

01 - SLEW RATE - UMA ESPECIFICAÇÃO FUNDAMENTAL

- Slew-rate, ou taxa de variação, é uma especificação das mais importantes em amplificadores e em qualquer circuito de áudio, tais como processadores, mesas de som, etc., porém em amplificadores sua importância é maior, devido às altas amplitudes geradas.

02 - ALTO-FALANTES - MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS T&S

- Audioespresso mostra como medir os parâmetros Thiele & Small utilizando aparelhos simples.

03 - REATIVOS E OS AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA

- As cargas reativas próprias dos alto-falantes alteram e em muito as características dos amplificadores de potência. Marcelo Henrique M. de Barros explica aos leitores do Áudio espresso como acontece isso e as consequências.

04 - AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA

- Como é a melhor medida de potência? Quais são os tipos mais comuns de amplificadores? De que forma calcular a potência de que se precisa? Estes assuntos tecnicamente complexos são tratados pelo Eng. Rosalfonso Bortoni de uma forma simples, porém completa. Uma leitura obrigatória para os técnicos e entusiastas.

05 - O SOM NO AUTOMÓVEL

- Para quem quer conhecer um pouco mais sobre a sonorização do automóvel, Audio espresso mostra alguns conceitos básicos do assunto, enfatizando principalmente a importância da acústica e o que fazer para obter o melhor rendimento da aparelhagem

06 - A FORMAÇÃO DE UM BOM CONJUNTO DE AUDIO

- Audio espresso explica passo a passo como pode ser feita a escolha dos equipamentos para, além de realizar o melhor negócio, manter o necessário equilíbrio entre os fatores que mais influenciam no resultado sônico: equipamento, sala de audição e interconexões.

07 - SONOFLETORES - DIMENSIONAMENTO E CÁLCULO DA RESPOSTA

- Audio espresso mostra como realizar o cálculo de caixas acústicas utilizando as técnicas ensinadas pelos pesquisadores Thiele & Small.

08 - CAIXAS ACÚSTICAS - TÉCNICAS DE CONSTRUÇÃO

- Conheça as melhores técnicas para a construção das suas caixas acústicas. (01/06/96)

09 - CONSTRUÇÃO DE DIVISORES DE FREQUÊNCIA

- Você sabe como construir divisores de frequência para empregar em casa ou no carro? Veja como os técnicos calculam

A imagem estereofônica consiste na sensação espacial do som, permitindo ao ouvinte localizar todos os instrumentos e vozes no espaço tridimensional. É através da imagem estereofônica que recriamos, no ambiente de audição, a sensação plena de estarmos participando de uma audição ao vivo. A percepção da imagem estereofônica, que é a "visualização" auditiva da disposição das fontes sonoras no espaço, depende da capacidade que nossos ouvidos têm de reconhecer de onde está vindo determinado som. Isto é possível graças ao efeito binaural, ou seja, a audição com dois ouvidos. O fato do som não chegar simultaneamente aos dois ouvidos, nos permite localizar no espaço a fonte sonora mesmo quando não a estamos vendo.

A obtenção de uma imagem estereofônica perfeita, através do emprego de alto-falantes adequados bem como do seu correto posicionamento dentro do veículo, permite vivenciar uma emocionante experiência sonora. Não mais nos limitaremos a ouvir os sons, porém passaremos a "vê-los" como se estivéssemos ouvindo a gravação ao vivo.

Estresse x música

Sistemas com distorção, excesso de ruídos e falta de linearidade nas frequências causa fadiga auditiva podendo aumentar mais ainda o estresse do trânsito.

Palavras da musicoterapeuta Maristela Smith:

"Quanto melhor a qualidade do som, melhor a interação com a música. Um sistema de áudio que dá ao usuário a sensação de que se está diante de um concerto ao vivo é um belo passo para quem quer evitar o estresse."

"Não basta ouvir, é preciso escutar a música."

"Qualquer tipo de música pode combater o estresse do trânsito, do Heavy metal ao clássico" - cada um tem sua individualidade musical.

Como escolher seus aparelhos na hora da compra.

- Geradores (Toca-fitas, CD-Players...)

Verifique sua resposta de frequência, ela deve ser a mais plana possível entre 20Hz e 20.000Hz, isto é, deve amplificar a música com o mesmo ganho em toda a faixa de frequência audível;

Verifique sua potência RMS, contínua a 4 Ohms com baixa distorção;

Verifique sua distorção harmônica (THD), distorção acima de 1% pode causar fadiga;

Toca-fitas: Funções como procura por início de música, Dolby B, alto reverse e controle remoto são muito práticas.

Verifique a tensão de saída dos conectores RCA, quanto maior a tensão, mais imune a ruídos vai ser seu sistema, dê preferência aos aparelhos que forneçam 2Volts ou mais nas saídas RCA;

Atenção: A linha Pioneer anterior a 99 (bem como outras marcas) possui cerca de 17 W RMS em 4 Ohms, 50 a 15.000Hz com distorção abaixo de 5% THD. 35 W RMS é a potência máxima com distorção maior que 5%. !!!

A nova linha Pioneer 99 com circuitos MOSFET fornece 27W RMS e 45W máximos;

THD

- THD é a distorção causada pela ocorrência espontânea de harmônicos adicionais não desejados durante a amplificação. Essa distorção poderá ser notada pelo ouvido, afetando o som produzido, deixando-o menos natural. A distorção não pode ser totalmente suprimida, já que é um fator próprio dos circuitos elétricos de processamento de sinais. Esse fenômeno indesejável pode ser mantido em níveis mínimos nos sistemas de som que são projetados com qualidade.

➤ SOBRE A NECESSIDADE DE INTRODUIR UMA NOVA ESPECIFICAÇÃO

- Slew-rate, ou taxa de variação, é uma especificação das mais importantes em amplificadores e em qualquer circuito de áudio, tais como processadores, mesas de som, etc., porém em amplificadores sua importância é maior, devido às altas amplitudes geradas. A não observância de um valor mínimo de slew-rate pode ocasionar distorções bastante desagradáveis.

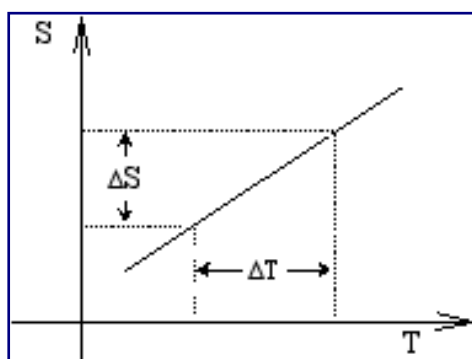
- O termo slew-rate originou-se da teoria dos amplificadores operacionais[3], assim que tornou-se clara a necessidade de conhecer a rapidez com que estes circuitos poderiam lidar com os sinais elétricos de grande amplitude.

- Nos dias atuais surgiu uma certa controvérsia, entre autores, quanto ao uso do termo "slew-rate"; alguns[5] sugerindo que fosse substituído pela quantidade, de fato mais direta, "slew-limit". Mas como "slew-rate" já se encontra bem difundido e para evitar possíveis confusões, omitiremos a quantidade "slew-limit" em favor da mais conhecida "slew-rate".

- Em nossa descrição, faremos uso de ferramentas matemáticas tão simples quanto possíveis[1]. - Para um leitor mais apressado ou não interessado nestas definições, sugiro ir direto ao tópico 3

➤ FUNDAMENTOS ACERCA DA TAXA DE VARIAÇÃO

- Antes de qualquer coisa é necessário entender o que significa taxa de variação no seu sentido matemático. Trata-se de um conceito simples mas importante, que faz parte do nosso dia-a-dia. Como exemplo, devemos considerar que a velocidade de um automóvel é expressa como uma taxa de variação, tal como $v = 100\text{km/h}$. Ela significa que a cada hora o automóvel varia 100km em sua posição. Uma forma mais elucidativa é a interpretação geométrica. Podemos assim dizer que o espaço s (distância percorrida neste caso) varia como uma função do tempo t , neste caso 100km a cada 1h.

