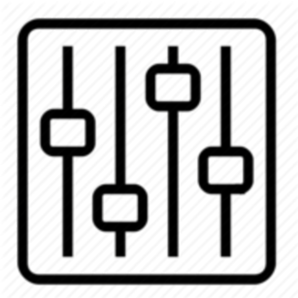
모두의 홈레코딩



http://wiki.homerecz.com

홈레코딩 위키

리버사이드 재즈 스튜디오

정승환

목차

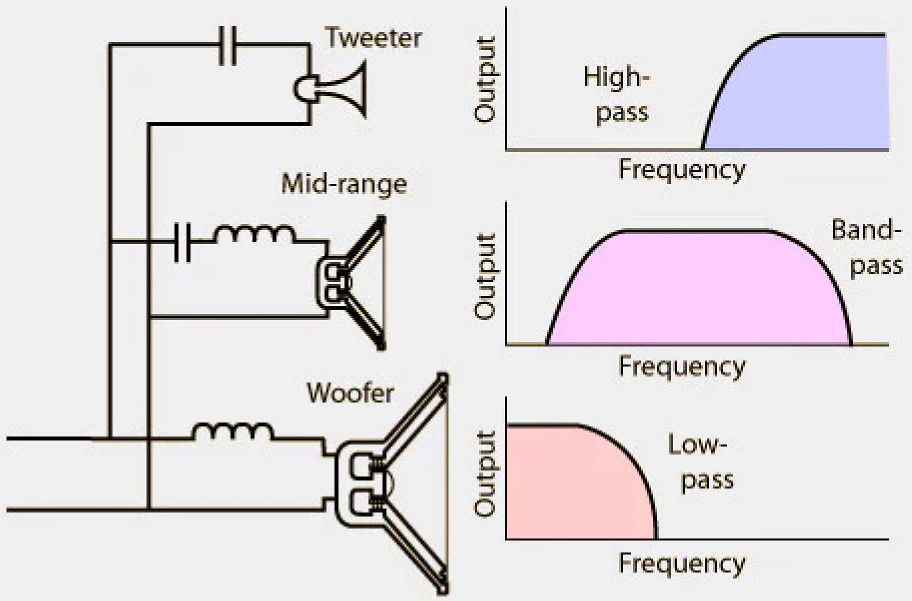
크로스오버

크로스오버 네트워크

풀레인지 스피커가 아닌 2-way나 3-way 방식의 스피커들은 여러 개의 다양한 사이즈를 가진 스피커 유닛인 트위터, 미드레인지, 우퍼, 서브우퍼 등을 통해 각각의 사이즈의 스피커가 가장 잘 재생할 수 있는 주파수를 각기 분담하여 재생하게 된다. 이 때 각각의 스피커 유닛에 주파수 영역을 분리하여 보내주는 역할을 하는 장치가 바로 크로스오버 네트워크이다.

별도의 서브우퍼 크로스오버는 베이스 조정에서 담당한다.

만약 어떤 사이즈의 스피커가 잘 재생할 수 있는 주파수가 아닌 너무 높거나 낮은 주파수를 재생하도록 하면, 스피커의 유닛이 분할 진동을 하거나 의도되지 않은 작용을 하게 되어 THD 가 발생하거나 의도되지 않은 잡음이 생길 수 있기 때문에, 이러한 너무 높거나 낮은 주파수를 필터를 통해 미리 제거하여 스피커가 안전하게 재생가능한 주파수 대역만 보내게 된다.



An example of a typical 3-way speaker system consisting of a tweeter, mid-range driver and woofer.

Crossover Network

A **Crossover Network**, in the context of 2-way or 3-way speaker systems rather than full-range speakers, is a device responsible for dividing the audio signal into separate frequency bands that are best suited for each speaker unit with different sizes, such as the tweeter, midrange, woofer, subwoofer, etc.

The crossover network also plays a role in managing the LFE (Low-Frequency Effects) for subwoofers.

