

Estudo Básico sobre CROSSOVERS

Departamento de Engenharia – ETELJ

Autor: João Rossi Filho

Jales, SP, 22 de maio de 2013

Introdução

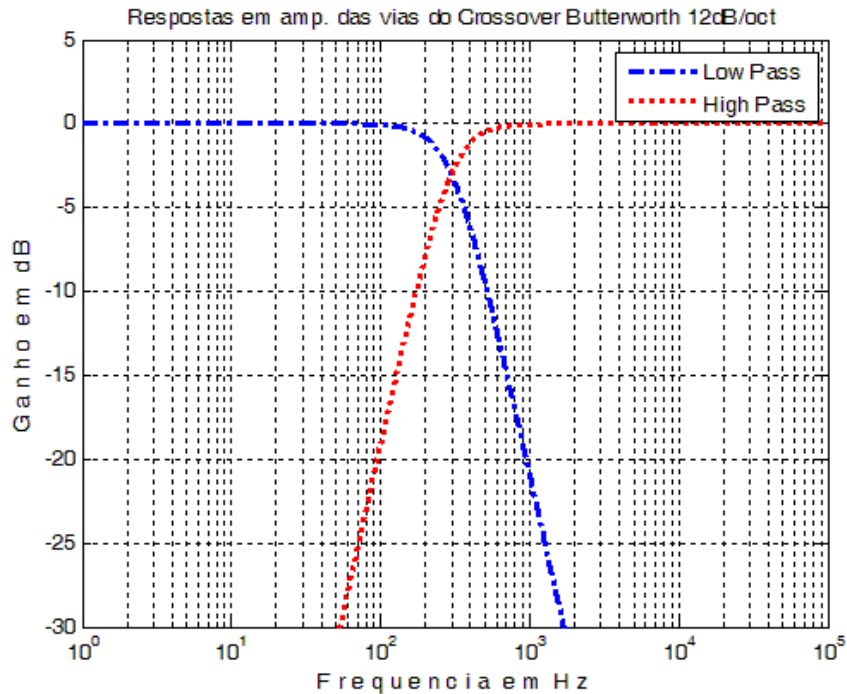
A separação do sinal de áudio *full-range* em sub-bandas (vias) é um processo recorrente em diversas aplicações, e é realizado por um sistema, genericamente, denominado *Crossover*. Os *Crossovers* podem ser digitais ou analógicos, e, passivos ou ativos, de acordo com a aplicação necessária, porém todos compartilham o mesmo objetivo, baseando-se na mesma teoria.

O princípio básico de funcionamento dos *Crossovers* consiste na divisão da banda espectral do sinal em 2 ou mais bandas menores – também chamadas de *vias*, com a utilização de **filtros passa-baixas e passa-altas** nas frequências limítrofes das sub-bandas, de modo que a superposição das sub-bandas na saída do sistema resulte no espectro original. De acordo com as demandas da aplicação, o *Crossover* pode utilizar diversos tipos de filtros para realizar a divisão das bandas.

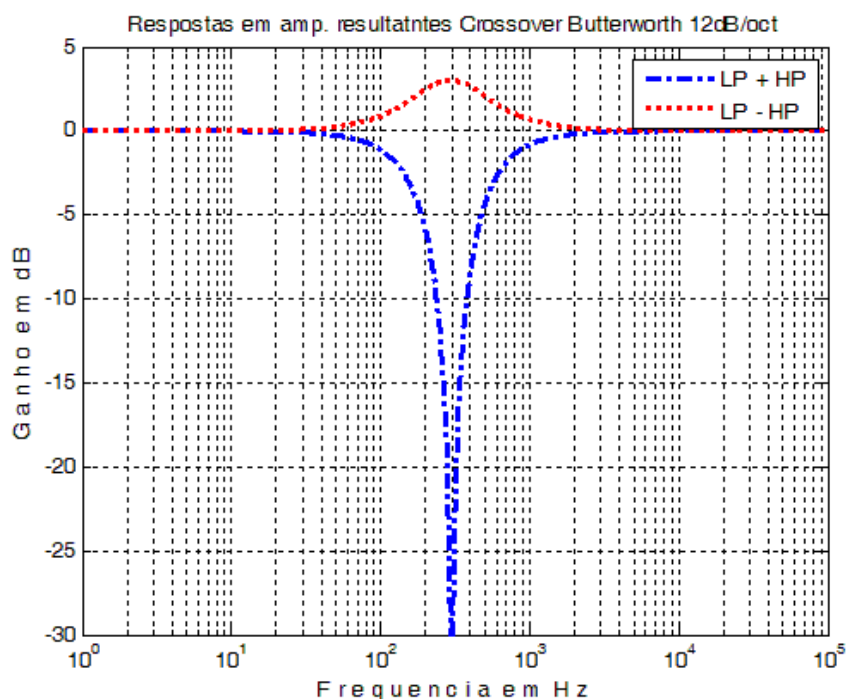
Este trabalho realizará uma breve abordagem sobre algumas configurações típicas de *Crossovers* com filtros de segunda (12dB/oct) e quarta (24dB/oct) ordem, dos tipos Butterworth e Linkwitz-Riley.