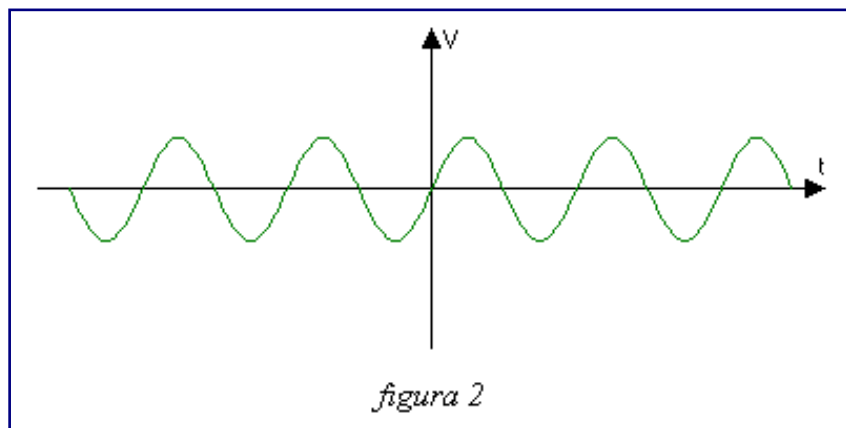


E podemos expressar por $v = \Delta S / \Delta T$, onde Δ significa variação. Diz-se que a velocidade é a taxa de variação temporal do espaço, ou a taxa de variação do espaço com respeito ao tempo. Pode ainda ser pensada como a inclinação exibida pelo gráfico espaço-tempo. No caso deste exemplo, tudo é muito simples, pois que a função é linear, ou seja, o gráfico é uma reta, assim basta substituir

$$v = (v_{\text{final}} - v_{\text{inicial}}) / (t_{\text{final}} - t_{\text{inicial}}) = 100\text{km}/1\text{h} = 100\text{km/h}$$

O que conduz ao resultado familiar de 100km/h, uma taxa claramente constante ao longo do tempo. Lembre-se que a função é linear, ou seja, seu gráfico é uma reta.

Podemos estender o mesmo raciocínio para sinais elétricos. Vamos assim supor um sinal de teste do tipo senoidal, ou aproximadamente, um tom de flauta doce, examinado ao osciloscópio. A imagem que vemos no osciloscópio é nada mais do que a representação temporal da tensão (ou seja um gráfico tensão-tempo).

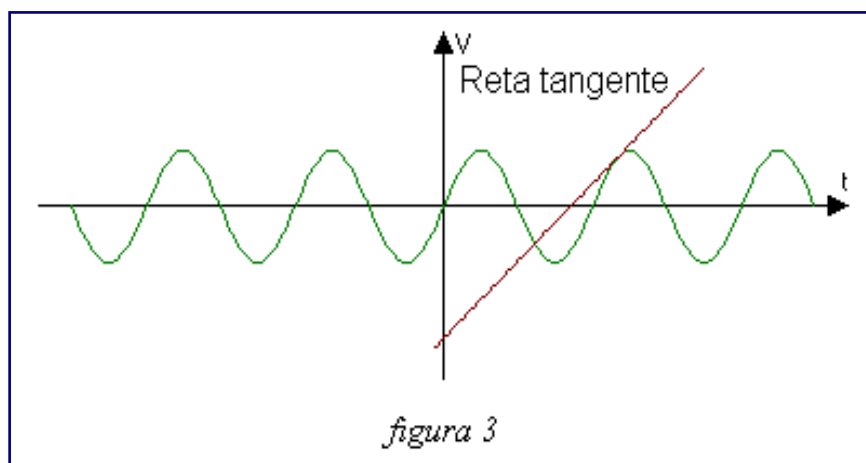


Vemos que ela varia sinusoidalmente ao longo do tempo, e podemos provar que ela é exatamente uma função do tipo seno/cosseno, ou uma combinação linear de funções desse tipo. Mas, o mais importante agora é perceber

que sua taxa de variação não é mais linear, mas varia de ponto a ponto, ao longo do tempo, e isso nos impede de utilizar (1.1) a fim de calculá-la.

- Porém, lançando mão de ferramentas matemáticas poderosas, como o cálculo diferencial[1], podemos fazê-lo com muita facilidade. Veremos o processo. Consideremos um trecho do gráfico. Estamos interessados em conhecer a taxa de variação em um único ponto. O gráfico não é uma reta, assim como medir a inclinação de algo que é, essencialmente, curvo?

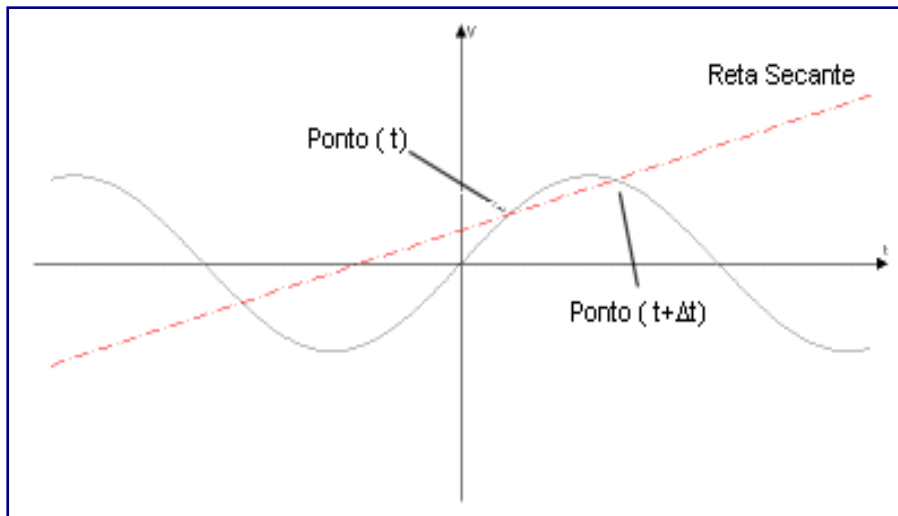
A técnica consiste em se traçar uma reta que toca o gráfico num único ponto, o ponto que estamos interessados. A essa reta dá-se o nome de reta tangente ao gráfico no ponto em questão.



A inclinação desta reta tangente pode ser então calculada da maneira usual, fornecendo assim, a taxa de variação instantânea da curva, num dado ponto. Observe que não é mais possível falar em taxa de variação apenas, mas em taxa de variação

instantânea, pois que para cada ponto da função teremos um valor diferente. A técnica de se traçar retas tangentes a curvas foi descoberta, pela primeira vez, no século XVII, por Sir Isaac Newton e consiste no seguinte processo matemático.

Dada uma certa curva, representada por uma certa função f , estamos interessados em conhecer a



taxa de variação instantânea (ou inclinação) da curva num certo ponto t , genérico.

Traçamos uma reta através deste ponto t e de um outro ponto, um pouco adiante, que chamaremos $t+\Delta t$ (Δt é um pequeno acréscimo). A

esta reta, que fornece a taxa de variação média, chamaremos reta secante. A taxa de variação (slew-rate) da reta secante é, pela expressão usual (1.1):

$$SR_{sec} = \Delta f(t) / \Delta t = [f(t+\Delta t) - f(t)] / [(t+\Delta t) - t] = [f(t+\Delta t) - f(t)] / (\Delta t) \quad (1.2)$$

- Contudo, esta não é uma boa aproximação para a taxa de variação em t , pois ela compreende uma região relativamente grande. Se diminuirmos progressivamente o acréscimo Δt , aumentaremos a precisão cada vez mais e chegaremos, no limite em que Δt se aproxima de zero, na inclinação da reta tangente, pois o ponto Δt estará infinitamente próximo de t , e assim poderemos, com segurança garantir que, $[t, f(t)]$ e $[\Delta t, f(\Delta t)]$ quase se tocam.

