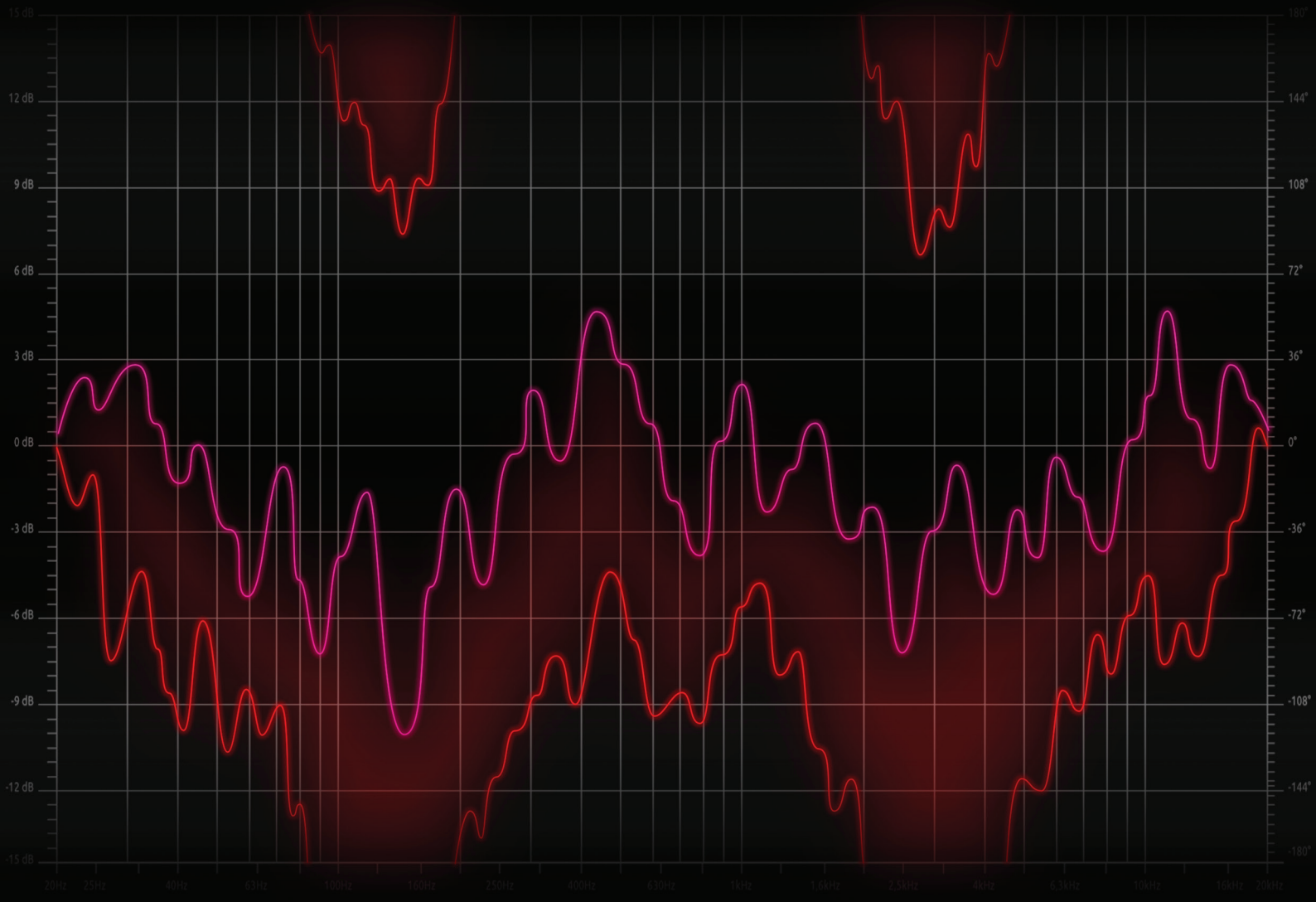
É CULPA DA FASE!



ATTACK
AUDIO SYSTEM
HEARTHEDIFFERENCE

É CULPA DA FASE!

Existe uma crença popular que diz, se algo está dando errado e você está tranquilo, uma das hipóteses abaixo é verdadeira:

1- você não tem nada a ver com o problema;

2- você já arrumou alguém em quem colocar a culpa.

A fase pode ser uma das culpadas por vários problemas que encontramos nos sistemas de sonorização; mas pode ser que não!

Como a fase é ainda um tanto mal compreendida, acaba levando a culpa por problemas que, definitivamente, muitas vezes não são dela.

Vou tentar, neste artigo, abordar a fase de forma prática, mostrando principalmente os problemas que ela pode causar quando não é bem compreendida ou "manipulada" e o que, definitivamente, não é "culpa da fase".

Nos cursos de Desenho e Alinhamento de Sistemas de Sonorização que ministro pelo Brasil, costumo fazer 3 perguntas aos alunos para saber como anda o entendimento sobre o assunto. Lá vão as perguntas:

1 - Por que, apesar de ser importante, a fase ainda é mal compreendida?

2 - Quando dizemos que temos dois sinais fora de fase, o que isso quer dizer exatamente?

3 - Quando e por que precisamos ter atenção com a fase?

Acredito que, respondendo a estas três perguntas corretamente, teremos entendimento sobre os problemas que a fase ou os desvios de fase podem ou não causar. Vamos lá, então:

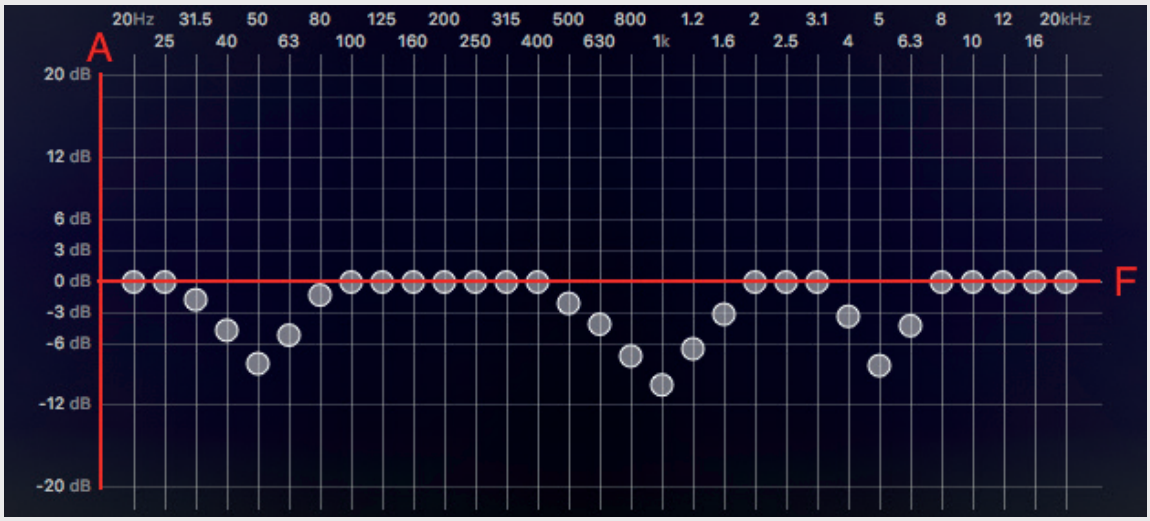


FIGURA 1

Resposta 1:

Quando começamos a "trabalhar com som" somos logo apresentados às mesas de som e seus equalizadores incríveis, sejam estes gráficos ou paramétricos; no caso de consoles digitais, ou aos aparelhos externos, estes na maioria das vezes são equalizadores gráficos.

Vamos nos ater ao equalizador gráfico da figura 1. Podemos ver claramente dois eixos de atuação do mesmo: amplitude/magnitude no eixo Y e frequência no eixo X. Estas duas grandezas são de fácil entendimento, mesmo para o mais leigo dos seres humanos. Todo mundo sabe o que é grave e o que é agudo (podem até chamar de "som grosso e som fino", respectivamente...), e todo mundo ouve quando aumentamos ou diminuímos algum ou alguns daqueles "slides". Inicialmente, somos levados a acreditar que podemos resolver todos os problemas de um sistema de som com uma ferramenta potente como um equalizador: se faltam agudos, basta colocar agudos; se faltam graves, basta colocar graves. E vice-versa!

Porém, não demoramos a perceber que só isso não resolve. Por mais habilidade que tenhamos em determinar o que há de errado com a "equalização" de um sistema, isso causa um certo desconforto porque acreditamos que lá estão os parâmetros que podemos alterar em um sistema de som. Porém, o som precisa de mais uma grandeza para poder se apoiar. Esta grandeza é o "tempo".