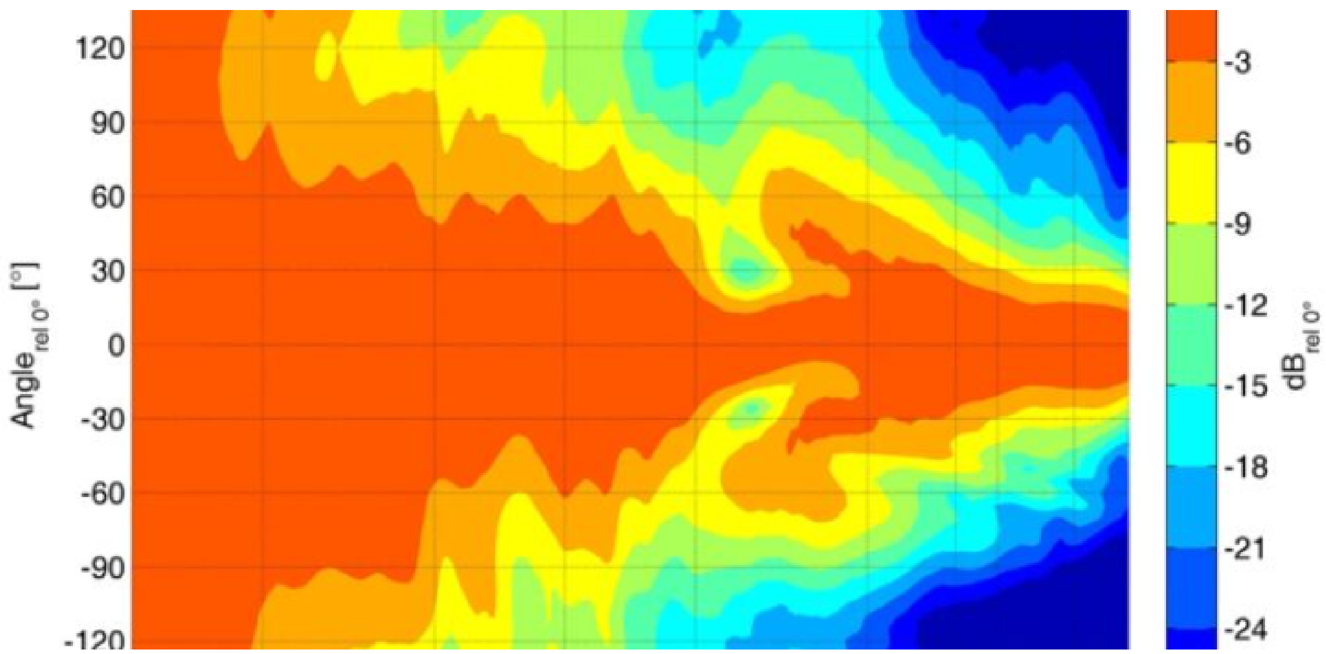
If a speaker were to reproduce frequencies that are too high or too low for its capabilities, it could result in undesirable effects such as unit breakup or unintended vibrations, leading to harmonic distortion (THD) or unwanted noise. Therefore, these excessively high or low frequencies are filtered out in advance through a crossover network, ensuring that only the frequency range within the speaker's safe operating capabilities is directed to each unit.

유닛 간격

트위터와 우퍼의 크로스오버 주파수에 의한 이상적인 유닛간 거리는 크로스오버 파장의 1/4 이하여야 합니다.

> 예시) 크로스오버 1kHz 일때 유닛간 거리 = 34cm/4 = 8.5cm 이하 이어야 함, 하지만 1인치 트위터 + 5인치 유닛의 유닛간 최소거리 = 6인치(15cm)

대부분의 일반적인 스피커 설계는 이 조건을 만족하기 힘듭니다. 따라서, 일반적인 스피커들의 수직지향성을 측정해보면 크로스오버 주파수 구간에서 수직지향성이 푹파인듯 줄어드는 구간이 생겨나게 됩니다. 이 문제를 해결하기 위해선 우퍼의 사이즈를 작게 만들고 크로스오버 주파수를 내리거나 트위터와 우퍼를 동축 유닛으로 설계하는 방법 등이 있습니다.



이러한 이유로 스피커를 아주 가까이 듣기보다는 최소한의 청취 거리를 유지하여 좀 떨어져서 청취해야 하는 문제가 생기며 귀 높이를 특정 높이로 고정해야 하는 문제가 생깁니다.