Matematicamente o processo é:

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} [f(t+\Delta t) - f(t)] / (\Delta t) = d[f(t)] / dt = SR \quad (1.3)$$

Onde SR é a taxa de variação instantânea da curva no ponto t . A operação $d[f(t)] / dt$ é chamada derivada de f com respeito a t . Aplicando o operador derivada ao sinal senoidal de teste do tipo $u(t) = A \sin(wt)$, (que nada mais é do que a representação matemática do sinal de teste da figura 2, onde A representa a amplitude, w é a frequência angular e t o tempo), podemos encontrar todas as taxas de variação possíveis para esta função:

$$d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$$

- Não provaremos a passagem $d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$, mas o processo é essencialmente o descrito em (1.3); (aos interessados lembramos que aqui foi utilizada a regra da cadeia do cálculo diferencial[1], razão pela qual surge um w fora da função).

- Se $d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$ podemos facilmente encontrar a maior taxa de variação possível, já que a função cosseno é periódica e tem inclinação máxima (ou mínima) em $0, \pi, 2\pi, \dots$ (ou seja, em $\eta\pi c / c$, $\eta \in \mathbb{N}$), e esse valor máximo é sempre unitário (1 ou -1); assim

$$u(t) = A \sin(wt)$$

$$d[u(t)] / dt = A \cos(wt)w$$

Como o cosseno tem valor máximo em $0, \pi, 2\pi, \dots$, fazemos $t = 0$, assim o fator $\cos(wt) = 1$, e substituindo temos:

$$SR = d[u(t)]/dt = Aw ; \text{ em } t = 0$$

Como $w = 2\pi f$, a equação fica:

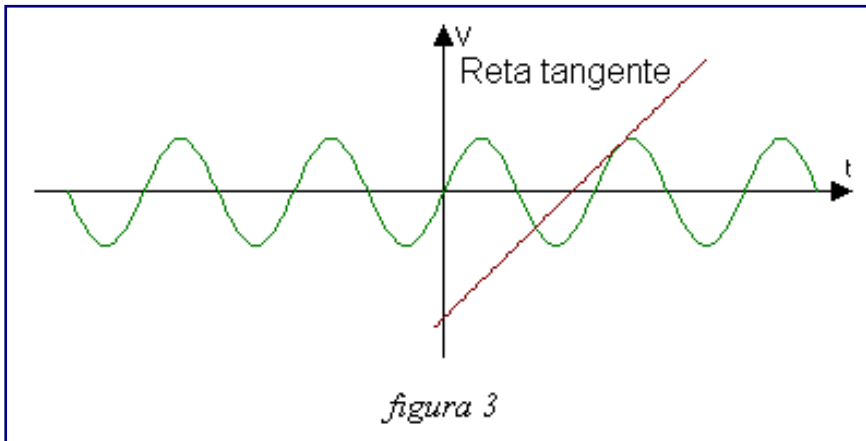
$$SR (A_{max}, f_{max}) = A_{max} 2\pi f_{max} \quad (1.4)$$

Sendo A_{max} a amplitude máxima do sinal de teste e f_{max} a maior frequência deste sinal. Assim (1.4) representa a maior taxa de variação (slew-rate) possível para uma tensão que varia sinusoidalmente com o tempo, em função da amplitude e da frequência

- Consideremos um trecho do gráfico. Estamos interessados em conhecer a taxa de variação em um único ponto. O gráfico não é uma reta, assim como medir a inclinação de algo que é, essencialmente,

curvo?

A técnica consiste em se traçar uma reta que toca o gráfico num único ponto, o ponto que estamos interessados. A essa reta dá-se o nome de reta tangente ao gráfico no ponto em questão. A inclinação desta reta tangente pode ser então calculada da maneira usual,



fornecendo assim, a taxa de variação instantânea da curva, num dado ponto.

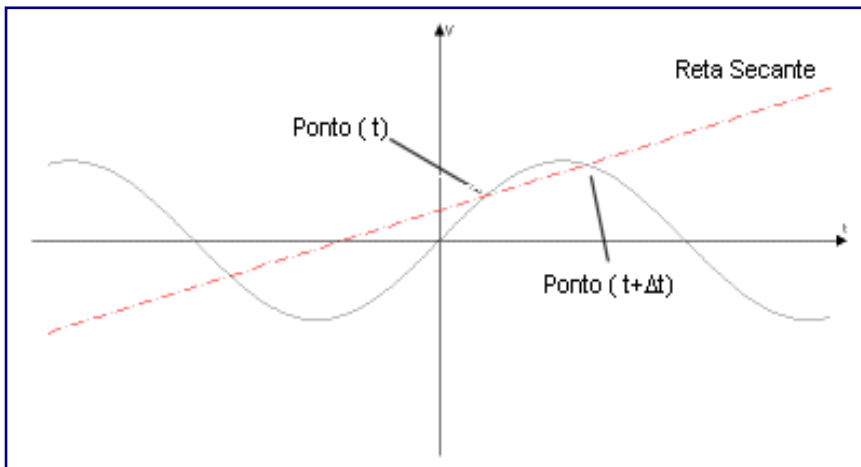
- Observe que não é mais possível falar em taxa de variação apenas, mas em taxa de variação

instantânea, pois que para cada ponto da função teremos um valor diferente. A técnica de se traçar retas tangentes a curvas foi descoberta, pela primeira vez, no século XVII, por Sir Isaac Newton e consiste no seguinte processo matemático.

Dada uma certa curva, representada por uma certa

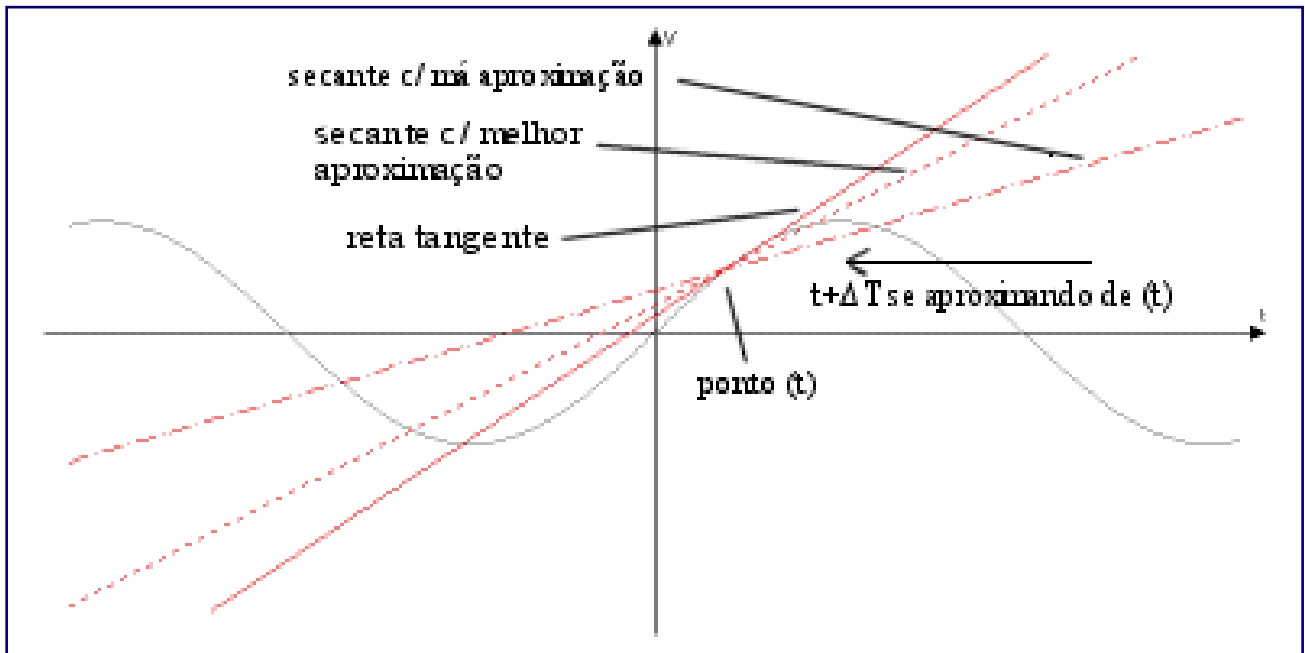
função f , estamos interessados em conhecer a taxa de variação instantânea (ou inclinação) da curva num certo ponto t , genérico.