Crossover Butterworth 12dB/oct

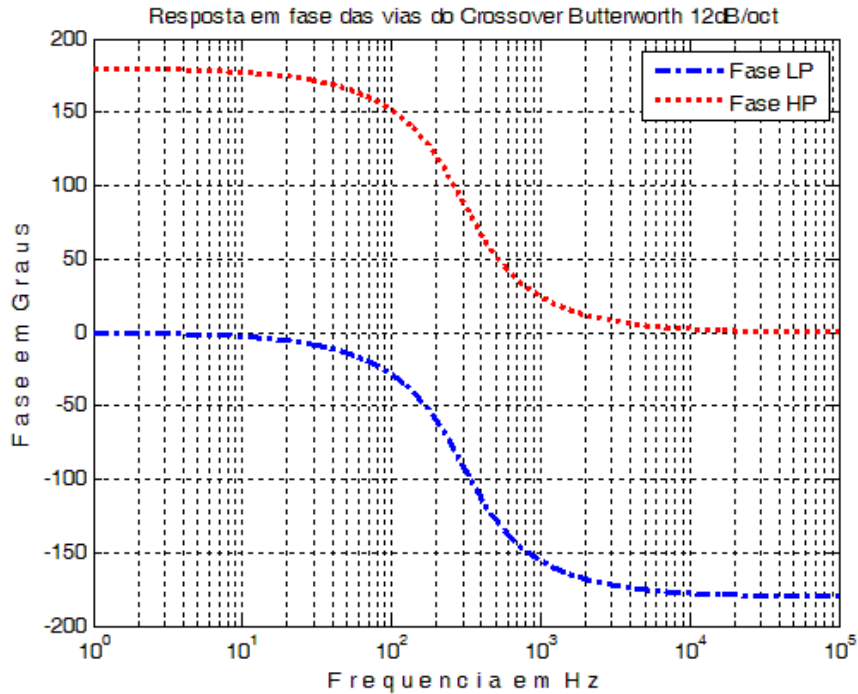
Os filtros Butterworth são caracterizados pelo fato de que a frequência de corte do filtro apresenta uma atenuação de -3dB na frequência de corte:



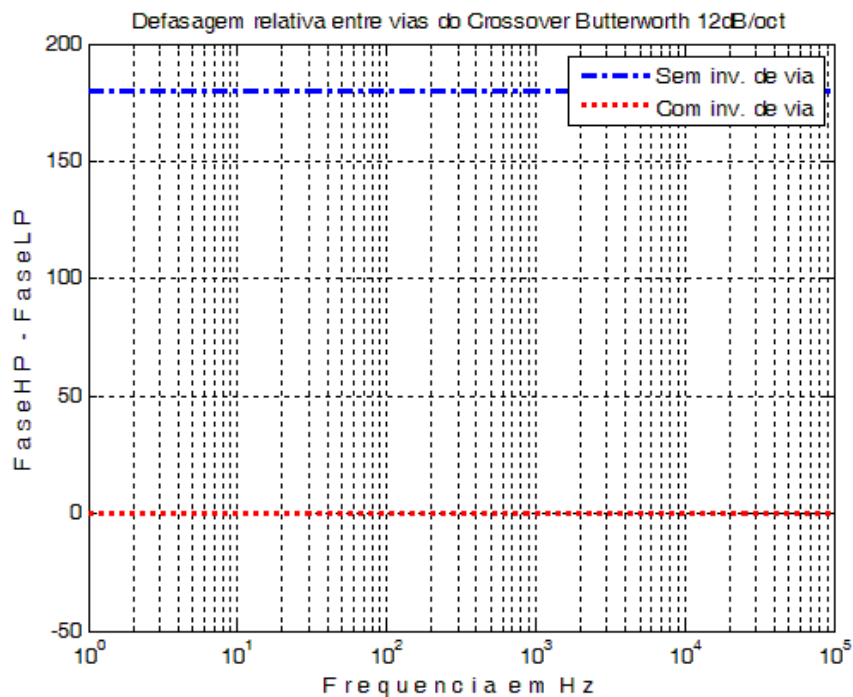
O objetivo dos Crossovers, é que na saída do sistema a superposição das vias resulte no sinal original. Porém, devido à característica de -3dB na frequência de corte dos filtros Butterworth, a superposição final das vias apresenta uma amplificação de 3dB a frequência de crossover.