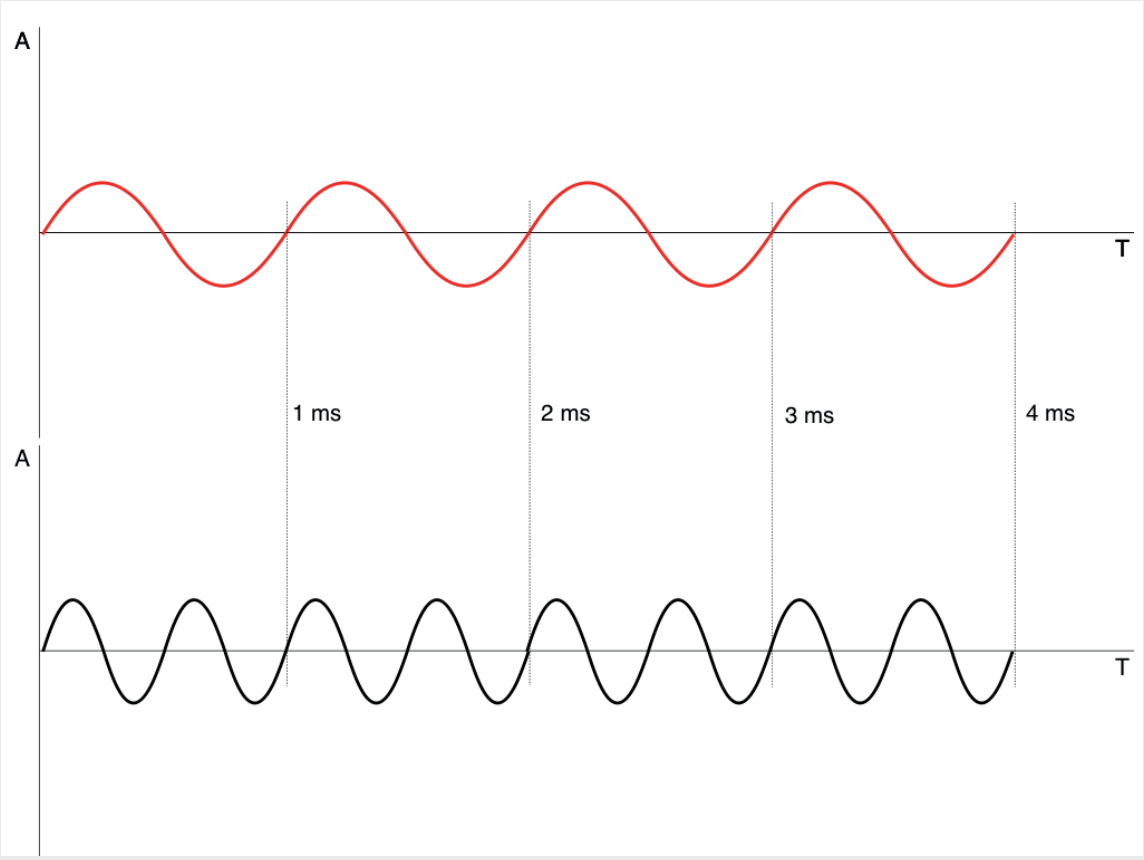


FIGURA 2

Vamos pegar duas daquelas diversas frequências do equalizador gráfico e representá-las em um gráfico em função do tempo? Peguemos as frequências de 1000 e 2000 Hz. Vejam na figura 2 nossa velha conhecida "senoide". Este gráfico apresenta a amplitude (eixo Y) versus tempo (eixo X). Podemos dizer que este gráfico nos mostra a amplitude em função do "tempo" (eixo X).

Já pensaram de onde vem o nome "senoide"? O dicionário pode nos ajudar:

Substantivo feminino.
[Matemática]. Curva representativa das variações do seno em função do ângulo ou do arco.

Isso quer dizer que podemos criar um novo gráfico, não em função do tempo, mas em função do ângulo ou arco? Então no eixo X, podemos ter uma escala em graus, de 0º a 720º, em intervalos de 45º, por exemplo; no eixo Y, os valores do seno correspondentes a esses ângulos. Como ficaria nosso gráfico? Vejam a figura 3. Ligando os pontos encontraremos a nossa senoide!

A partir de agora podemos nos referir aos diversos pontos da senoide no gráfico utilizando ângulos ao invés de tempo absoluto. Isso nos traz um benefício: os pontos da senoide serão sempre referenciados ao seu valor em graus, independente da frequência. A isso podemos chamar de "fase do sinal": determinado momento do seu ciclo expresso em graus.

Então, a resposta para a pergunta 1 pode ser: não entendemos bem a fase porque ela é difícil de ser visualizada. É fácil compreender amplitude e frequência porque ouvimos estas grandezas com facilidade. Há apenas alguns anos temos a possibilidade de utilizar ferramentas de medição que nos apresentam a fase de uma forma minimamente inteligível.

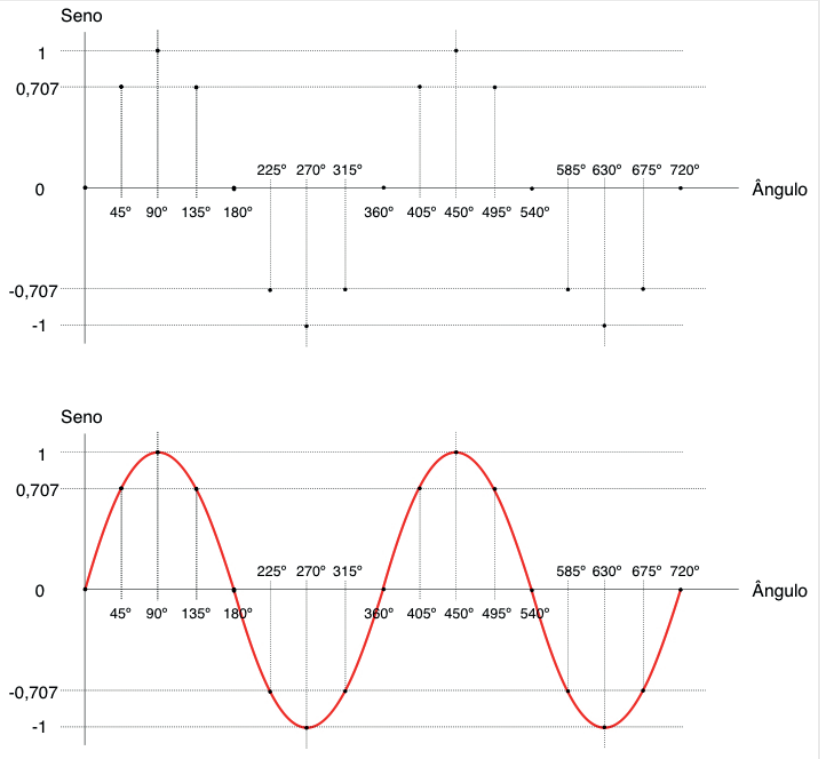


FIGURA 3

Podemos agora tentar responder à pergunta 2?

Resposta 2:

Podemos pensar na fase como tempo. Sempre que falamos em fase, devemos pensar em tempo!

Por isso, quando dizemos que temos dois sinais fora de fase, estamos dizendo que há uma diferença de tempo entre estes dois sinais. E isso só é realmente importante quando temos duas fontes tocando o mesmo sinal em um mesmo espaço, pensando em sinais acústicos, ou quando temos dois sinais iguais sendo processados e somados em algum ponto do nosso sistema de som, pensando em sinais elétricos.

Vamos ver a figura 4 para nos ambientarmos melhor com o termo “fora de fase”:

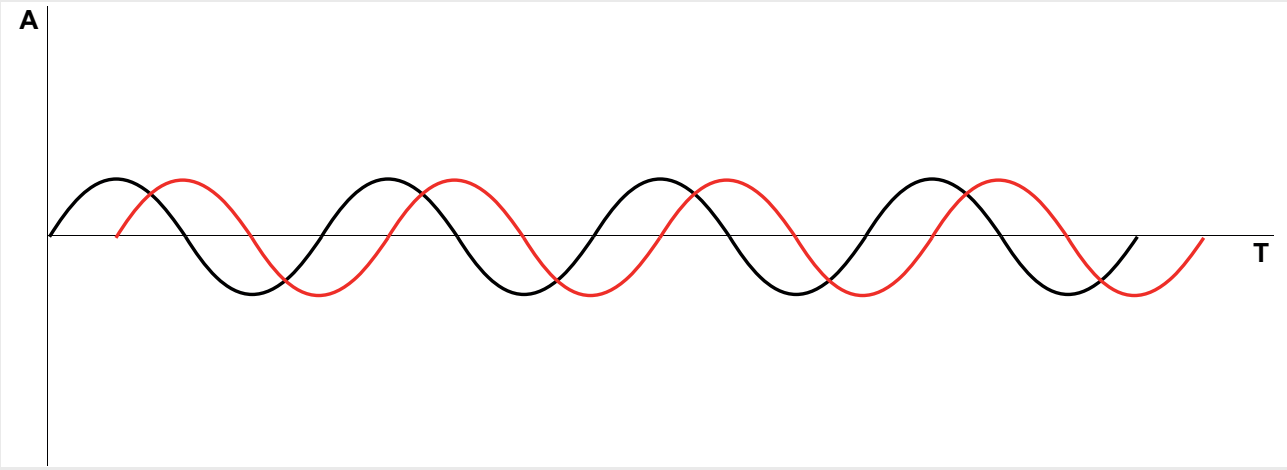


FIGURA 4

Percebam que temos dois sinais de mesma frequência, mas não sabemos qual é esta frequência. Um sinal começa em 0, outro começa depois. Sem saber qual é a frequência, não conseguiremos dizer, olhando neste gráfico, qual a diferença de tempo entre os sinais.