Traçamos uma reta através deste ponto t e de um outro ponto, um pouco adiante, que chamaremos $t + \Delta t$ (Δt é um pequeno acréscimo). A esta reta, que fornece a taxa de variação média, chamaremos reta secante. A taxa de variação (slew-rate) da reta secante é,



pela expressão usual (1.1): $SR_{sec} = \Delta f(t)/\Delta t = [f(t+\Delta t) - f(t)]/[(t+\Delta t) - t] = [f(t+\Delta t) - f(t)]/(\Delta t)$
(1.2)

Contudo, esta não é uma boa aproximação para a taxa de variação em t , pois ela compreende uma região relativamente grande. Se diminuirmos progressivamente o acréscimo Δt , aumentaremos a precisão cada vez mais e chegaremos, no limite em que Δt se aproxima de zero, na inclinação da reta tangente, pois o ponto Δt estará infinitamente próximo de t , e assim poderemos, com segurança garantir que, $[t, f(t)]$ e $[\Delta t, f(\Delta t)]$ quase se tocam.



$$\text{Matematicamente o processo é: } \lim_{\Delta x \rightarrow 0} [f(t+\Delta t) - f(t)]/(\Delta t) = d[f(t)]/dt = SR \quad (1.3)$$

- Onde SR é a taxa de variação instantânea da curva no ponto t . A operação $d[f(t)]/dt$ é chamada derivada de f com respeito a t .

- Aplicando o operador derivada ao sinal senoidal de teste do tipo $u(t) = A \sin(wt)$, (que nada mais é do que a representação matemática do sinal de teste da figura 2, onde A representa a amplitude, w é a frequência angular e t o tempo), podemos encontrar todas as taxas de variação possíveis para esta função:

$$d[\sin(wt)]/dt = \cos(wt)w$$

- Não provaremos a passagem $d[\sin(wt)]/dt = \cos(wt)w$, mas o processo é essencialmente o descrito em (1.3); (aos interessados lembramos que aqui foi utilizada a regra da cadeia do cálculo diferencial[1], razão pela qual surge um w fora da função).

Se

$$d[\sin(wt)]/dt = \cos(wt)w$$

podemos facilmente encontrar a maior taxa de variação possível, já que a função cosseno é periódica e tem inclinação máxima (ou mínima) em $0, \pi, 2\pi, \dots$ (ou seja, em $h\pi$ c/ $h \in \mathbb{N}$), e esse valor máximo é sempre unitário (1 ou -1); assim

$$u(t) = A \sin(wt) \quad d[u(t)]/dt = A \cos(wt)w$$

- Como o cosseno tem valor máximo em $0, \pi, 2\pi, \dots$, fazemos $t = 0$, assim o fator $\cos(\omega t) = 1$, e substituindo temos:

$$SR = d[u(t)]/dt = A\omega ; \text{ em } t = 0$$

- Como $\omega = 2\pi f$, a equação fica:

$$SR(A_{\max}, f_{\max}) = A_{\max} 2\pi f_{\max} \quad (1.4)$$

Sendo A_{\max} a amplitude máxima do sinal de teste e f_{\max} a maior frequência deste sinal. Assim (1.4) representa a maior taxa de variação (slew-rate) possível para uma tensão que varia sinusoidalmente com o tempo, em função da amplitude e da frequência.

Consideremos um trecho do gráfico. Estamos interessados em conhecer a taxa de variação em um único ponto. O gráfico não é uma reta, assim como medir a inclinação de algo que é, essencialmente,

curvo?

- A técnica consiste em se traçar uma reta que toca o gráfico num único ponto, o ponto que estamos interessados. A essa reta dá-se o nome de reta tangente ao gráfico no ponto em questão. A inclinação desta reta tangente pode ser então calculada da maneira usual, fornecendo assim, a taxa de variação instantânea da curva, num dado ponto.

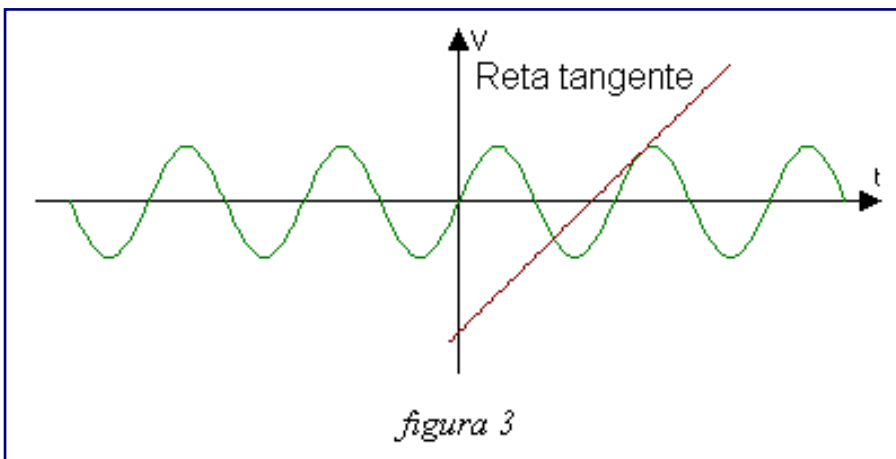


figura 3

Observe que não é mais possível falar em taxa de variação apenas, mas em taxa de variação

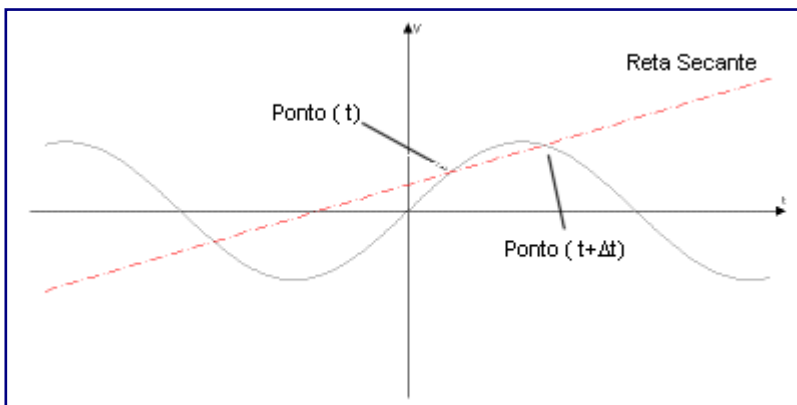
instantânea, pois que para cada ponto da função teremos um valor diferente.