Pode-se observar no gráfico anterior, que para a simples superposição das vias – “LP + HP”, ocorre o surgimento de um *notch* no espectro resultante. Isto ocorre devido ao fato dos filtros *high-pass* e *low-pass* de segunda ordem apresentarem uma defasagem de 180 graus - sendo 90 graus de defasagem para cada polo dos filtros.

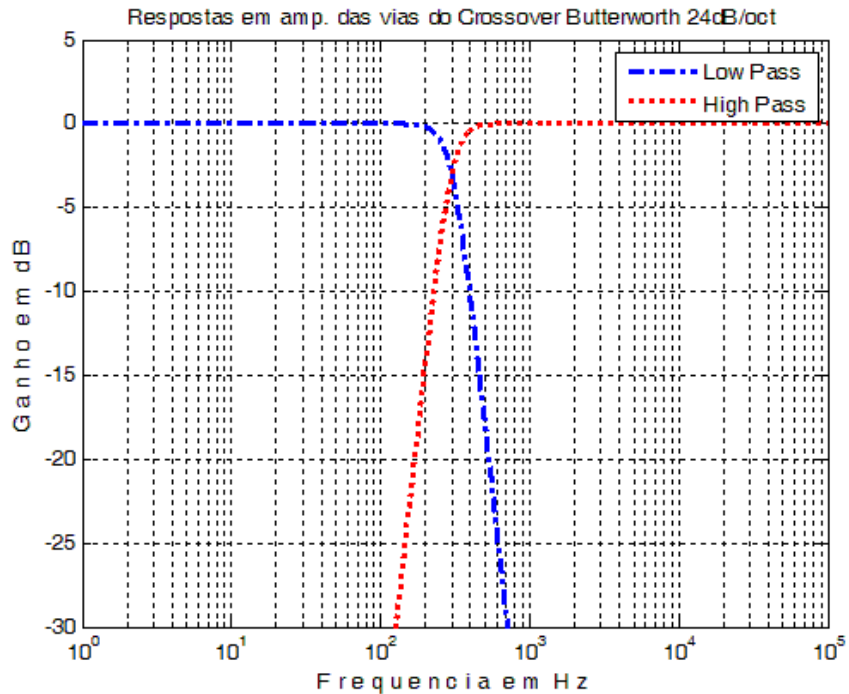


A maneira mais prática de eliminar o surgimento do *notch* consiste na inversão de uma das vias, resultando no 'calombo' de 3dB observado anteriormente.