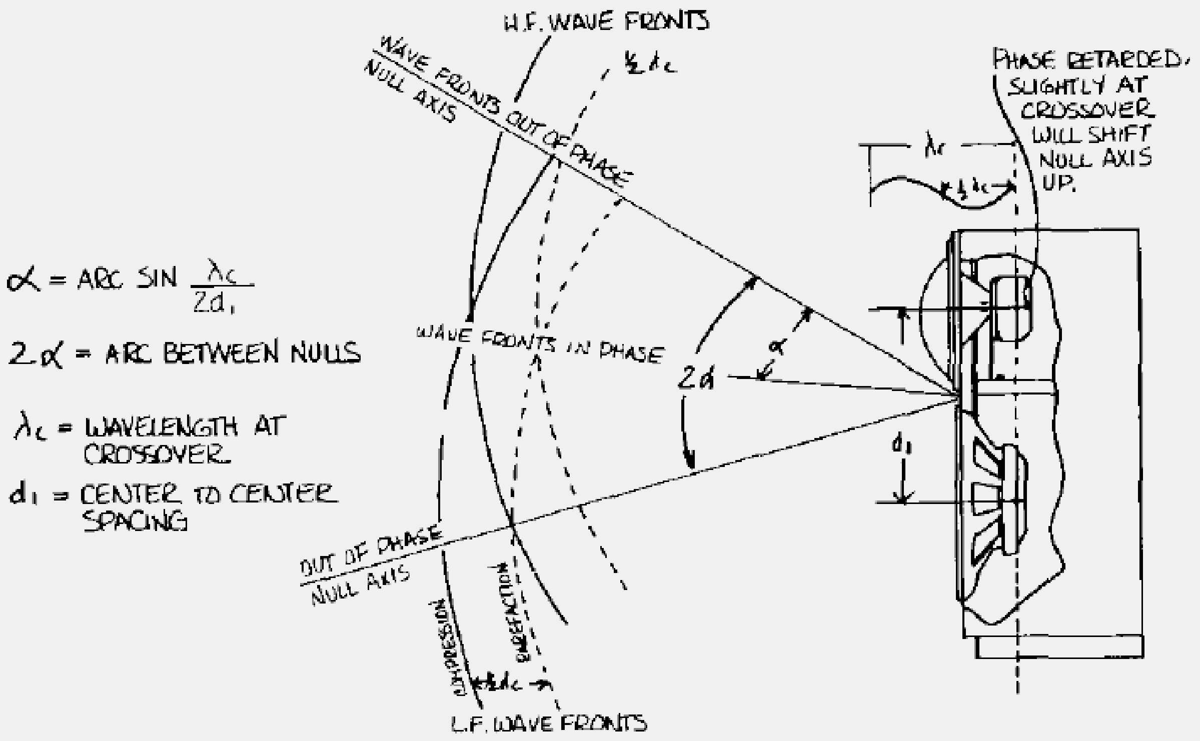


Fig. 10. Geometric causes of vertical off-axis response nulls.

Crossover nulls that appear at off-axis angles are an inevitable consequence of the finite driver spacing. In noncoaxial designs the spacing is usually in the vertical plane, and it causes the woofer-to-listener and tweeter-to-listener distances to vary as the system axis is tilted. Linkwitz [7] shows that the angle between nulls is roughly defined by the wavelength of sound at the crossover frequency and the vertical spacing (see Fig. 10). It is given by

$$\alpha = \arcsin\left(\frac{\lambda_c}{2d_1}\right)$$

where

α = half-angle between nulls

λ_c = wavelength at crossover frequency

d_1 = center-to-center spacing (vertical array assumed)

For example, a 1000-Hz crossover frequency and a spacing of 0.4 m yields

d_1 = 0.4 m (16 in)

λ_c = 0.34 m (13.5 in)

α = 25° or 2α = 50° (arc between nulls)

