

Por que o alinhamento Linkwitz-Riley é superior a qualquer outro crossover?

Marcelo H. M. Barros
Grupo de Materiais e Dispositivos do DF/UFSCar
HotSound Ind & Com.

Nos últimos anos, com a proliferação dos gerenciadores digitais de P.A. com um vasto repertório de alinhamentos (Butterworth, Bessel, etc) o alinhamento Linkwitz-Riley, não obstante sua notável superioridade, vem sendo gradativamente deixado de lado. Neste artigo veremos os motivos que desaconselham essa prática.

Em grandes trabalhos de sonorização é indispensável o uso de sistemas multi-vias e por consequência, dos crossovers ativos. Até aqui nenhuma novidade, mas nos últimos tempos, com as facilidades trazidas pelos gerenciadores digitais, muitas pessoas têm “tentado” usar outros tipos de alinhamentos, sempre com resultados discutíveis. O fato é que o alinhamento descrito por Siegfried Linkwitz, em 1976, buscava resolver exatamente o problema do cruzamento entre vias de alto-falantes não coaxiais no *domínio espacial* (e não apenas no elétrico) e o realizou com sucesso!

Talvez pela longa data, alguns dos pontos principais discutidos por Linkwitz em seu artigo original^[1] caíram no esquecimento e a desinformação somada às facilidades trazidas pelos gerenciadores digitais talvez tenham motivado os técnicos a tentar outros tipos de crossover. Neste artigo proponho mostrar que isso não é nenhum pouco vantajoso. Mas é sempre bom lembrar que não se trata de nenhuma novidade, pois todas as conclusões que se seguem foram retiradas do artigo original de 1976 e de uns outros poucos artigos do início dos anos 80.

O ponto principal que distingue o crossover Linkwitz-Riley dos outros é o seu padrão de radiação, que é uma combinação perfeita dos dois alto-falantes no ponto de crossover. Stanley P. Lipshitz^[2] cunhou o termo *lobing error* para descrever esta característica de cruzamento.

A definição deriva do exame dos gráficos polares das saídas acústicas, no ponto de crossover, do padrão de radiação combinado dos dois falantes (figuras 1A e 2). Se a soma acústica não estiver perfeita, a figura forma um lóbulo fora do eixo, dependente da frequência e com severo *peaking* de amplitude.

Por simplicidade, vamos considerar agora um sistema de apenas 2 vias.

Os dois falantes estão montados ao longo do centro vertical da caixa e não há nenhum deslocamento lateral (um falante está em cima do outro). Qualquer atraso no tempo entre falantes foi previamente corrigido. A figura 1A é um corte lateral do gráfico polar, assim todos os ângulos serão verticais.

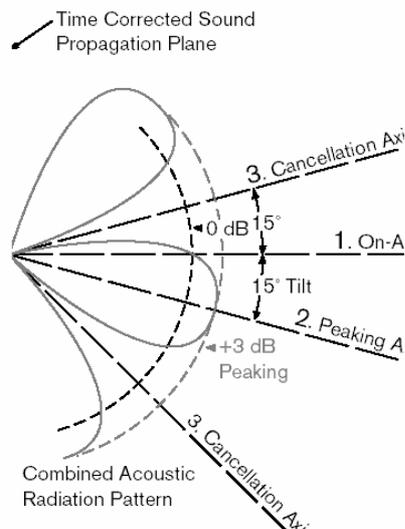


Figura 1A

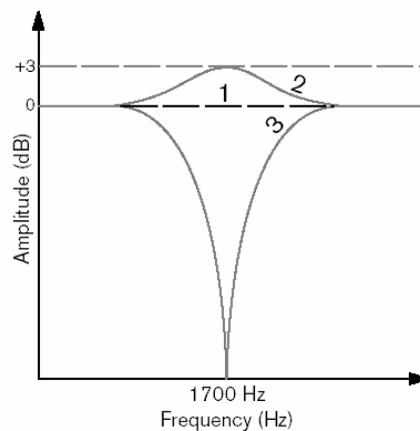


Figura 1B

É só o deslocamento vertical (para baixo e para cima) que nos interessa agora. Todos os crossovers mais populares (Butterworth, Bessel, etc.) são bem comportados ao longo do plano que passa pelo eixo horizontal principal. Ao longo deste eixo principal, pode-se ouvir as frequências da região de crossover sem nenhum problema. É quando você se abaixa ou se eleva sobre o eixo principal que os problemas surgem.

Este é o ponto crucial da contribuição de Siegfried Linkwitz no projeto de crossovers. Apesar de ser difícil de acreditar, ele foi a primeira pessoa que se preocupou em analisar o que acontece com as frequências da região de crossover fora deste eixo principal, com drivers não-coincidentes (não-coaxiais). E isso foi em 1976!

A figura 1A representa uma visão lateral do padrão de radiação acústico combinado dos dois falantes que emitem uma mesma frequência. O padrão mostrado é para o crossover Butterworth de 18dB/oitava (do tipo passa-tudo, portanto) com crossover em 1.700 Hz e falantes montados com um espaçamento de 18cm, aproximadamente.