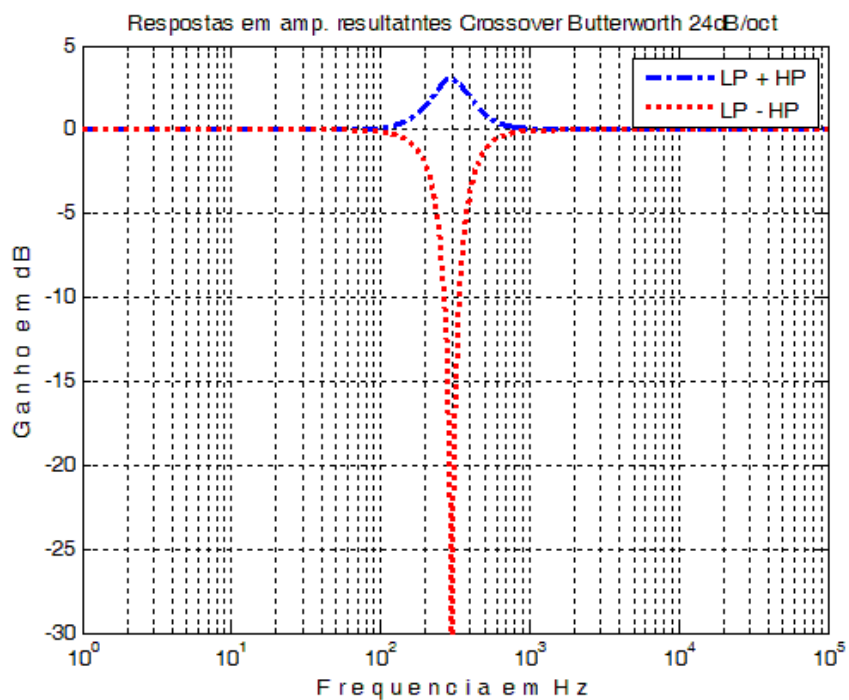


Crossover Butterworth 24dB/oct

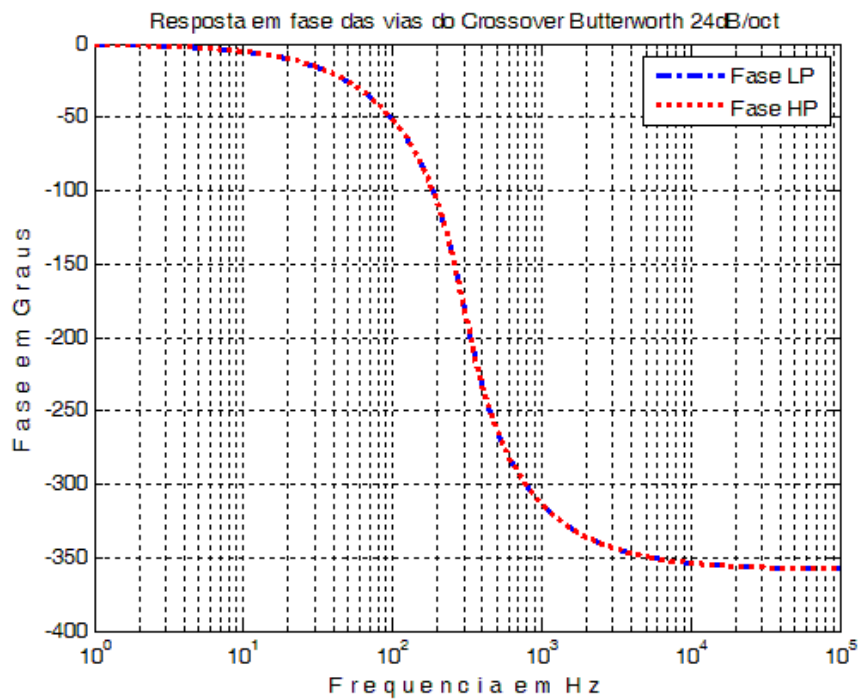
Independente da ordem do filtro Butterworth, é mantida a característica de -3dB na frequência de corte.



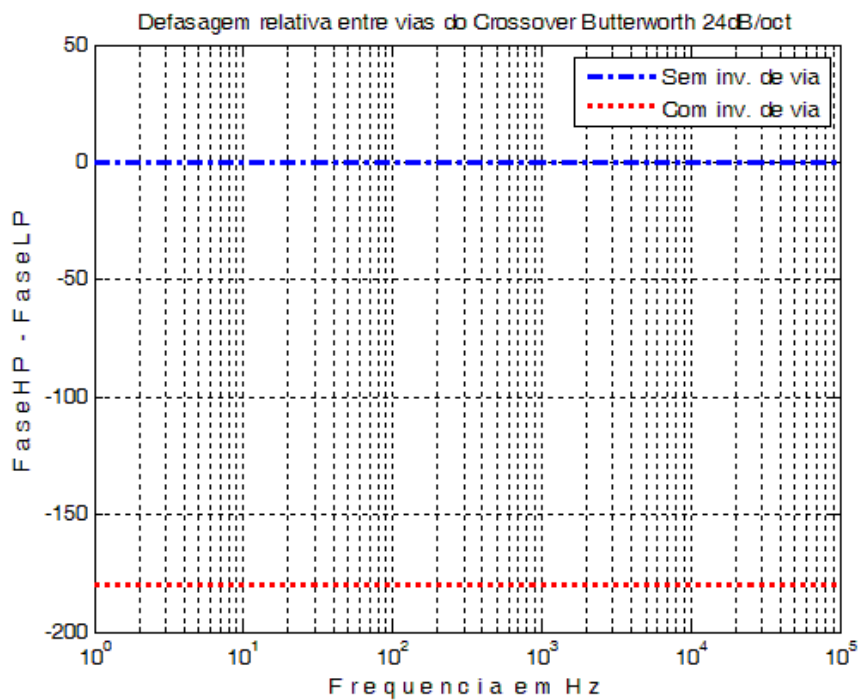
Sendo assim, continua a ocorrência do “calombo” de 3dB na frequência de crossover, porém pode-se observar no gráfico abaixo que para a simples superposição das vias - “LP + HP” - não ocorre o *notch*.



Isto ocorre devido ao fato dos filtros de quarta ordem provocar um atraso de 360 graus entre as vias, isto é, as vias permanecem em fase.