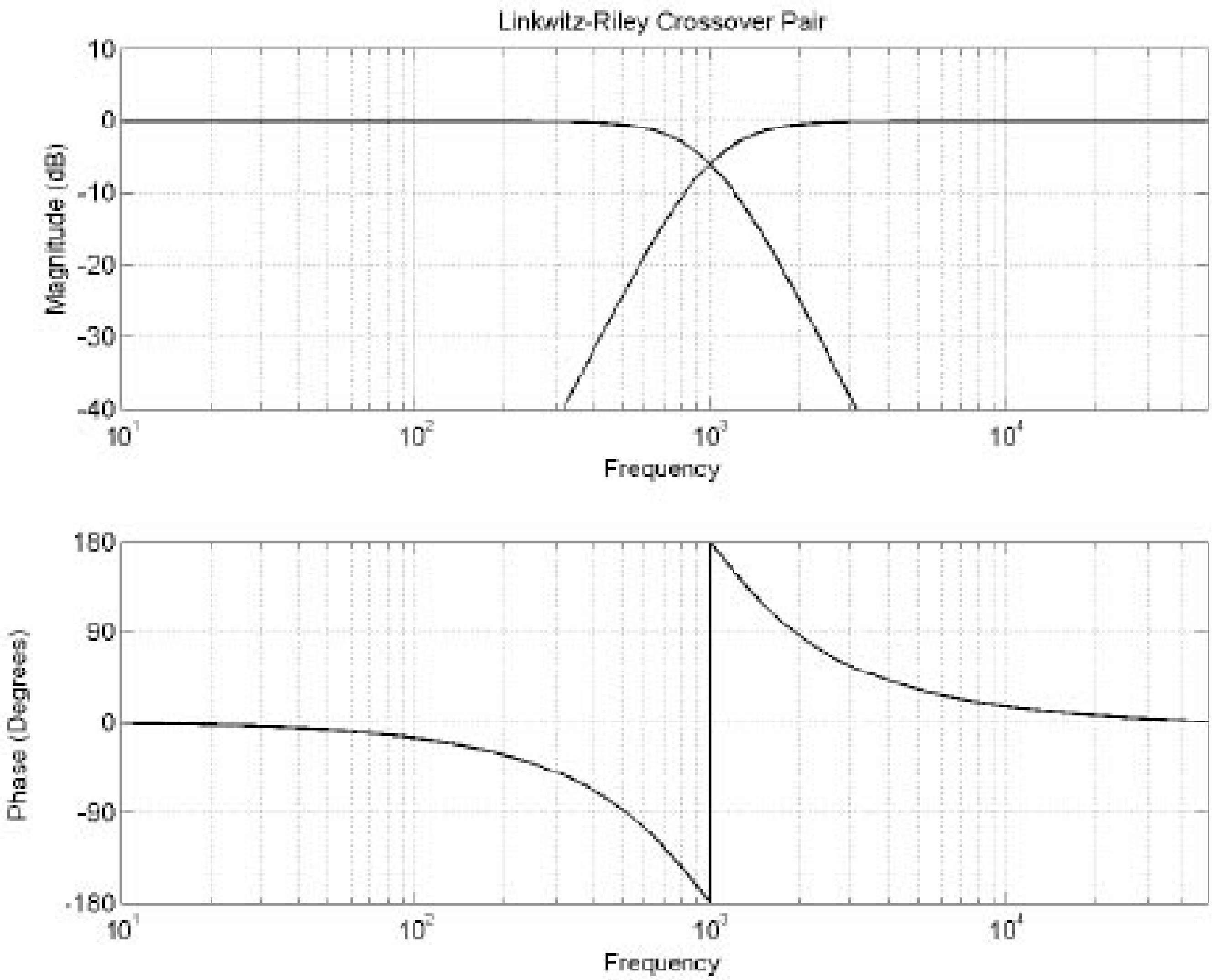
[7] S. H. Linkwitz, "Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 24, pp. 2–8 (1976 Jan./Feb.).

aes_v31_n6_p408.pdf

크로스오버와 위상 왜곡

아래 그래프는 어떤 스피커의 패시브 네트워크 필터들에 의한 위상 왜곡 그래프이다.

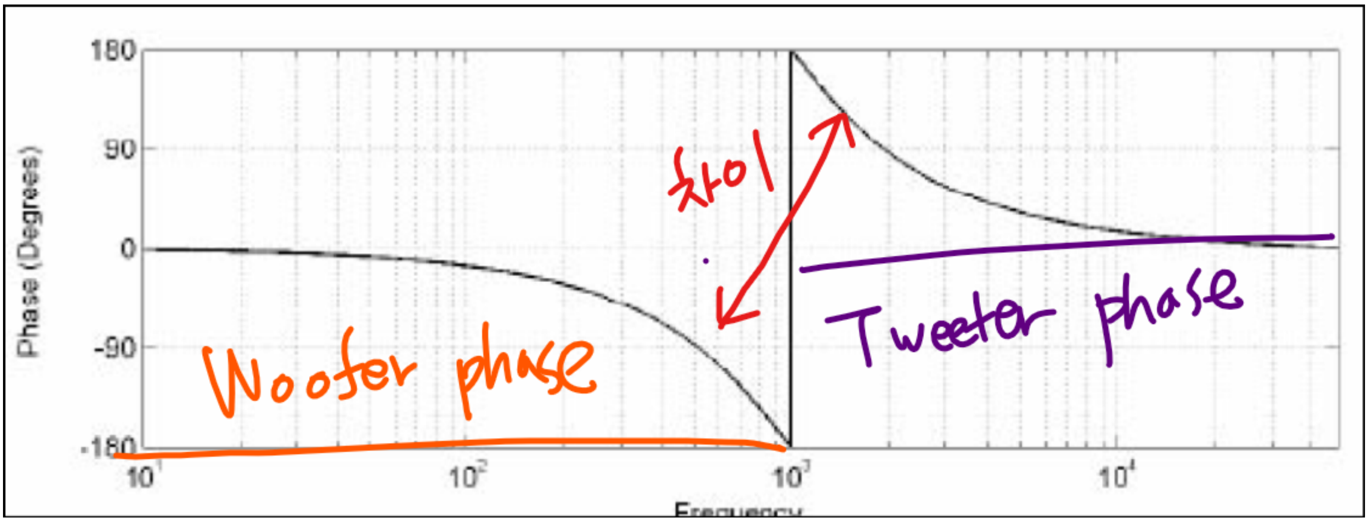
Figure 2 – Linkwitz-Riley crossover pair applied to simple sources H and L:



일반적인 단일 오디오 신호에서의 위상 왜곡은 아무런 청감상의 차이를 발생시키지 않는다. 왜냐면 비교할 상대적 신호가 없는 단일 신호에서의 위상 왜곡이기 때문이다.