Porém, podemos afirmar com certeza que estão defasados em 90º. Na figura 5, há uma defasagem de 180º.

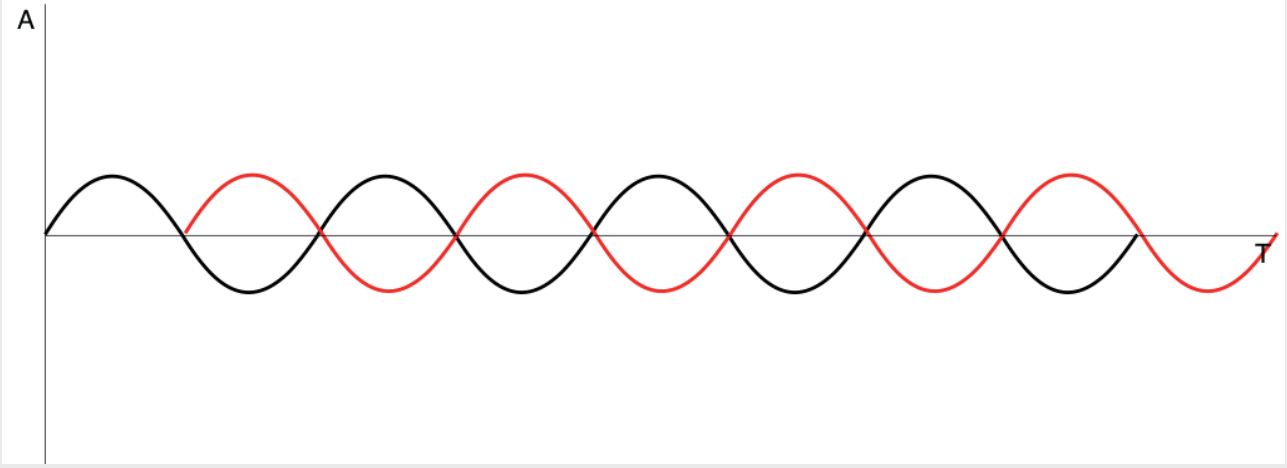


FIGURA 5

Mas muito cuidado com a figura 6! Neste caso, não há diferença de tempo! Os sinais começam ao mesmo tempo, mas estão com a **polaridade** invertida. Só há defasagem quando há diferença de tempo!

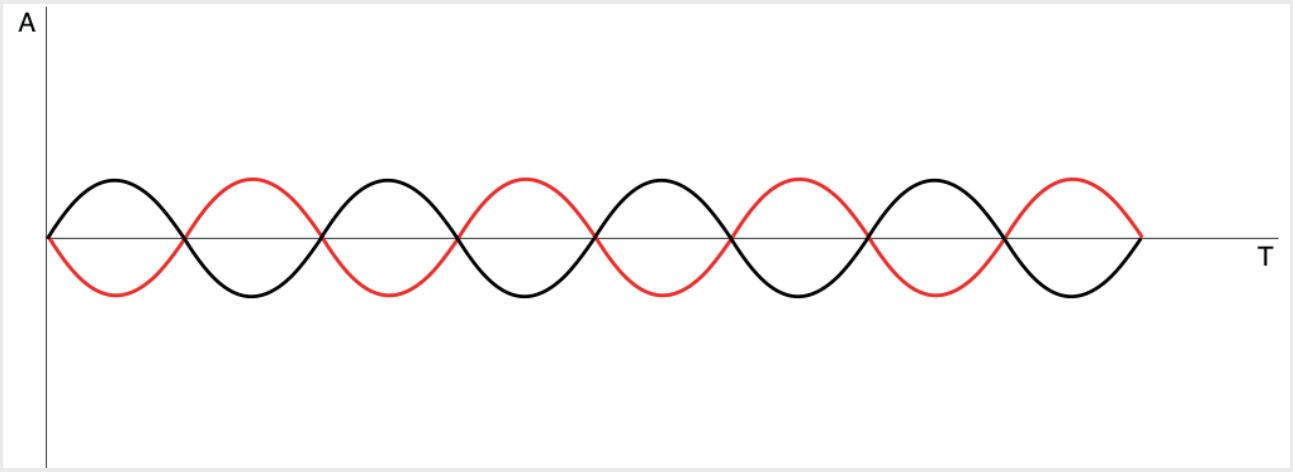


FIGURA 6

Para entendermos melhor a combinação de sinais, precisamos verificar o que acontece quando somamos dois sinais em fase ou fora de fase. Vamos a mais figuras, considerando a tensão de um sinal elétrico:

Figura 7: dois sinais iguais em fase, com mesmo nível. O resultado da soma é um sinal com o dobro da amplitude (+6 dB).

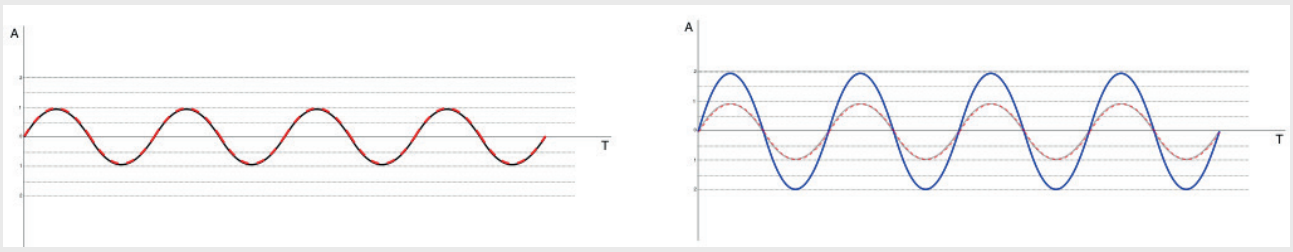


FIGURA 7

Figura 8: dois sinais iguais com mesmo nível, porém um deles com atraso correspondente a 90º. O resultado da soma é um sinal com +3 dB.

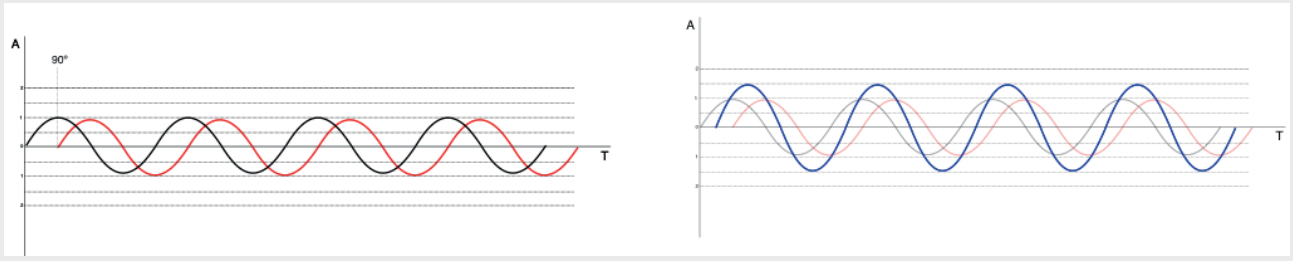


FIGURA 8

Figura 9: idem fig 8, porém um dos sinais com atraso correspondente a 120º. O resultado da soma é um sinal com mesma amplitude de cada um dos sinais originais.