Podem ser vistos uma série de *peakings* e nodos de cancelamento. A figura 1A nos diz que, se a magnitude de um tom de 1.700Hz for 0dB (um ponto de referência nominal) no eixo principal (eixo 1), quando você abaixar a cabeça, esse tom aumentará em volume e um reforço de 3dB é alcançado apenas 15 graus abaixo desse eixo

principal (eixo 2). Por outro lado, elevar a cabeça sobre o eixo principal causará uma redução em magnitude e em apenas 15 graus alcançará o cancelamento total (eixo 3). Há outro eixo de cancelamento total localizado 49 graus abaixo do eixo principal (3 novamente). A figura 1B exibe a resposta em frequência desses três eixos, destacados para referência.

Os nodos de cancelamento não são devidos ao crossover, eles derivam do desalinhamento vertical dos falantes (não-coincidentes, ou não-coaxiais). A escolha do tipo de crossover controla somente *onde* os nodos de cancelamento ocorrerão e não *se* eles ocorrerão. De fato, os nodos de cancelamento são inevitáveis (a não ser que os falantes sejam coaxiais) e apenas nos resta garantir que eles não estarão sobre a região de interesse.

O fato dos falantes não serem coaxiais significa que, qualquer desvio vertical do eixo principal resultará em efeitos sutis para pequenas diferenças nas distâncias. Porém, diferenças muito significativas no espaço percorrido entre os 2 falantes para o ouvinte causará estragos maiores. Esta diferença em distância percorrida é efetivamente um atraso de fase entre os falantes e essa é a causa dos nodos de cancelamento – quanto maior a distância entre os falantes, mais nodos se formarão.

Em forte contraste para esse exemplo está a figura 2:

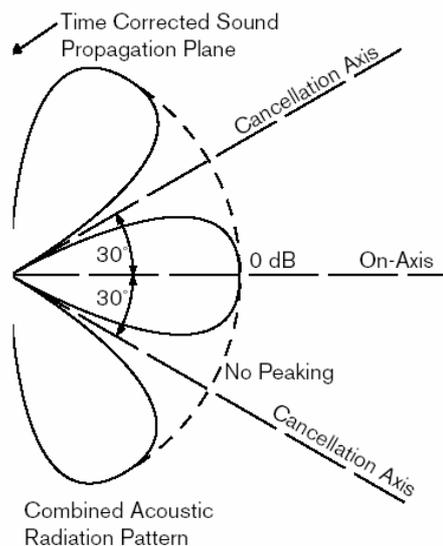


Figura 2

Onde a resposta combinada de um Linkwitz-Riley (nas mesmas condições) é mostrada. Não existe nenhum crescimento e nenhum *peaking*. Mas tão somente uma resposta perfeita cuja única restrição se deve as características de dispersão dos falantes usados.

A principal contribuição para esta resposta ideal é a relação entre as duas saídas do crossover, sempre em fase. Dois nodos de cancelamento ainda estão presentes, mas bem definidos, mais distantes um do outro e com **simetria de rotação** com relação ao eixo principal. A localização deles depende da frequência de crossover e da distância entre os falantes. Com os outros alinhamentos, tanto o *peaking* como os nodos de cancelamento mudam com a frequência e com a distância entre falantes.

Vamos agora à audiência, ver como estes cancelamentos e nodos de *peaking* afetam a sonorização. A figura 3 vale mais do que mil palavras.

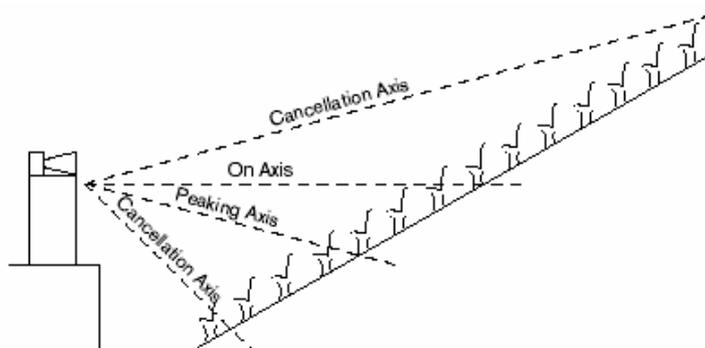


Figura 3 – Audiência com um crossover alinhamento Butterworth

A banda toca e... imagine na hora de um solo de saxofone: o músico sustenta uma nota firme cuja fundamental está sobre 1.700Hz! O que acontece então? As pessoas ao centro, sobre o eixo principal, ouvem o solo bem equilibrado com a base da música; mas àquelas localizadas pouco acima não vão entender nada, pois cadê a nota??? E as pessoas localizadas logo abaixo das primeiras, as que estão sobre o eixo de *peaking*, receberão

+3dB em relação ao centro da audiência! Provavelmente estarão de ouvidos tapados, recebendo o dobro da potência!