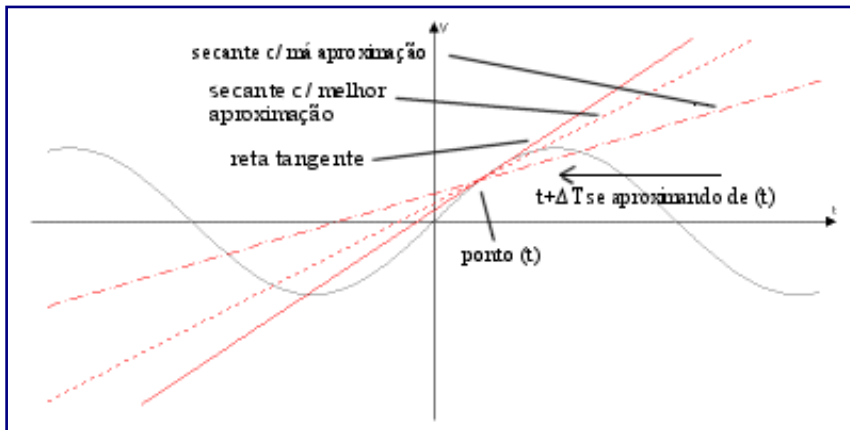
A técnica de se traçar retas tangentes a curvas foi descoberta, pela primeira vez, no século XVII, por Sir Isaac Newton e consiste no seguinte processo matemático.

Dada uma certa curva, representada por uma certa função f ,

estamos interessados em conhecer a taxa de variação instantânea (ou inclinação) da curva num certo ponto t , genérico.

Traçamos uma reta através deste ponto t e de um outro ponto, um pouco adiante, que chamaremos $t + \Delta t$ (Δt é um pequeno acréscimo). A esta reta, que fornece a taxa de variação média, chamaremos reta secante. A taxa de variação (slew-rate) da reta secante é, pela expressão usual (1.1): $SR_{sec} = \Delta f(t)/\Delta t = [f(t + \Delta t) - f(t)]/[(t + \Delta t) - t] = [f(t + \Delta t) - f(t)]/(\Delta t)$





Contudo, esta não é uma boa aproximação para a taxa de variação em t , pois ela compreende uma região relativamente grande. Se diminuirmos progressivamente o acréscimo Δt , aumentaremos a precisão cada vez mais e chegaremos, no limite em que Δt se aproxima de zero, na inclinação da

reta tangente, pois o ponto Δt estará infinitamente próximo de t , e assim poderemos, com segurança garantir que, $[t, f(t)]$ e $[\Delta t, f(\Delta t)]$ quase se tocam.

$$\text{Matematicamente o processo é: } \lim_{\Delta x \rightarrow 0} [f(t + \Delta t) - f(t)] / (\Delta t) = d[f(t)] / dt = SR \quad (1.3)$$

- Onde SR é a taxa de variação instantânea da curva no ponto t . A operação $d[f(t)] / dt$ é chamada derivada de f com respeito a t .

- Aplicando o operador derivada ao sinal senoidal de teste do tipo $u(t) = A \sin(wt)$, (que nada mais é do que a representação matemática do sinal de teste da figura 2, onde A representa a amplitude, w é a frequência angular e t o tempo), podemos encontrar todas as taxas de variação possíveis para esta função:

$$d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$$

- Não provaremos a passagem $d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$, mas o processo é essencialmente o descrito em (1.3); (aos interessados lembramos que aqui foi utilizada a regra da cadeia do cálculo diferencial[1], razão pela qual surge um w fora da função).

Se

$$d[\sin(wt)] / dt = \cos(wt)w$$

podemos facilmente encontrar a maior taxa de variação possível, já que a função cosseno é periódica e tem inclinação máxima (ou mínima) em $0, \pi, 2\pi, \dots$ (ou seja, em $h\pi$ c/ $h\pi N$), e esse valor máximo é sempre unitário (1 ou -1); assim

$$u(t) = A \sin(wt) \quad d[u(t)] / dt = A \cos(wt)w$$

- Como o cosseno tem valor máximo em $0, \pi, 2\pi, \dots$, fazemos $t = 0$, assim o fator $\cos(wt) = 1$, e substituindo temos:

$$SR = d[u(t)]/dt = Aw ; \text{ em } t = 0$$

Como $w = 2\pi f$, a equação fica:

$$SR (A_{max}, f_{max}) = A_{max} 2\pi f_{max} \quad (1.4)$$

- Sendo A_{max} a amplitude máxima do sinal de teste e f_{max} a maior frequência deste sinal. Assim (1.4) representa a maior taxa de variação (slew-rate) possível para uma tensão que varia sinusoidalmente com o tempo, em função da amplitude e da frequência

APLICANDO AS DEFINIÇÕES

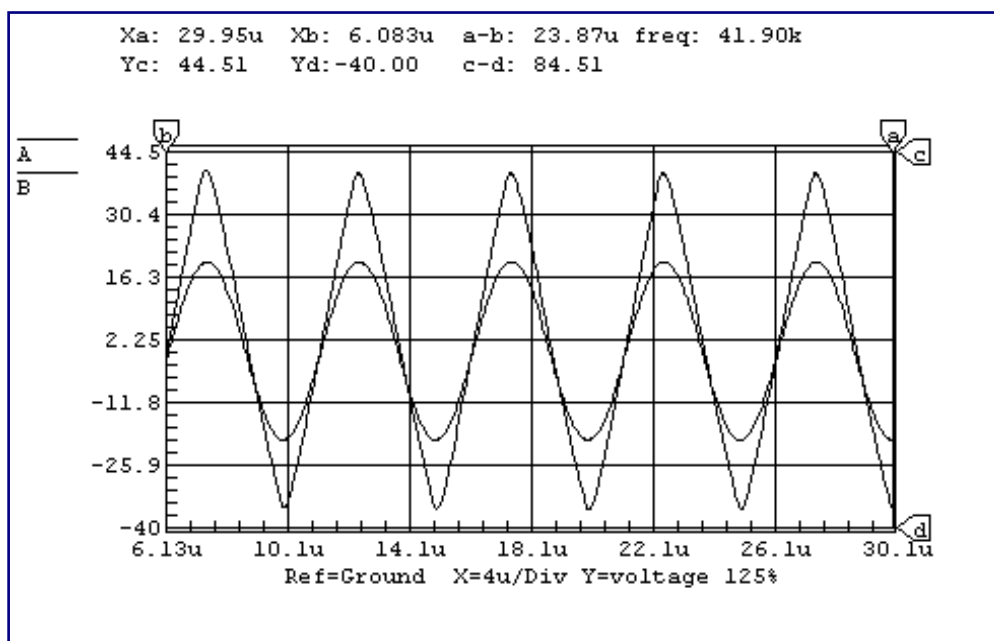
- A expressão (1.4) nos revela que o slew-rate é uma função a duas variáveis e estas variáveis estão intimamente relacionadas a dois fatores essenciais em amplificadores:

1. A máxima amplitude do sinal.
2. A maior frequência possível (ou largura de banda). Essas dependências podem ser facilmente relacionadas pela expressão (1.4).

- É necessário que os circuitos elétricos que irão processar o sinal sejam capazes de manipular essas variações no tempo, mais precisamente, que eles sejam suficientemente rápidos para não alterarem o sinal original. Na figura 6 podemos ver como um sinal é modificado por um circuito que possua um

slew-rate inferior ao do próprio sinal.

Caso a taxa de variação do sinal a ser amplificado/processado seja maior do que a taxa máxima de variação do circuito, teremos o que se usualmente se chama de distorção por limitação do slew-rate. A forma original da onda tende a um



formato triangular, como pode ser visto na figura, e componentes que não existiam no sinal original irão se somar e aparecer na saída. A superposição (combinação linear) da fundamental com os componentes harmônicos irão formar a onda distorcida e esta pode ser extremamente desagradável para os ouvidos. A condição para que isso não ocorra é

- $SR_{amp} \geq SR_{sinal} \quad (2.1)$ - se como um bom padrão de engenharia uma SR quatro vezes superior ao que seria matematicamente necessário.

Não mostraremos aqui porque os circuitos amplificadores são limitados em termos de taxa de variação. Esta análise exige alguma teoria de circuitos elétricos e não é nossa intenção no momento.