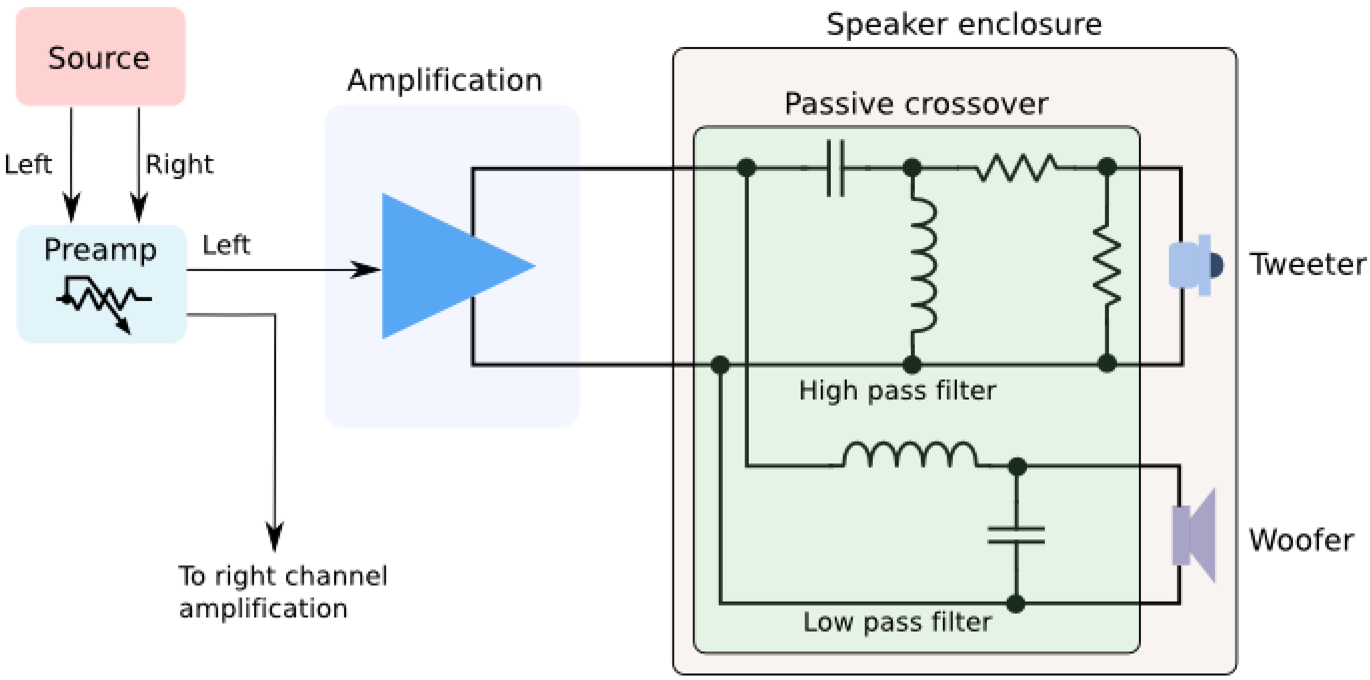
하지만, 스피커의 우퍼와 트위터의 위상 왜곡은, 일반적인 오디오 신호의 위상 왜곡과는 다르게, 우퍼가 재생하는 주파수와 트위터가 재생하는 주파수가 단일 신호가 아닌 2개의 음원이기 때문에 주파수가 겹

치는 구간에서 서로 상대적으로 비교할 대상이 된다.