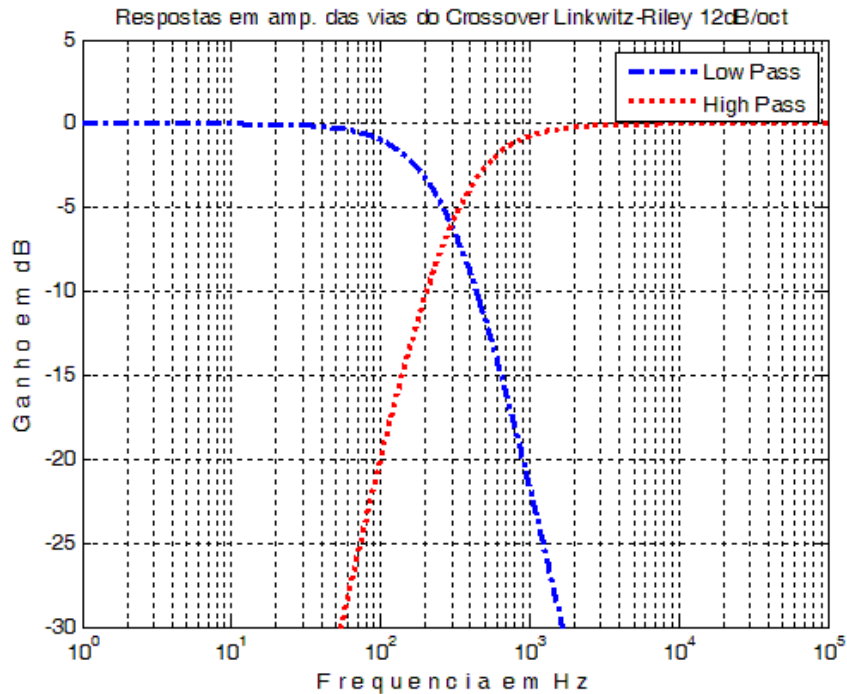


Observa-se na figura acima que, a defasagem é idêntica para ambas as vias.