- Ao invés disso, vamos apontar as conseqüências mais diretas desse tipo de distorção e a importância de se ter valores apropriados de slew-rate, a fim de evitar esses transtornos. Essencialmente, as necessidades não serão sempre as mesmas já que, como vimos, a SR exibe uma dependência com a amplitude máxima e com a frequência máxima a ser respondida pelo amplificador (ou outro equipamento qualquer de áudio). Veremos alguns exemplos

Exemplo 1:

- Um amplificador tem que responder, para que atinja sua potência máxima, a uma amplitude de 10Vp e possui uma SR = 0,5V/us. Qual a maior frequência com que ele poderá trabalhar sem exibir distorção por limitação de slew-rate?

$$\text{A condição é dada por (2.1): } SR_{amp} \geq SR_{sinal} \quad (2.1)$$

$$\text{E podemos manipular (1.4) para obter } f_{max} = SR \times 10^6 / 2\pi A_{max} \quad (2.2)$$

onde as dimensões são:

slew-rate em Volts/microsegundo: [SR] = V/us,

amplitude máxima = tensão de pico em Volts: [Vp] = V

e frequência em Hertz: [f] = Hz.

O fator 10^6 que aparece no numerador é necessário para que se possa exibir o resultado nas unidades usuais. Inserindo estes valores em (2.2), obtemos:

$$f_{max} = (0,5V/us \times 10^6) / (2\pi \times 10V_p) = 7.960Hz = 7,96kHz$$

Vemos assim que esse amp não poderá responder (em 10Vp) a nenhum sinal com frequência maior do que 7,96kHz sem sofrer distorção. O procedimento inverso também é válido, pois podemos fixar a largura de banda que julgarmos conveniente e calcular qual a amplitude máxima teríamos disponível, sem distorção, na saída. Manipulando (2.2), obtemos: $A_{max} = SR \times 10^6 / 2\pi f_{max} \quad (2.3)$

Supondo que uma largura de banda de 20kHz nos seja apropriada. Assim como antes, inserimos os valores em (2.3) para obter: $A_{max} = (0,5V/us \times 10^6) / (2\pi \times 20.000Hz) = 3,98V_p$

- Não podemos utilizar este amp com uma tensão de saída maior do que 3,98Vp, sob pena de existir distorção no sinal de saída; isto é claro, se quisermos utilizá-lo até uma frequência de 20kHz.

Vamos agora aplicar estes resultados a amplificadores típicos do áudio profissional.

Exemplo 2:

- Um amp de 1.000Wrms/canal @ 2W será utilizado num trabalho full-range, com banda passante de 20kHz. Qual a slew-rate necessária?

Se ele desenvolve 1.000Wrms @ 2W, então devemos calcular a amplitude máxima de um sinal de teste senoidal presente em sua saída. Manipulando a lei de Ohm, obtemos:

$$P = (E)^2/R_L \Leftrightarrow P \cdot R_L = E^2 \Leftrightarrow E_{rms} = (P \cdot R_L)^{1/2}$$

No entanto a tensão assim obtida é a tensão eficaz ou rms. Nesse caso, nos interessa a tensão de pico (lembrando que as tensões medidas em multímetros comuns sempre são exibidas em valores rms, para um sinal permanente senoidal). Assim devemos multiplicar o resultado por $(2)^{1/2}$.

$$V_p = A_{max} = (2)^{1/2} (P_{rms} R_L)^{1/2} = (P_{rms} 2R_L)^{1/2} \quad (2.4)$$

$$\text{Inserindo os dados, obtemos: } V_p = A_{max} = [(1.000W) \times 2 \times (2\Omega)]^{1/2} = 63,25V$$

$$\text{Utilizando diretamente (1.4) } SR = (A_{max} 2\pi f_{max})/10^6$$

$$\text{e inserindo os valores, obtemos: } SR = (63,25V \times 2\pi \times 20.000Hz)/10^6 = 7,94V/\mu s$$

Internacionalmente, é recomendado que esse valor mínimo seja multiplicado por 4, obtendo assim: 31,7V/ μs , mas acredito que o dobro já seja o suficiente para garantir total ausência de distorção por limitação de slew-rate, assim $\sim 15V/\mu s$ já seria um ótimo valor.

- Através destes exemplos fica claro que slew-rate não é uma especificação do tipo "quanto mais, melhor", basta termos um valor coerente com a aplicação a que se destina o amp (função da amplitude máxima e da frequência máxima). Um eventual acréscimo não carecerá de qualquer significação[2].

- Tabelas poderão ser elaboradas pelos leitores a fim de verificar a melhor faixa de atuação de seus amps, bem como conferir as especificações de um novo equipamento a ser adquirido, para certificar-se que o mesmo se adequará as suas necessidades. Para tanto, basta utilizar as fórmulas que foram aqui deduzidas, consultar os exemplos resolvidos e praticar um pouco de matemática.

- Para finalizar, devo acrescentar que verifiquei, ao longo de algum tempo, que em alguns comerciais e artigos envolvendo amplificadores tem-se dito que um certo amp possuía um alto slew-rate por empregar uma baixa (ou alta) taxa de realimentação negativa. Esse argumento, naturalmente, não possui o menor fundamento. Neste artigo não daremos uma demonstração rigorosa (quem sabe num artigo futuro), mas podemos, qualitativamente, analisar o fato.

- A realimentação negativa não tem como interferir na taxa de variação ou na largura de faixa para grandes sinais[4]. Até que a tensão de saída varie, não há sinal de realimentação e nenhum benefício (ou sacrifício) devido à realimentação negativa pode ser obtido. Esse simples raciocínio pode ser reforçado com a idéia de que a malha de realimentação só pode amostrar um evento que já ocorreu! Assim a realimentação negativa, tão necessária em outros aspectos, tem pouca influência no domínio temporal.

MEDIÇÃO DE PARÂMETROS THIELE-SMALL

➤ INTRODUÇÃO

- Antes de iniciar um projeto de construção de sonofletores é necessário conhecer os parâmetros mais importantes do falante que definem o seu comportamento em baixas frequências.

Esses parâmetros, conforme definidos pela teoria de Thiele-Small, são:

Vas = Volume equivalente do falante

Qts = Fator de Qualidade

fs = frequência de ressonância.

- Estas grandezas costumam apresentar bastante variação entre marcas e modelos diferentes de falantes, mesmo entre os de igual diâmetro e frequência de ressonância. Como os projetos de caixas acústicas são sensíveis a mudanças (mesmo reduzidas) nestes parâmetros não é conveniente iniciar algum projeto sem haver antes determinado os valores destas grandezas.

- Também é necessário medi-los quando se pretende usar projetos de construção já prontos e para os quais não haja indicação precisa do modelo e marca do falante apropriado. Nesses casos, conhecendo os parâmetros Vas, Qts e Fs, é possível a adaptação do projeto para extrair o máximo de suas características.

- O emprego em um projeto de qualquer outro falante que não o corretamente especificado através do uso dos parâmetros Thiele-Small, invalida os dados da construção e arrisca os resultados a serem obtidos.

Um pouco de teoria

- Os parâmetros já referidos foram derivados das constantes eletromecânicas dos falantes para facilitar a análise das características dos diferentes falantes, e não podem ser medidos diretamente por instrumentos, excetuando-se a frequência de ressonância.

- Portanto necessitamos antes determinar outras grandezas e obter Vas e Qts através de cálculos posteriores. Para a determinação de Vas a primeira grandeza a ser medida é a compliância mecânica, Cms .

- A compliância mecânica corresponde ao inverso do que se poderia chamar de rigidez mecânica, grosseiramente correspondendo ao que se poderia chamar de maior ou menor facilidade de movimentação do diafragma do falante. A compliância mecânica Cms é calculada através da aplicação de uma força conhecida sobre o cone do falante e medindo-se o deslocamento resultante.