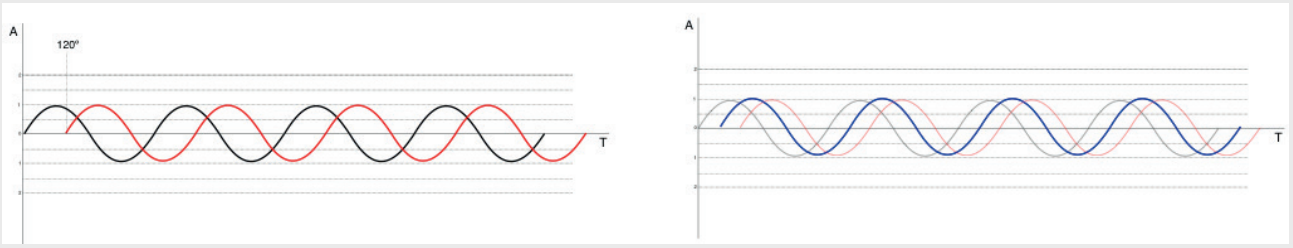


FIGURA 9

Figura 10: atraso correspondente a 180º em um dos sinais, ambos com o mesmo nível. O resultado é o cancelamento total dos sinais.

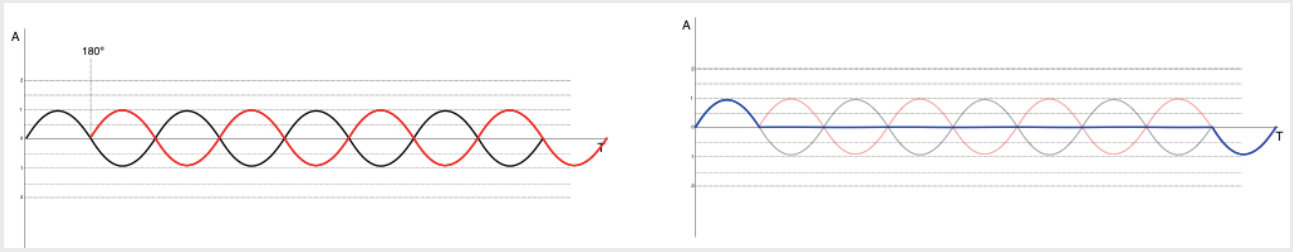


FIGURA 10

Figura 11: atraso correspondente a 360º, ambos com o mesmo nível. O resultado é um sinal com o dobro da amplitude (+6 dB).

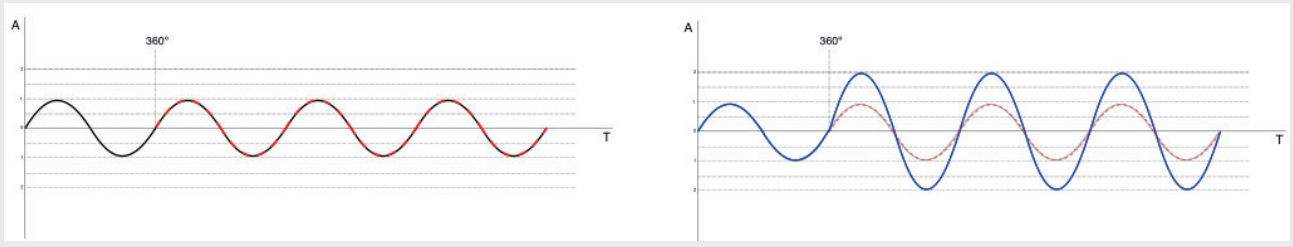


FIGURA 11

Podemos resumir essas figuras no “círculo de fases”, que aparece na figura 12. Neste círculo, podemos ver o que acontece com amplitude da interação de dois sinais defasados ou não. De 0º até 120º há soma; entre 120º e 240º, haverá cancelamento. E a partir de 240º até 0º/360º, haverá soma novamente.

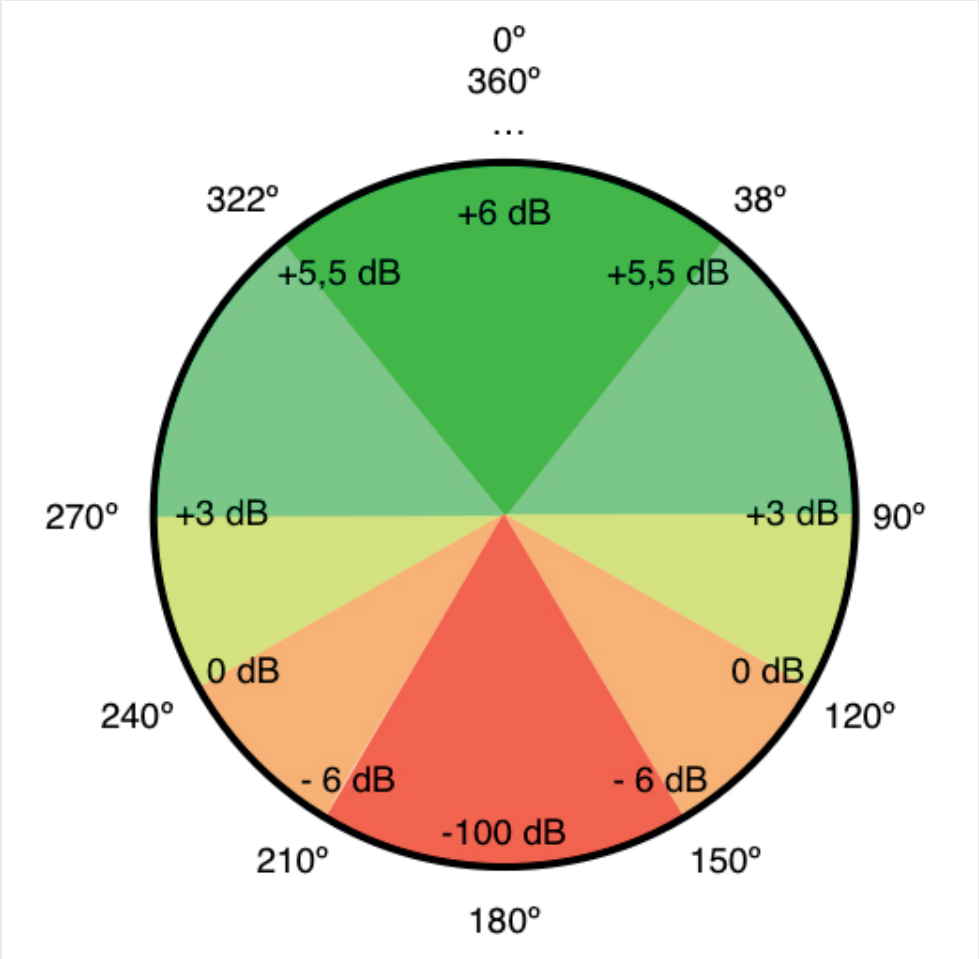


FIGURA 12

Como podemos observar, se tudo der certo, ganharemos 6 dB (topo do círculo de fase). Porém, se algo der errado, vamos perder tudo!

Melhor vermos o círculo de fase como na figura 13: se estivermos na parte pintada de verde, não teremos perdas!

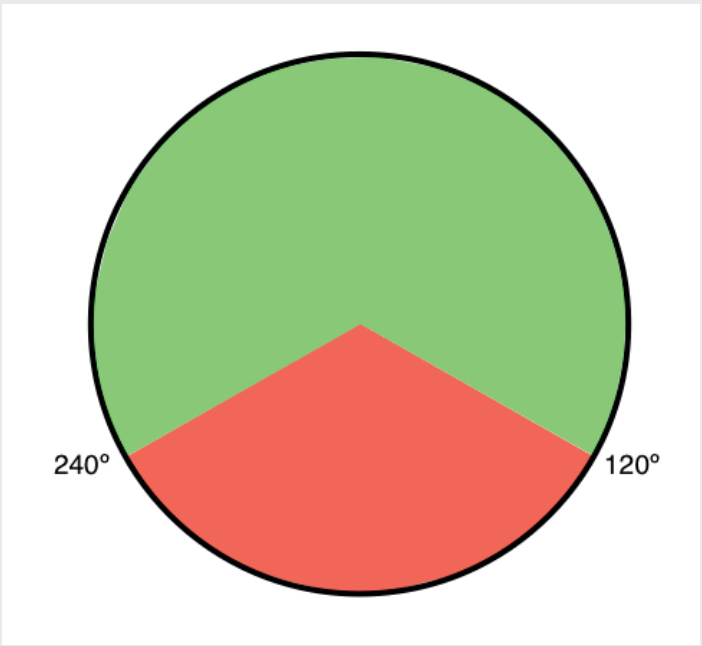


FIGURA 13

Então, qual seria uma boa resposta para a pergunta 2?

Temos dois sinais fora de fase quando estes sinais não estão no mesmo ponto do círculo de fase.

Sendo assim, vamos pensar nos sinais da figura 11: podemos dizer que eles estão “em fase”?

- Sim!

Podemos dizer que eles estão “em tempo”?

- Não!