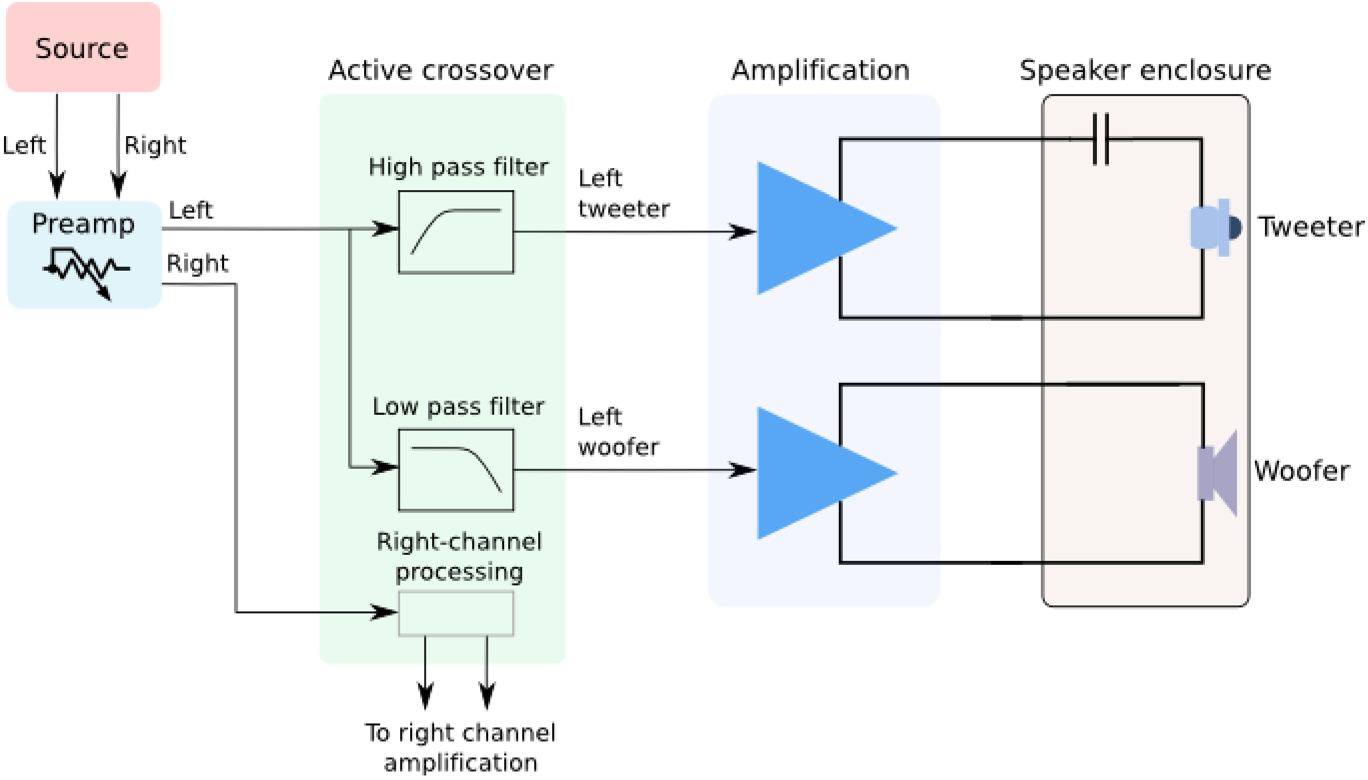
그 결과, 트위터와 우퍼간의 크로스오버 지점에서 우퍼가 재생하는 소리와 트위터가 재생하는 소리는 서로 위상 차이를 가지며 동시에 재생되기 때문에, 그 구간의 음색의 명료도가 떨어지는 원인을 제공하게 된다.[1)]

패시브 크로스오버 네트워크



일반적인 크로스오버 설계이다. 앰프 이후에 전통적인 RLC 회로를 이용하여 주파수를 분배하여 각 스피커 유닛으로 보내주게 된다.