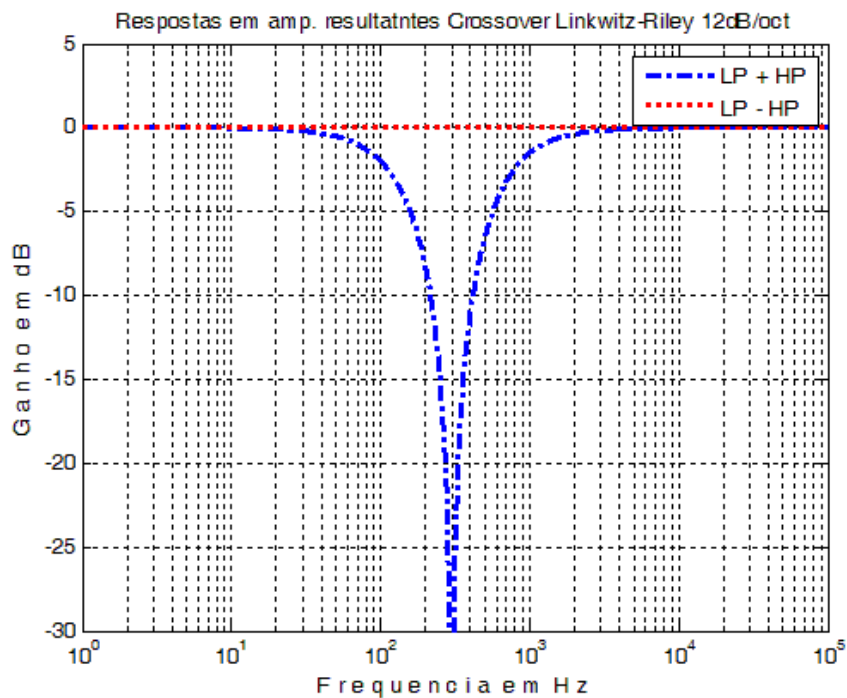


Crossover Linkwitz-Riley 12dB/oct

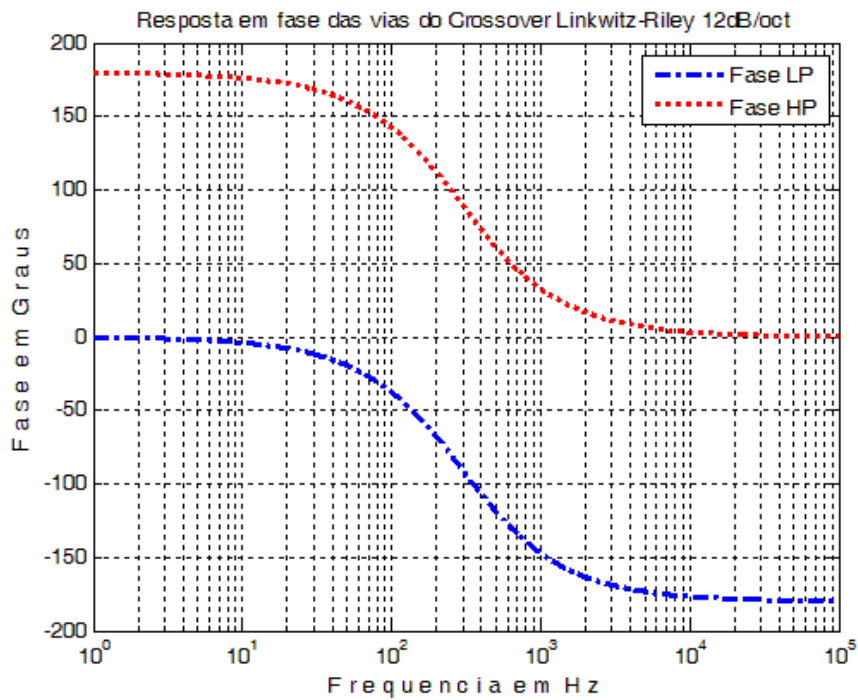
Os filtros Linkwitz-Riley, diferentemente dos Butterworth, apresentam uma atenuação de 6dB na frequência de corte, independente de sua ordem.



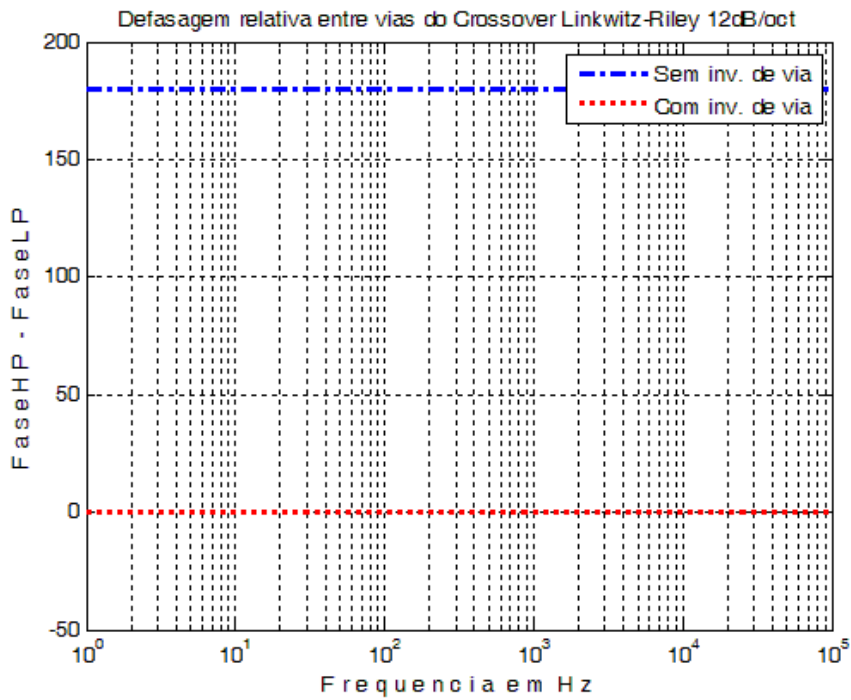
O resultado desta característica é fica clara quando ocorre a superposição das vias, que ocorre de modo perfeito, isto é, sem o 'calombo' observado nos filtros Butterworth.



Devido ao fato dos filtros serem de segunda ordem, ocorre o mesmo efeito observado anteriormente, a defasagem de 180 graus entre os filtros *low-pass* e *high-pass*. A solução adotada é a mesma, a simples inversão de uma das vias.