Olhando para o gráfico da figura 14, temos informações suficientes para saber qual o tempo de defasagem entre as senoides representadas? Sem saber qual a frequência, não!

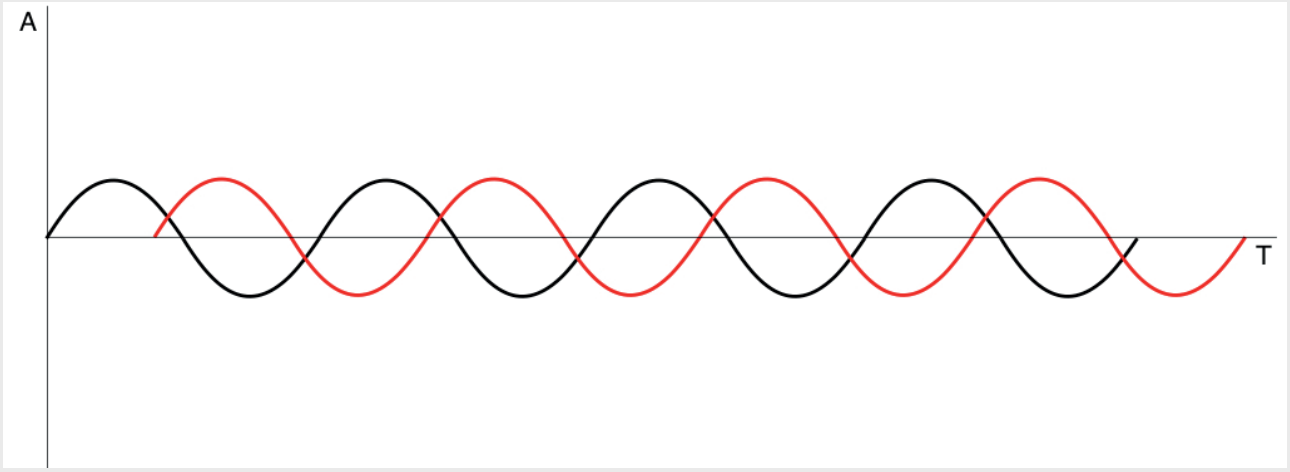


FIGURA 14

Mas podemos saber quantos graus de defasagem há entre estas senoides?

Com certeza! E ainda melhor, consultando o círculo de fases, podemos saber o que vai acontecer quando somarmos estas senoides.

Vamos à pergunta 3:

A resposta para essa pergunta poderia ser “sempre”. Mas não é...

A fase só é importante quando estamos somando dois sinais correlacionados, ou seja, dois sinais iguais. Não importa se há “defasagem” entre o canal da guitarra e o canal do contrabaixo!

Porém, se há uma “dobra” do canal de contrabaixo e estes são somados em algum ponto da mixagem, precisamos nos preocupar com a fase entre eles.

Mas há mais um ponto importante: a interação entre dois sinais é máxima quando os níveis destes sinais são iguais. A interação é grande quando os níveis são próximos. E à medida que os níveis vão se distanciando, a interação diminui consideravelmente. Portanto, se não há muita interação entre os sinais, a defasagem deixa de ser importante!

Podemos dizer que uma diferença de 6 dB já é suficiente para que a interação diminua a um ponto que a defasagem quase não será um problema. Quando esta diferença atingir 10 dB, haverá um “isolamento” entre os sinais, o que fará com que a defasagem não traga nenhum problema para os sinais considerados.

Vamos verificar algumas figuras:

Figura 15 a: dois sinais (“pinknoise”) correlacionados somados em fase;

Figura 15 b: dois sinais (“pinknoise”) correlacionados somados com defasagem de 1ms;

Figura 15 c: como aparecem os efeitos descritos no círculo de fase no gráfico de amplitude.

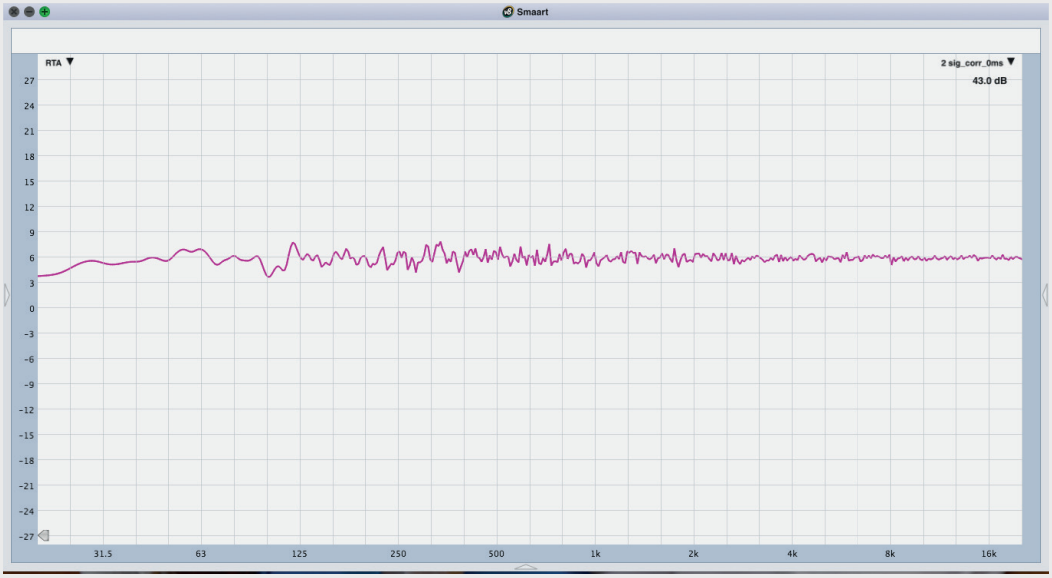


FIGURA 15 A

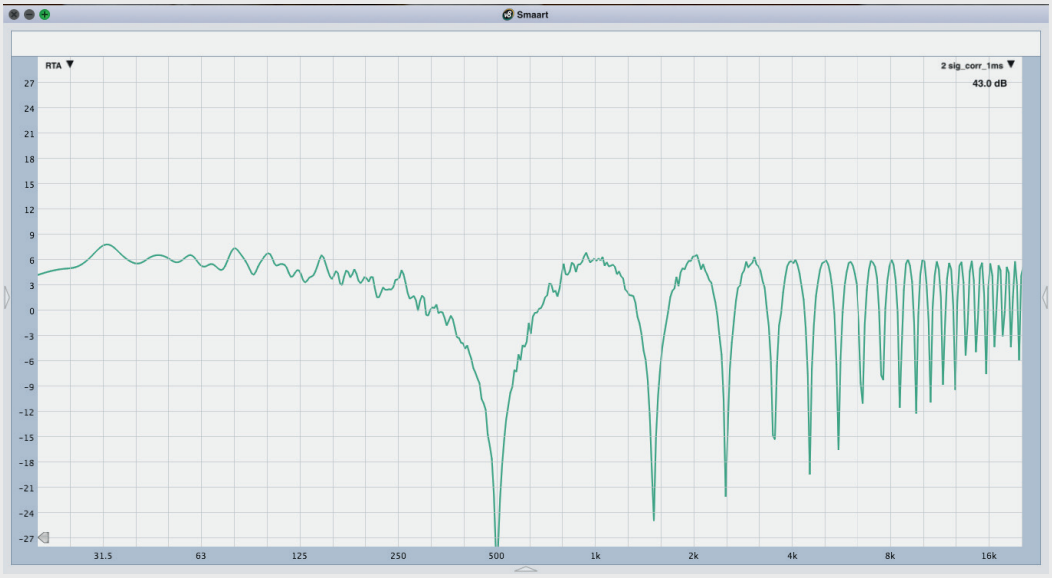


FIGURA 15 B

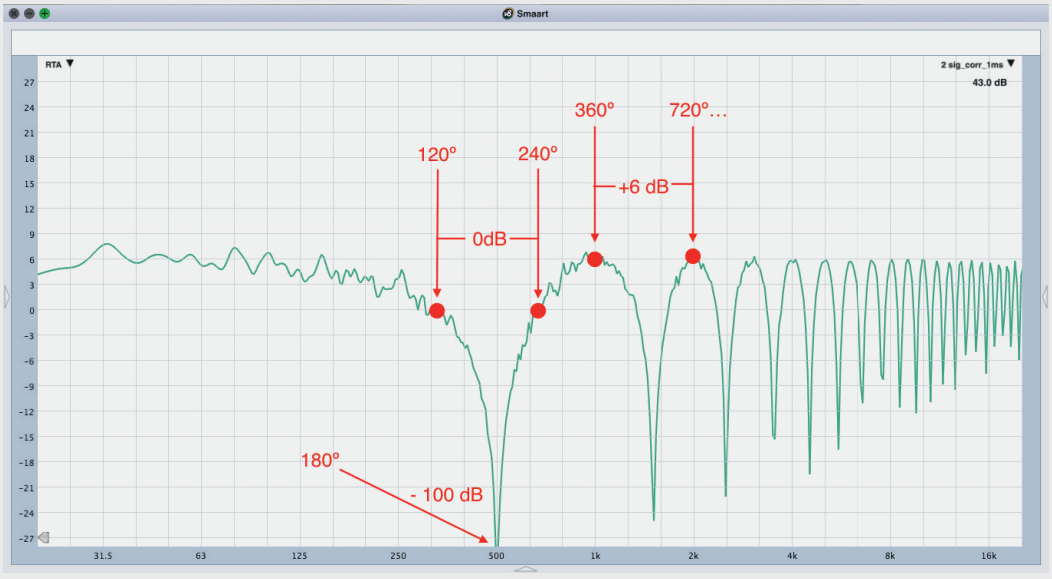


FIGURA 15 C

Figura 16 a: dois sinais (“pinknoise”) não correlacionados somados em fase;
Figura 16 b: dois sinais (“pinknoise”) não correlacionados somados com defasagem de 1ms.