액티브 크로스오버 네트워크

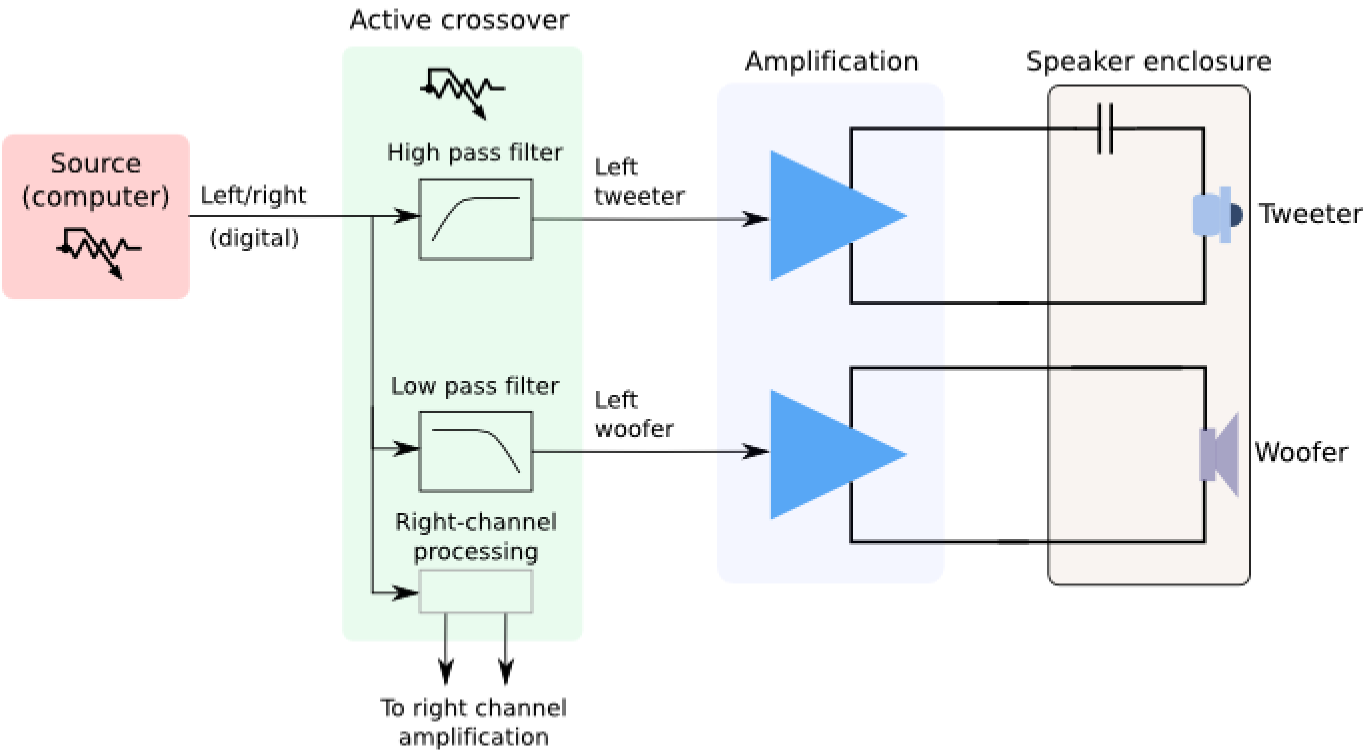


앰프 이전에 소리 신호를 액티브 필터 회로를 이용하여 각 대역별로 소리를 먼저 분리한 후 각각의 앰프를 통하여 각각의 스피커 유닛으로 보내주게 된다.

액티브 필터 회로를 사용하므로, 패시브 크로스오버에 비해서 스피커 유닛간 크로스오버되는 주파수 대역을 더 좁게 설계가 가능해진다.

2-Way의 경우에는 바이앰핑(Bi-Amping), 3-way의 경우에는 트라이앰핑(Tri-Amping)이라고 부르기도 한다.

디지털 크로스오버 네트워크



앰프 이전에 소리를 A/D 컨버터로 디지털로 변환하여 각 대역별로 소리를 디지털 필터를 이용하여 주파수 대역별로 분리한 후 각각의 D/A 컨버터로 각각 앰프로 보내고 그 이후에 개별 스피커 유닛으로 보내주게 된다.[2)]

IIR 필터 크로스오버

IIR 필터 크로스오버를 사용하는 것의 장점은 제로 레이턴시가 가능하다는 점이다. 또 다른 장점은 매우 차수가 높은 크로스오버 필터를 쉽게 설계 가능하다는 점이다. 단점은 아날로그 필터와 똑같이 위상 왜곡이 발생한다는 점이다.

라이브 환경에서 쓰이는 스피커들의 경우는 레이턴시가 발생하면 안되는 경우가 많다. 이 때 스피커를 동축에 IIR 크로스오버를 적용하는 경우가 종종 보인다.

FIR 필터 크로스오버

FIR 필터 크로스오버를 사용하는 것의 장점은 위상 왜곡이 없는 리니어 페이즈 크로스오버의 구현이 가능하다는 점이다. 크로스오버 주파수 구간에서 위상 왜곡이 없기 때문에 해당 주파수 대역의 명료도가 뛰어나다. 단점은 FIR 필터의 특성상 레이턴시가 발생한다는 것이다.

음악 감상 또는 믹싱이나 마스터링 용도로 쓰이는 스피커들의 경우는 라이브 환경이 아니기 때문에 레이턴시가 어느 정도는 있어도 괜찮다. 따라서, 이런 스피커들의 경우 FIR 필터를 이용한 크로스오버 네트워크로 만들어지기도 한다.