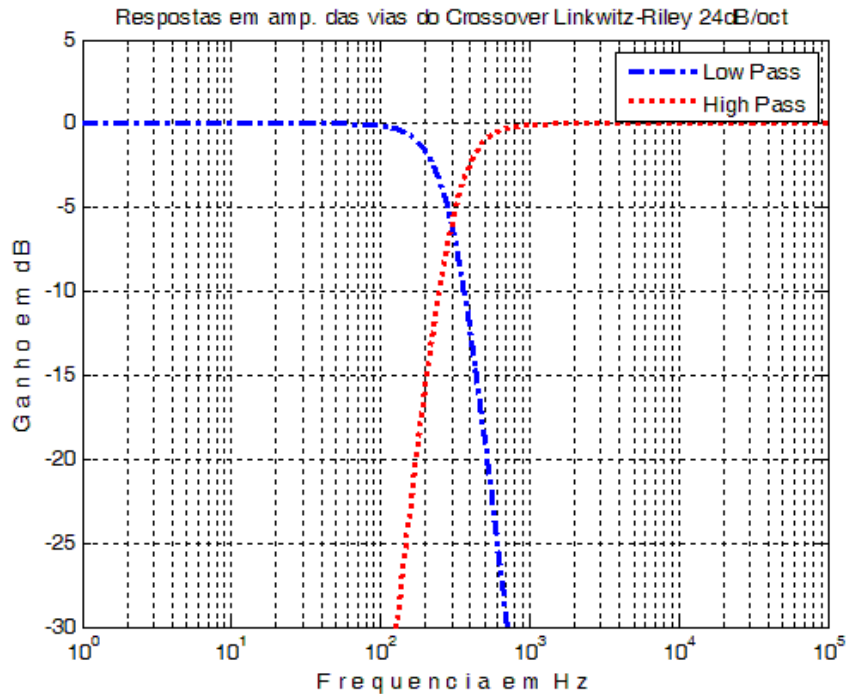


Caso a fase de uma das vias não seja invertida, observa-se a ocorrência do *notch* na frequência de crossover.

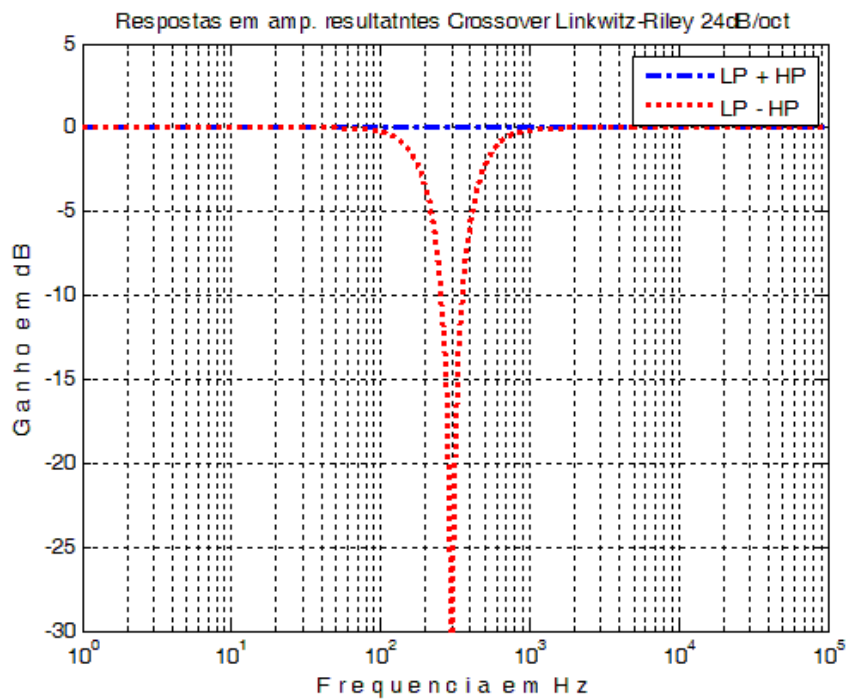


Crossover Linkwitz-Riley 24dB/oct

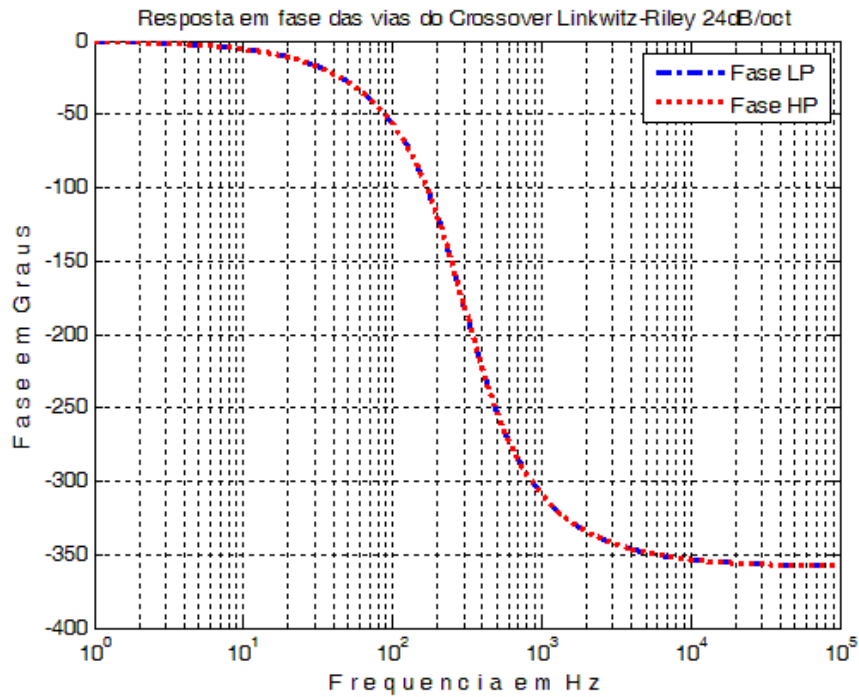
Os filtros Linkwitz-Riley de quarta ordem, como dito anteriormente, também apresentam atenuação de 6dB nas frequências de corte.