Podemos perceber que a soma dos sinais não correlacionados em fase não apresentou uma soma de 6 dB, como nos informa o círculo de fase, mas sim de apenas 3 dB. Isso ocorre porque o círculo de fase leva em consideração sinais correlacionados. Até porque para sinais não correlacionados a fase pouco importa...

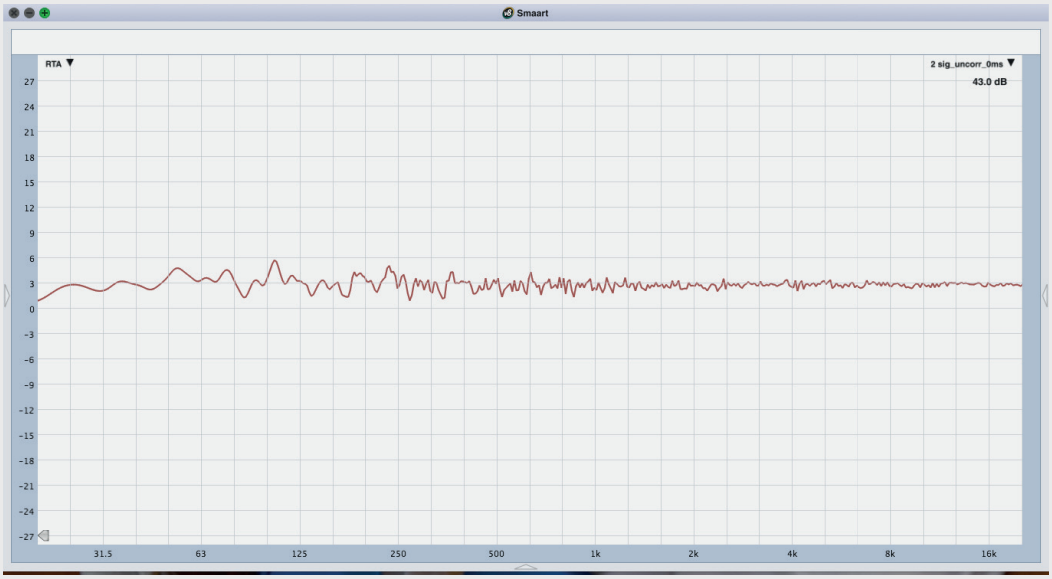


FIGURA 16 A

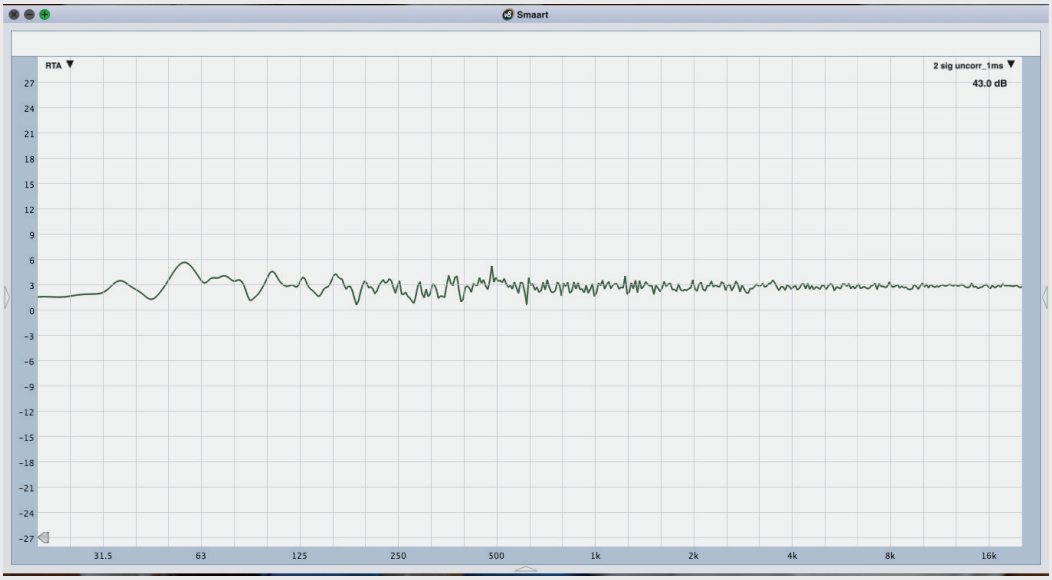


FIGURA 16 B

A resposta para a pergunta 3?

Precisamos nos preocupar com a fase se estamos combinando dois sinais correlacionados com níveis iguais ou próximos!

Algumas considerações, levando em conta situações que encontramos no nosso dia a dia:

A- Imaginemos um PA suspenso e um complemento para cobertura dos ouvintes próximos ao palco (“front-fill”). É fato que precisamos ajustar a fase entre estes dois conjuntos, já que eles irão tocar o mesmo programa. Porém, qual o local que há mais interação entre estes sistemas?

Exatamente onde eles tocam com o mesmo nível. Neste ponto precisamos colocá-los “em fase”. Ou seja, procuramos o ponto de maior interação e ali ajustamos a fase entre os sistemas!

Se o ouvinte ouve mais o complemento do que o PA, com uma diferença de pelo menos 6 dB, não há problema em haver defasagem entre os sistemas naquele ponto. E vice-versa.

B- Há problema em aplicar filtros passa-altas nos instrumentos?

Nenhum, desde que não haja dobra de canais e um tenha o filtro e outro não.

A fase que lemos na função transferência apresentada pelos nossos analisadores FFT, como o Smaart® por exemplo, é sempre relativa, ou seja, é sempre a comparação de um sinal com uma referência. No caso de um instrumento, a referência é ele próprio. Quando aplicamos um processamento neste instrumento, não faz mais sentido compararmos este novo sinal (já processado) com o sinal não processado, uma vez que não vamos somá-los em nenhum ponto da cadeia. O sinal não processado não existe mais! Portanto, “alterar” a fase de um instrumento com um filtro passa-altas, um equalizador ou com qualquer outro dispositivo utilizado costumeiramente em mixagens e que causa “rotação de fase” em um instrumento individualmente é indiferente no resultado final da mix, desde que, mais uma vez, não haja dobra de canais com tratamentos diferentes. Além disso, as rotações de fase causadas por estes dispositivos normalmente são bem pequenas!

Só para ilustrar, o que ocorre se aplicarmos um filtro passa-altas em apenas um sinal quando há sinais correlacionados somados?

Vejamos as figuras:

Figura 17a: sinal flat;

Figura 17b: sinal com passa-altas em 200 Hz;

Figura 17c: soma dos dois sinais. Como era esperado, o círculo de fase se faz presente mais uma vez. Onde não há defasagem, soma de 6 dB. Onde há defasagem de 180º, cancelamento severo.

Mas eu pergunto: por que alguém em sã consciência colocaria um filtro passa-altas em apenas um sinal se há outro igual sendo somado? Se não queremos a parte do sinal que está abaixo do filtro passa-altas, devemos aplicar o filtro em ambos os canais, ora!