- O valor de Cms é dado pela relação entre esse deslocamento e a força aplicada, esta podendo ser obtida por meio de uma massa conhecida colocada sobre o diafragma do falante, mantendo-se este na horizontal e com o eixo orientado verticalmente.

$Cms = \text{deslocamento} / \text{força}$

ou:

$Cms = X / (9,8 \times M')$

onde: X = deslocamento em metros

M' = massa adicionada em quilogramas

- A partir da compliância mecânica C_{ms} é possível calcular a compliância acústica C_{as} , que corresponde ao valor de C_{ms} multiplicado pelo quadrado da área efetiva do diafragma, ou seja:

$$C_{as} = C_{ms} \times S_d^2$$

onde S_d corresponde à área efetiva do cone do falante, sendo calculada por meio de seu diâmetro:

$$S_d = \pi d^2 / 4$$

Onde d = diâmetro do cone do falante.

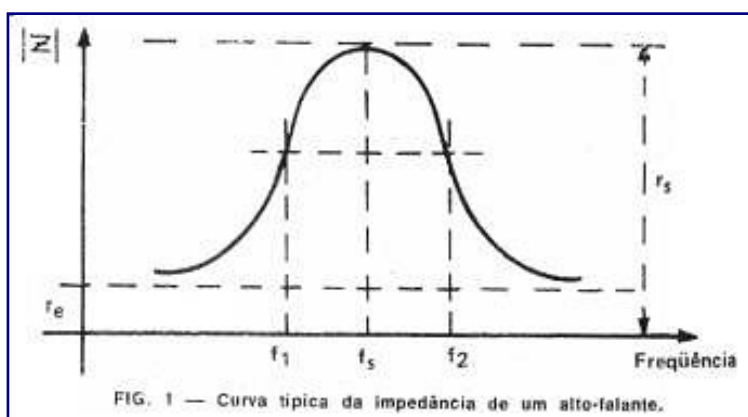
Conhecendo C_{as} , calcula-se o volume equivalente por: $V_w = \rho_0 \times c^2 \times C_{as}$

onde: V_w = Volume equivalente em metros cúbicos

ρ_0 = Densidade específica do ar (1,18 Kg/m³)

c = Velocidade do som no ar (aproximadamente 345m/s)

- Existe outro método muito empregado para o cálculo de V_w , o qual consiste no emprego de uma caixa de volume conhecido. Primeiramente mede-se a ressonância do falante ao ar livre e posteriormente na caixa. Este tipo alternativo de determinação de V_w será explicado pormenorizadamente mais adiante e torna-se útil inclusive para verificação do acerto das medições tomadas pelo primeiro método. Muitos autores recomendam este método por ser considerado mais preciso.



Já o valor de Q_{ts} é calculado através do levantamento de pontos da curva de impedância do falante. Após a determinação da frequência de ressonância f_s procuram-se duas outras frequências, f_1 e f_2 , uma acima e outra abaixo de f_s . Veja a figura 1, que mostra a curva característica de um falante nas vizinhanças da ressonância.

Vamos precisar das seguintes definições:

R_e : resistência à corrente contínua da bobina móvel;

R_s : impedância (valor análogo à resistência, porém em corrente alternada) do falante na frequência de ressonância f_s ;

f_1 : frequência abaixo de f_s ;

f_2 : a frequência acima de f_s ;

As frequências f_1 e f_2 são aquelas nas quais a impedância do falante vale: $\sqrt{R_e \times R_s}$

O fator de qualidade Q_{ts} pode ser dividido em duas partes distintas, uma dependente de grandezas mecânicas:

Q_{ms} : fator de qualidade mecânico, e outra dependente de grandezas elétricas;

Q_{es} : fator de qualidade elétrico.

O valor de Q_{ms} é obtido por: $Q_{ms} = f_s \times \frac{\sqrt{R_e / R_s}}{f_2 - f_1}$

$$Q_{ts} = \frac{Q_{ms}}{(R_s / R_e) - 1}$$

O valor de Q_{es} é definido por:

Para obtermos Q_{ts} podemos relacionar Q_{ms} e Q_{es} da seguinte forma: $Q_{es} = \frac{Q_{ms}}{(R_s / R_e) - 1}$

Portanto, teremos o índice de mérito total, Q_{ts} dado por: $Q_{ts} = \frac{Q_{ms} \times Q_{es}}{Q_{ms} + Q_{es}}$

➤ ROTEIRO DE MEDIÇÕES

Determinação da compliância mecânica – C_{ms}

- Obtém-se a compliância mecânica medindo-se a excursão do cone entre a posição de repouso e a posição para a qual o cone é deslocado com a adição de uma massa conhecida.

- Esta massa pode ter de 0,25 kg até 0,50 kg, usando-se por exemplo pesos de latão. A excursão não deve ser demasiado grande, para não ser atingida a região não linear da suspensão, sendo de no máximo 0,5 cm para falantes grandes e de 0,2 ou 0,1 cm para falantes menores. Não devem ser usados pesos de metal ferromagnético, pois isto perturbaria a medida.

A partir da medida feita com um paquímetro, podemos calcular:

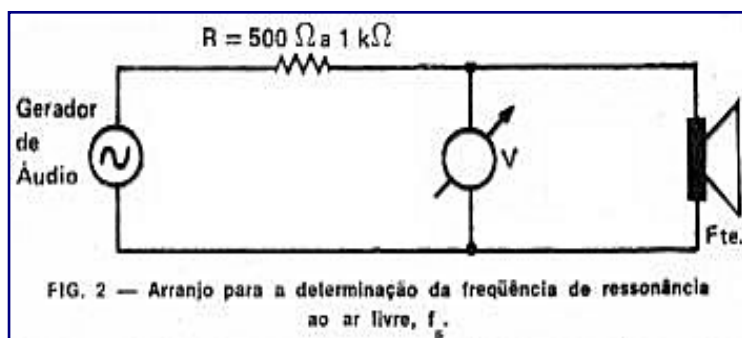
$$C_{ms} = dX / (9,8 \times dM)$$

onde:

dX = deslocamento em metros

dM = massa adicionada em quilogramas

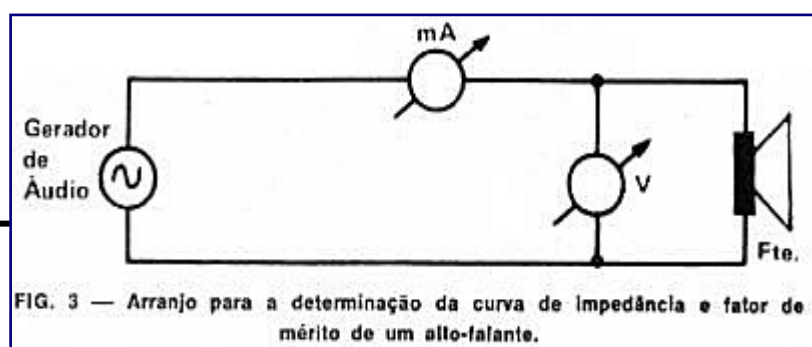
Determinação da frequência de ressonância (f_s)



Usa-se nesta medida um oscilador, um milivoltímetro de áudio e ainda uma resistência de aproximadamente 500 ohms a 1 kohm conectada entre o oscilador e o altofalante em teste. A resistência é usada para transformar a saída do oscilador, quando sob carga, em uma fonte de corrente constante. Veja o arranjo na figura 2

O alto falante deve, de preferência, encontrar-se em área livre, sem paredes ou chão a menos de 1 metro de distancia. Nestas condições faz-se uma varredura em torno das frequências onde se acredita estar a ressonância e é efetuada a leitura da frequência em que o voltímetro apresente o maior valor. Esta é a frequência de ressonância f_s do alto falante.