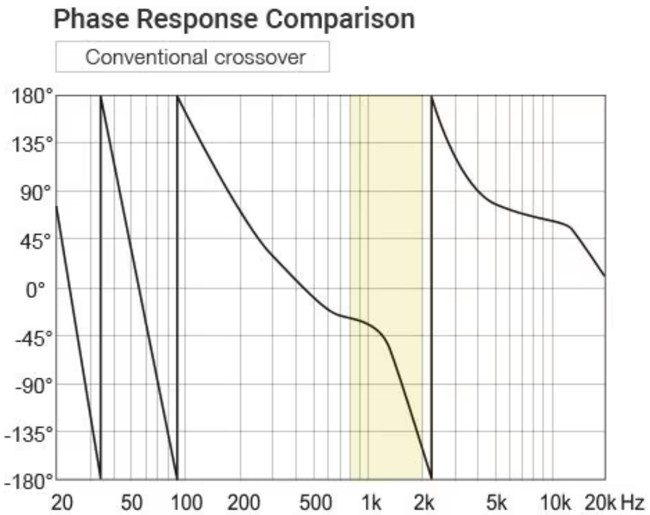
FIR 크로스오버의 실적용 제품

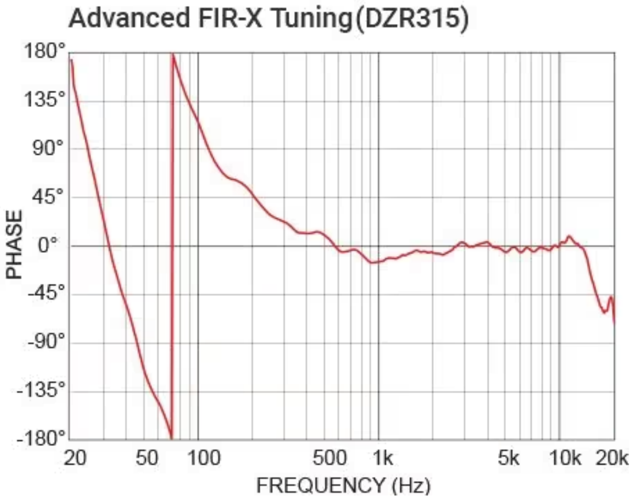
YAMAHA FIR-X

Yamaha의 DBR, DHR, DZR 등의 액티브 스피커에는 FIR-X 라는 FIR 크로스오버가 적용되어 있다.

Yamaha의 제품 페이지의 영문 설명은 아래와 같다.[3)]

> All full range models feature Yamaha's proprietary FIR-X tuning™ utilizing linear phase FIR* filters for the crossover network. FIR-X tuning™ simultaneously optimizes frequency and phase response while adjusting the time alignment between the HF and LF transducers. This creates a very smooth response around the crossover point, providing much better clarity and imaging than what is possible with typical crossovers.
>
> All signals are precisely processed by a high-performance processor for high definition sound quality. All full-range models employ high-precision 24bit discrete A/D and D/A converters with superior S/N ratio and dynamic range.
>
> 번역
>
> 모든 풀 레인지 모델은 Yamaha의 독점적인 FIR-X 튜닝™을 특징으로 하며, 크로스오버 네트워크에는 선형 위상 FIR* 필터를 사용합니다. FIR-X 튜닝™은 HF 및 LF 변환기 간의 시간 정렬을 조절하면서 동시에 주파수 및 위상 응답을 최적화합니다. 이는 크로스오버 지점 주변의 매우 부드러운 응답을 만들어 일반적인 크로스오버로는 어려운 명료성과 이미징을 제공합니다.
>
> 고성능 프로세서에 의해 모든 신호가 정밀하게 처리되어 고해상도 음질을 제공합니다. 모든 풀 레인지 모델은 우수한 S/N 비율과 다이내믹 레인지를 갖춘 고정밀 24비트 이산 A/D 및 D/A 컨버터를 사용합니다.





Reference

https://en.wikipedia.org/wiki/Audio_crossover

스피커, 필터

[1] 실제로 측정 데이터에서 명료도와 관계된 수치들이 해당 구간에서 떨어진다.

[2] 아예 AES3 나 MADI와 같은 디지털 오디오 전송 포맷을 통해 디지털 입력을 직접 받기도 한다. 이 경우에는 A/D 컨버터가 필요 없다.

[3] https://usa.yamaha.com/products/proaudio/speakers/dhr/features.html

모두의 홈레코딩

http://wiki.homerecz.com

홈레코딩 위키

리버사이드 재즈 스튜디오

저자 : 정승환(admin@homerecz.com)