A figura 4 mostra uma situação idêntica, mas com o crossover Linkwitz-Riley.

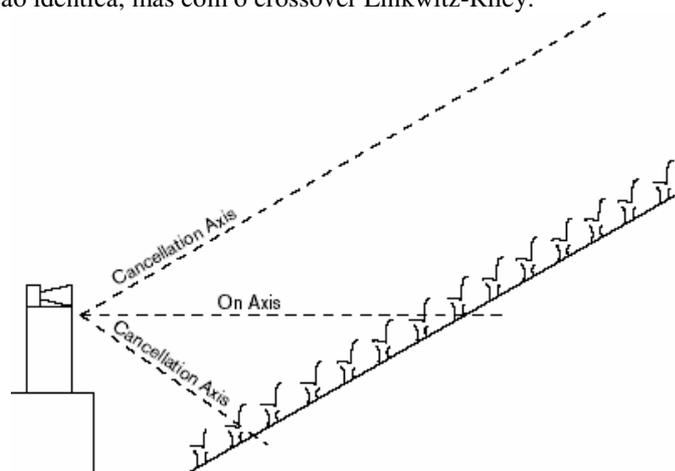


Figura 4 – A mesma audiência, com um crossover alinhamento Linkwitz-Riley

Agora toda a platéia ouve o solo com uniformidade. O alinhamento proporcionou um cone com simetria de rotação, onde o som é perfeitamente equilibrado e ainda por cima, mais largo que o anterior!

Agora consideremos um sistema real. Não de 2 vias, mas de 4 vias (o normal). Não há apenas uma caixa acústica, há dezesseis, vinte, trinta e duas...! A separação entre falantes não é mais de 18cm (quase impossível), mas 50cm, ou mais! Tente imaginar isso!

A separação adicional entre falantes significará um maior número de picos e cancelamentos, resultando em um padrão de radiação de multi-lóbulo. Cada frequência de crossover terá seu próprio jogo de padrões complicados (com *peaking* e nas adjacências deste, toldos e vales!) e cada caixa acústica contribui com mais padrões e assim por diante...

Se no inferno de Dante tiver música, ela deve soar assim!

Usando um crossover Linkwitz-Riley não se resolverão todos estes problemas automaticamente. Mas você poderá fazer com que todos os (poucos) lóbulos se encaixem dentro uns dos outros e assim obter uma cobertura uniforme na região de interesse e com simetria de rotação com relação ao eixo principal.

Em resumo, um crossover Linkwitz-Riley sempre irá proporcionar:

- i. uma soma acústica unitária (0dB), das respostas de 2 falantes reproduzindo vias adjacentes, no ponto de crossover;
- ii. diferença de fase entre falantes nula no ponto de crossover; isto proporciona **lobing error** igual à zero; isto é: nenhum vale para o padrão de radiação polar. Além disso, a diferença de fase zero em toda a região de crossover produz um lóbulo da soma acústica **exatamente** sobre o eixo principal, em todas as frequências;
- iii. as vias passa-baixas e passa-altas em fase em todos os lugares. Isto garante a simetria da resposta polar (simetria de rotação), no ponto de crossover;
- iv. que todos os falantes sempre estarão eletricamente ligados em fase.

Tudo isso parece sugerir que ele seja realmente o crossover perfeito. Mas não é bem assim. O (único) problema envolve o que é conhecido como **fase linear**^[2]. Um crossover com alinhamento Linkwitz-Riley **não** é do tipo fase linear. Isso significa que o atraso de fase é uma função da frequência (o *group delay* não é uma constante). Ou, no domínio do tempo, o atraso temporal do filtro depende da frequência. Mas existe um atenuante: a curva de *group delay* é uma curva essencialmente suave. Seria este um problema? Isso seria audível?

Parece que a resposta é não!

Se tem notícia de alguma pesquisa neste sentido^[3,4], sempre com respostas negativas. Ou seja, desde que a curva de *group delay* seja suave, não existe comprometimento audível.

Bibliografia

- [1] S. H. Linkwitz "Active Crossover Networks for Noncoincident Drivers", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 24, pp. 2-8 (Jan/Feb 1976);
- [2] S. P. Lipshitz and J. Vanderkooy, "A Family of Linear-Phase Crossover Networks of High Slope Derived by Time Delay", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 31, pp. 2-20 (Jan/Feb 1983);
- [3] H. Suzuke, S. Morita, and T. Shindo, "On the Perception of Phase Distortion", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 28, no. 9, pp. 570-574 (Sep 1980);
- [4] S. P. Lipshitz, M. Pockock, and J. Vanderkooy, "On the Audibility of Midrange Phase Distortion in Audio Systems", *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 30, pp. 580-595 (Sep 1982);
- [5] Bohn, Dennis, "Linkwitz-Riley Crossovers", *Rane Note n. 107*, Rane Corporation, 1983.