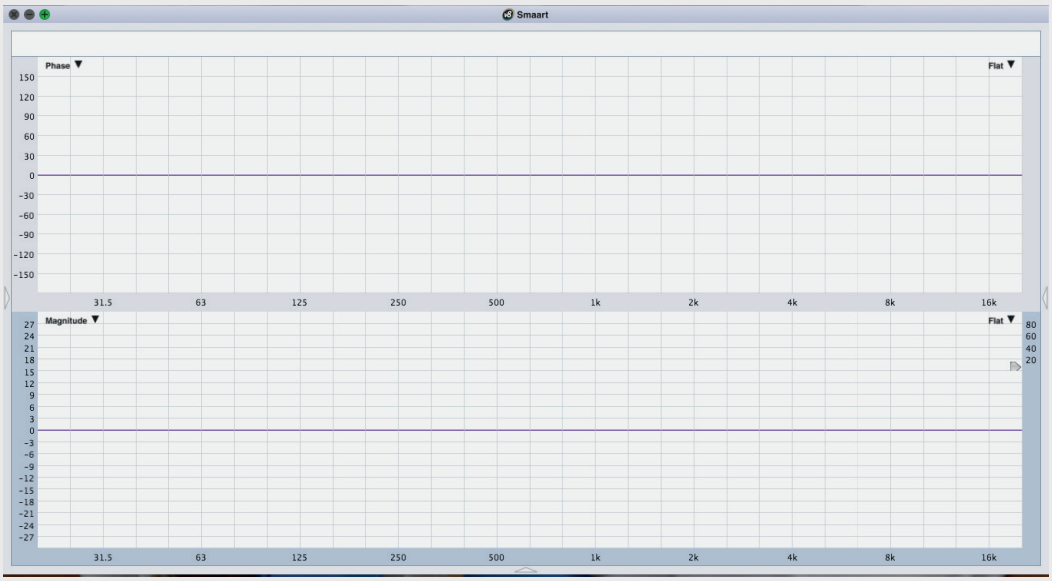


FIGURA 17 A

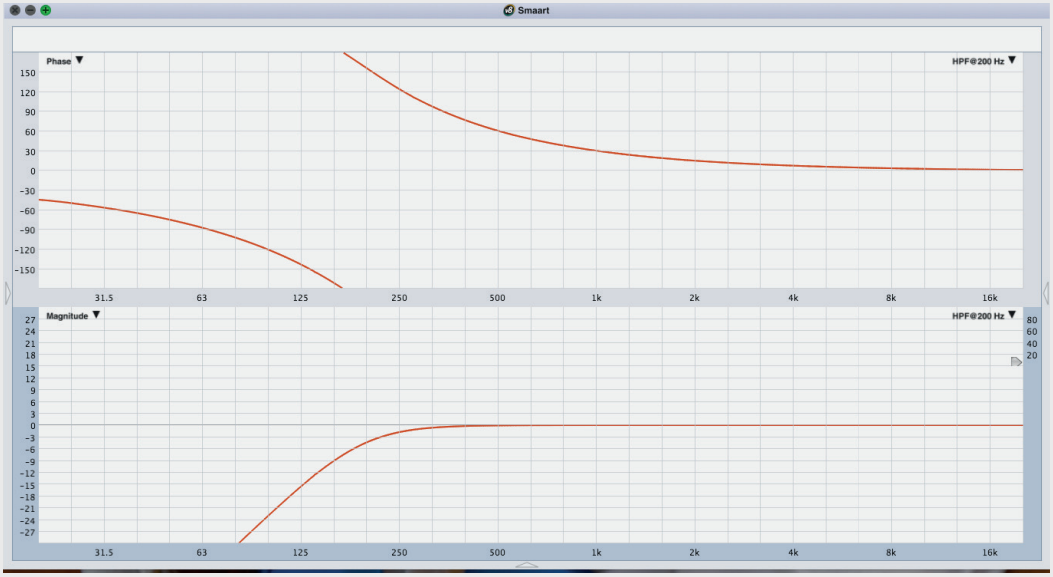


FIGURA 17 B

E se aplicarmos um equalizador no mesmo caso acima?

Vejam a figura 17c: a linha azul é o sinal equalizado e a linha vermelha o resultado da soma do sinal equalizado com um sinal flat. Aqui o caso fica um pouco diferente: o que ocorre é que a equalização pretendida em um dos sinais vai ficar comprometida. Onde os níveis e fase dos sinais são iguais, soma de 6 dB, como nos diz o círculo de fase. Onde fase e amplitude são diferentes, a interação é determinada principalmente pela diferença de amplitude entre os sinais.

Mas volto a perguntar: por que alguém em sã consciência equalizaria apenas um sinal se há outro igual sendo somado?

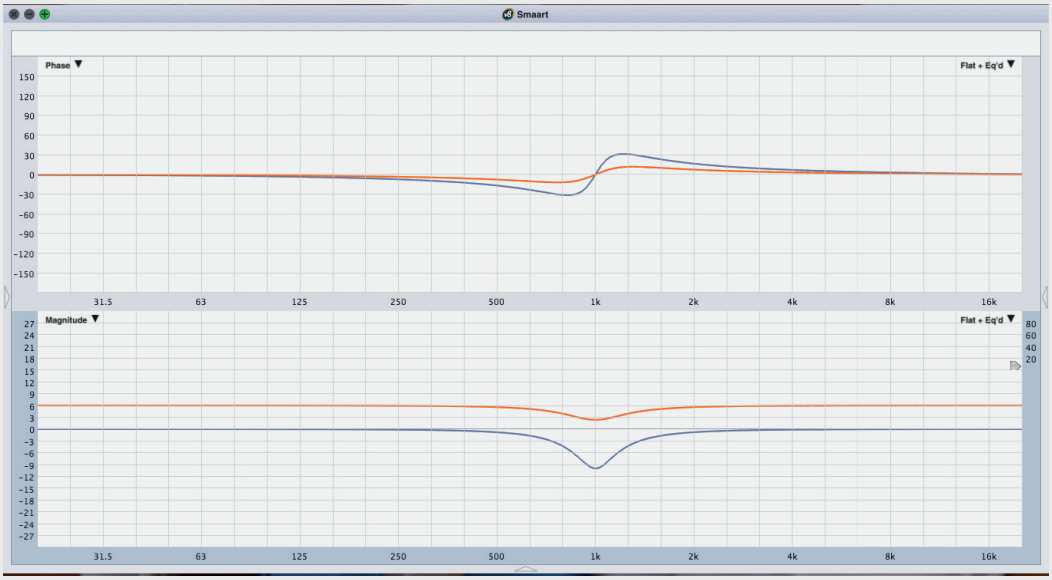


FIGURA 17 C

C- Equalizadores paramétricos “rodam menos fase” do que os gráficos?

Não!!

Figura 18: Linha azul, sinal equalizado com gráfico; linha vermelha sinal equalizado com paramétrico. A resposta de fase parece igual? Pois é...

É claro que para fazer esta equalização foram utilizados 15 filtros no gráfico e apenas 4 no paramétrico, que é muitíssimo mais “poderoso”.

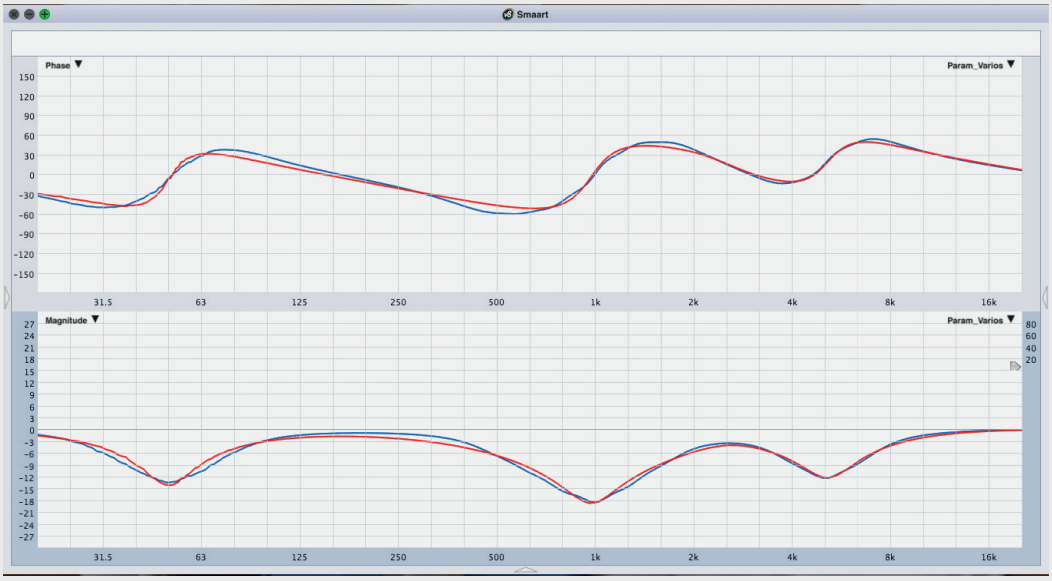


FIGURA 18

Existem equalizadores de fase linear, que alteram a amplitude sem causar “rotação de fase”.