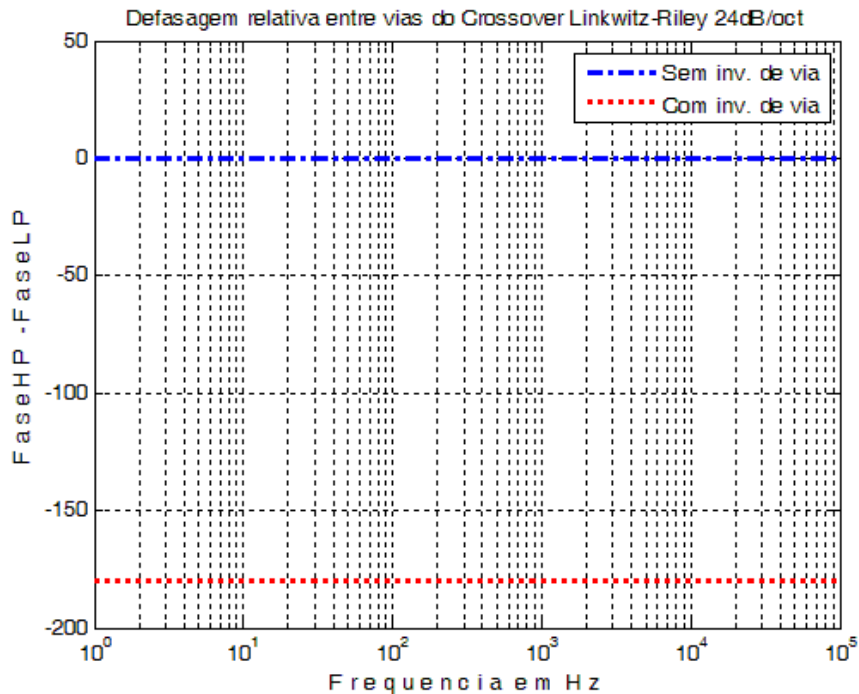
Resultando na superposição perfeita das vias.



Devido ao fato do filtro ser de quarta ordem, como visto anteriormente não ocorre a defasagem entre as vias.



Sendo assim, não há a necessidade de inversão de uma via para que a superposição ocorra de modo perfeito.



Conclusões

A escolha dos filtros a serem utilizados nos crossovers deve ser feita de acordo com a aplicação, isto é, não há como classificar qual filtro é melhor. Embora filtros de ordem alta, normalmente, apresentem melhor desempenho, são exigidas implementações mais sofisticadas.

É possível resumir sobre os filtros utilizados em crossovers:

- Filtros Butterworth: A superposição das vias é imperfeita devido à atenuação de apenas 3dB nas frequências de corte. Causando o 'calombo' e 3dB observado.
- Filtros Linkwitz-Riley: Superposição perfeita, atenuação de 6dB nas frequências de corte.
- Filtros 12dB/oct: Devido à defasagem de 180 graus entre as vias. Na superposição das bandas há o surgimento de um *notch* na frequência de crossover. Isto é corrigido aplicando-se uma inversão de fase em uma das vias.
- Filtros 24dB/oct: A defasagem entre as vias é de 360 graus, ou seja, em sincronia de fase, o que descarta, em tese, a inversão de fase.

Na prática, em grande parte dos casos, há um desalinhamento entre as bobinas dos transdutores de cada via, introduzindo atrasos de fase adicionais. Estes defasamento imprevisto pode levar a necessidade de inversão de via mesmo quando teoricamente não se deve. Implementações mais modernas, baseadas em DSP's, permitem a inserção de atrasos muito precisos, tornando os projetos de crossovers muito mais eficientes.