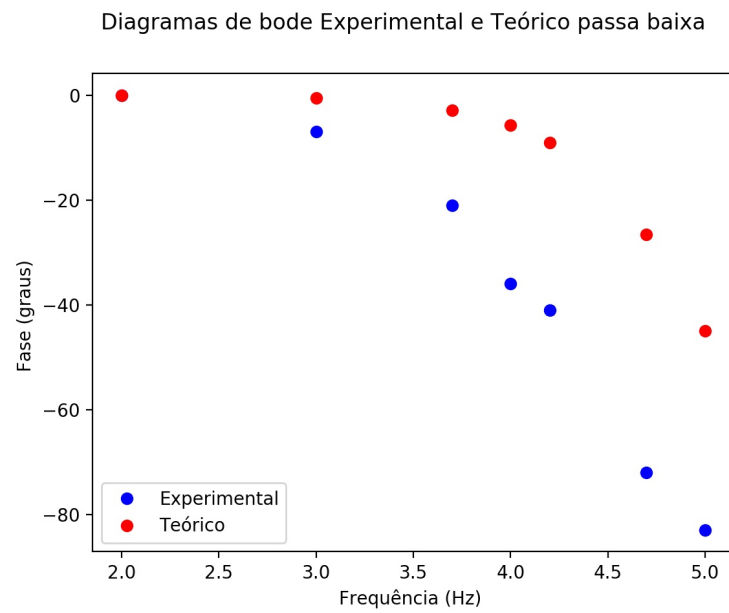


Figura 7: Comparação dos diagramas teórico e experimental para a fase do filtro passa baixa

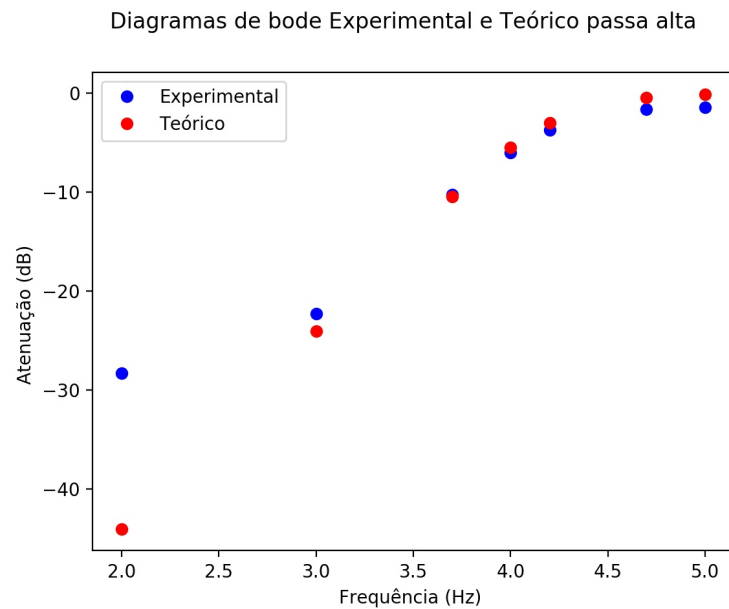


Figura 8: Comparação dos diagramas teórico e experimental para a atenuação do filtro passa alta



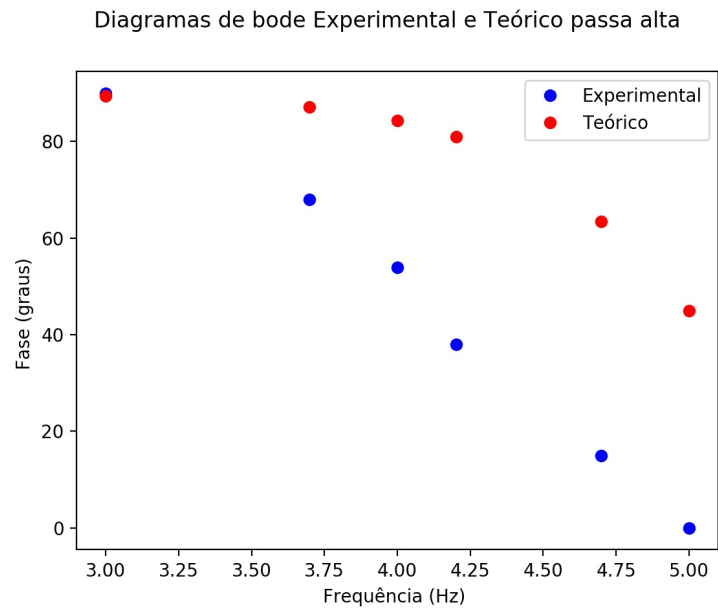


Figura 9: Comparação dos diagramas teórico e experimental para a fase do filtro passa alta

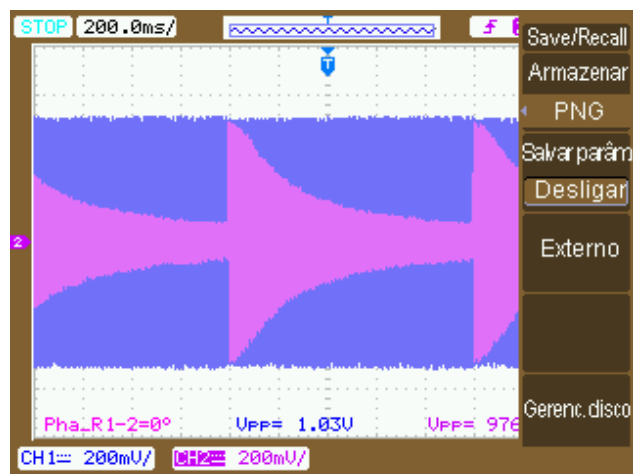


Figura 10: Sweep para Filtro Passa Baixa

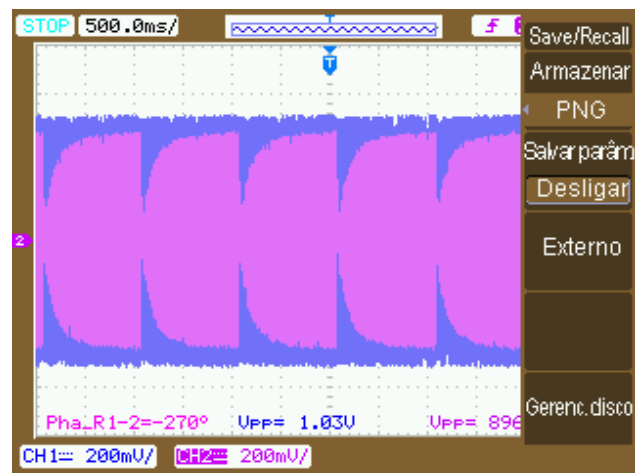


Figura 11: Sweep para Filtro Passa Alta