Veja na figura 19 a mesma equalização da figura 18 utilizando um equalizador deste tipo, (linha azul) comparada com o equalizador de fase mínima, que é como chamamos um dispositivo que altera ao mesmo tempo amplitude e fase (linha vermelha).

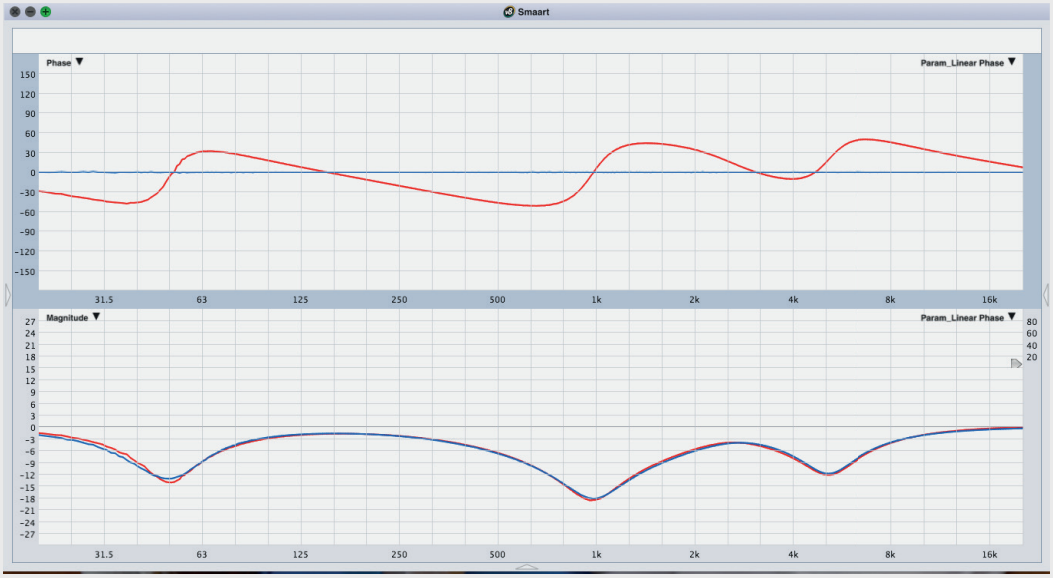


FIGURA 19

A fase se manteve intacta, mas o equalizador de fase linear causou uma grande latência (atraso) em todo o sinal. Isso se dá porque é necessário um tempo para que o equalizador manipule a resposta de fase para que ela permaneça linear. Em última análise, um equalizador de fase linear manipula mais o sinal do que um de fase mínima. E esta latência sim é um grande problema: tente explicar para o músico que ele ouvirá o instrumento dele uns 30 ou 40 milissegundos depois de tocá-lo. Ou tente mixar um bumbo sem equalizador com um contrabaixo com equalizador de fase linear...

Equalizadores de fase linear podem vir a se tornar uma boa escolha para ajustes de sistemas de som que apresentem fase linear, desde que a tecnologia permita a diminuição da latência dos mesmos.

Já para sistemas que não apresentam fase linear, a utilização de equalizadores de fase mínima pode ser a melhor escolha, uma vez que os picos e vales na resposta de uma caixa de som podem ser também de fase mínima. Assim, aplicando-se um equalizador de fase mínima, equalizamos ao mesmo tempo amplitude e fase!

Algumas imagens para clarear isso:

Fig 20: resposta de amplitude e fase de um arranjo com 5 caixas tipo “linearray”, medido a 2 metros.

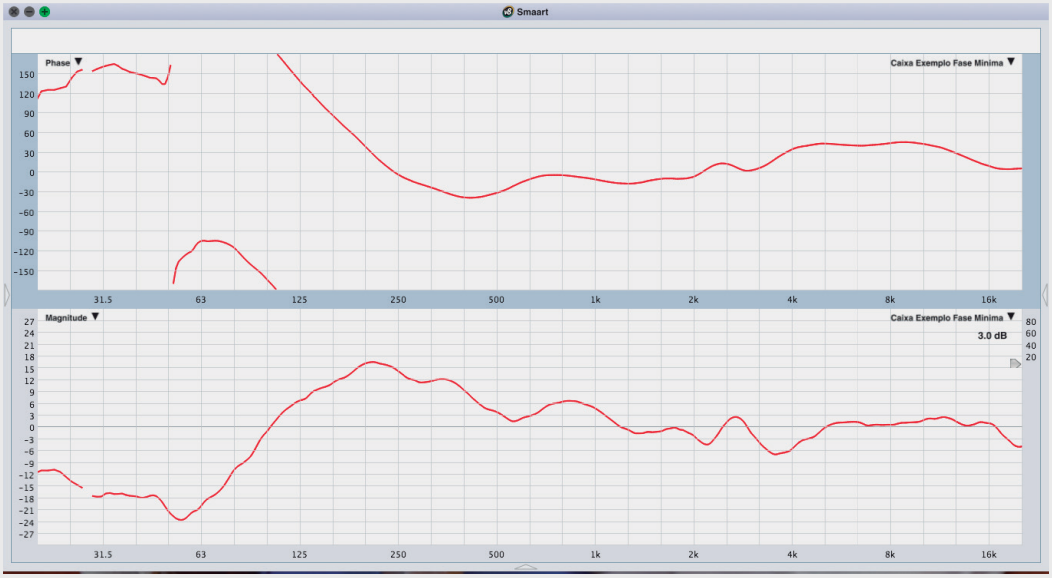


FIGURA 20

Fig 21: curva elétrica invertida do equalizador paramétrico que poderia ser utilizado para corrigir a resposta do arranjo (azul), sobreposta à curva do sistema (vermelha).

FIGURA 21

Fig 22: resposta em frequência (amplitude e fase) do arranjo e do equalizador sobrepostas. Podemos notar que as curvas de amplitude e fase do sistema e do equalizador são praticamente complementares!

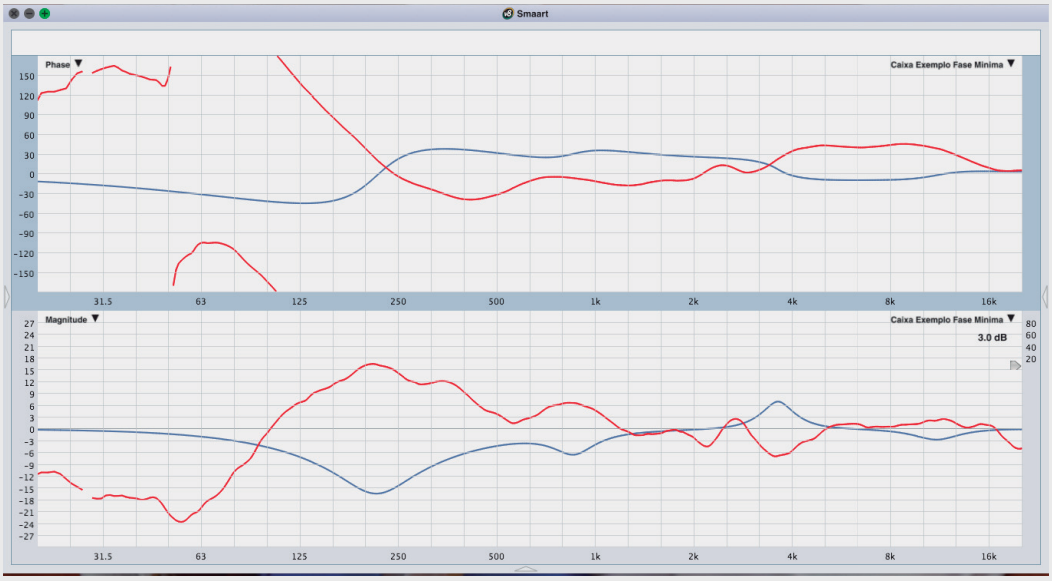


FIGURA 22

Acredito que agora poderemos distinguir mais facilmente quando a fase não tem nada a ver com algum problema ou quando ela é mesmo a culpada!

Obrigado a Adriano Spada, engenheiro responsável pelo departamento de Pesquisa e Desenvolvimento da Attack do Brasil, pela revisão do texto.

Alexandre Rabaço tem sido instrutor do curso de Desenho e Alinhamento de Sistemas de Sonorização desde 2015; no final de 2016 se tornou instrutor oficial Smaart Brasil e, desde então ,vem realizando treinamentos do software pelo país. Ao mesmo tempo, tem cuidado dos monitores do cantor e compositor Djavan (e de sua banda também!) na turnê "Vidas pra contar". Além disso, é consultor na Attack do Brasil, participando do grupo de Pesquisa e Desenvolvimento da empresa. Quando tem tempo, mixa e masteriza em seu estúdio Aura Mix & Master.