Determinação do fator de qualidade (Q_{ts})



Para o cálculo de Q_{ts} é necessário primeiramente calcular o valor de resistência da bobina móvel. Esta medida pode ser tomada por um

ohmímetro comum. Chamaremos a este valor de R_e .

Montamos agora o circuito da figura 3.

Para a frequência de ressonância f_s anota-se o valor da corrente e da tensão presentes. É conveniente manter a tensão em 1 volt, que é um valor padrão para este tipo de medição.

Calcula-se agora a impedância R_s do falante na ressonância.

$R_s = V_s / I_s$, onde:

V_s = Valor da tensão nos terminais do falante na ressonância, em volts;

I_s = Valor da corrente absorvida pelo falante, em amperes.

Agora, vamos achar as frequências f_1 e f_2 para as quais a impedância do falante seja: $\sqrt{R_e \times R_s}$, sendo f_1 menor que f_2

Como $I = V/R$, então a corrente esperada nos pontos f_1 e f_2 será: $I_{1,2} = \frac{V}{\sqrt{R_e \times R_s}}$

Se mantivermos $V = 1$ volt durante o transcorrer desta medição então bastará achar as frequências f_1 e f_2 para as quais a corrente seja: $I_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{R_e \times R_s}}$

A tensão não necessita ser obrigatoriamente a especificada acima, porém é muito importante que seja exatamente sempre a mesma ao variar o oscilador entre f_s , f_1 e f_2 . Durante a varredura de frequências a tensão tende a variar bastante, portanto é importante estar atento.

Calcula-se Q_{ts} por: $Q_{ts} = \frac{f_s}{(f_2 - f_1)} \times \frac{1}{\sqrt{R_s / R_e}}$

Os valores de f_1 e f_2 obtidos devem satisfazer à igualdade: $f_s = \sqrt{f_1 \times f_2}$

Em caso de discrepância é conveniente repetir o processo até ter-se certeza dos valores medidos. Note que o cálculo de f_s a partir da fórmula acima é mais preciso do que a medição direta. Isto acontece porque a indicação do voltímetro varia relativamente pouco nas vizinhanças de f_s , induzindo a erro facilmente. Portanto em caso de dúvida adote o valor de f_s calculado.

Determinação do volume equivalente (V_{as})

V_{as} pode ser determinado por dois métodos diferentes: a) Através de C_{ms}

Sendo: $C_{as} = C_{ms} \times S_d^2$

onde:

C_{as} = compliância acústica;

C_{ms} = compliância mecânica;

S_d = área efetiva do cone

e $V_{as} = \rho_0 \times c^2 \times C_{as}$

onde:

ρ_0 = densidade do ar (1,18 kg/m³);

c = velocidade do som no ar (aproximadamente 345 m/s)

Para a aplicação destas fórmulas só nos falta medir S_d . A área efetiva do cone é dada por: $S_d = \frac{\pi \times d^2}{4}$

onde d é o diâmetro efetivo do cone.

O diâmetro efetivo d é medido diametralmente de um ao outro lado do cone, tendo-se o cuidado de tomar a medida a partir dos centros da borda flexível que prende o cone à carcaça do alto-falante.

Portanto, a fórmula para o cálculo de V_{as} que será usada é: $V_{as} = \rho_0 x c^2 x C_{ms} \left(\frac{\pi x d^2}{4} \right)^2$

ou, aplicando os valores das grandezas, e sendo $\Delta X = X_2 - X_1$: $V_{as} = 1,18 x 345^2 x \frac{\Delta X}{9,8 x \Delta M} x \left(\frac{3,14 x d^2}{4} \right)^2$

onde: $X_2 - X_1$ é o deslocamento medido do cone de cm;

ΔM é a massa adicionada ao cone;

d é o diâmetro efetivo medido do cone

b) ATRAVÉS DE MEDIDAS TOMADAS COM O USO DE UMA CAIXA DE VOLUME CONHECIDO.

Esta série de medições poderá ser feita com a ajuda de uma caixa fechada ou sintonizada a uma frequência determinada. Neste exemplo vamos utilizar uma caixa fechada.

Dispondo-se de uma caixa bem selada, sem qualquer revestimento interno, com volume conhecido V_b , que esteja entre 20 e 50 litros, deve-se repetir os cálculos dos valores da frequência de ressonância, a qual chamaremos agora de f_b e do seu fator de qualidade, que chamaremos de Q_{tb} .

Calculamos V_{as} por: $V_{as} = V_b x \left[\left(\frac{f_b x Q_{tb}}{f_s x Q_s} \right) - 1 \right]$

Outra fórmula mais simplificada que pode ser usada é: $V_{as} = V_b x \left[\left(\frac{f_b}{f_s} \right)^2 - 1 \right]$

Nesta fórmula estamos supondo que o valor das massas acústicas envolvidas não variou substancialmente ao ar livre e na caixa, simplificação essa que introduz um certo erro no cálculo, mas que por outro lado, facilita a medição.

Ressalte-se que, para esta medição o altofalante será posicionado na caixa em um orifício de tamanho coerente com o seu diâmetro e deve ser mantido bem pressionado contra esta, a fim de serem evitadas as fugas de ar. Não se deve esquecer de considerar a influência do volume do alto-falante em relação ao volume da caixa. Assim, se este estiver por dentro do orifício do painel o volume estimado do mesmo será subtraído do volume da caixa.

➤ VERIFICAÇÃO DAS MEDIDAS

- Se na medição anterior foram usados tanto o método a quanto o método b, isto será útil para a verificação da correção das demais medições.

Calcula-se novamente V_{as} através da fórmula acima, cujo resultado deve coincidir com o valor anterior.

- Discrepâncias menores que 10% não necessitam ser levadas em conta. Para discrepâncias maiores recomenda-se refazer as medições.

Ressalte-se que pelo método b obtém-se os valores mais precisos pois a medida do diâmetro efetivo do cone não é tão fácil quanto possa parecer à princípio, tornando pois os valores calculados mais sujeitos a erros.

- A esse respeito é importante observar que um erro qualquer na medida de d é amplificado de 4 vezes ao ser calculado o valor de V_{as} .

EXEMPLO DE MEDIÇÕES E CÁLCULOS

- Para exemplificar o método exposto, vamos utilizar um falante de vinte centímetros, comumente encontrado no comércio. O equipamento usado pelo autor nesta medição constou de um gerador de áudio digital, multímetro, paquímetro e um amplificador de áudio, para aumentar o nível de sinal.

Medição da resistência da bobina móvel

Aparelho usado: Multímetro;

Valor medido: $R_e = 5,9$ ohms

Medição da frequência de ressonância

Aparelhos usados: gerador de áudio, multímetro (escala 2 V, alternada) e resistência de 470

Circuito usado: conforme a figura 2.

Valor medido: $f_s = 52$ Hz

- O valor de f_s encontrado nesta medição serve mais como referência, uma vez que o método usado não apresenta muita precisão. Neste exemplo o valor da frequência pode ser variado de 51 a 53 Hz sem alteração significativa do valor mostrado pelo voltímetro.

Obtenção de Q_{ts}

Aparelhos usados: gerador, multímetro (escala 10 V alternada), outro multímetro (escala 250 mA, alternada),

Circuito utilizado: conforme a figura 3.

Valores medidos: Na frequência de 52 Hz, com o voltímetro ligado diretamente nos bornes do falante (para evitar a interferência da queda interna do aparelho usado como miliamperímetro) e medindo 1V foi lida a corrente de 35,5 mA.

Durante esta leitura pode-se aproveitar para validar o valor de f_s , pois na frequência de ressonância, ao manter-se a tensão constante, o valor da corrente deve ser mínimo.

$$\text{Temos: } R_s = \frac{V_s}{I_s} = \frac{1}{35,5 \times 10^{-3}}$$

$$\text{O valor da corrente nas frequências } f_1 \text{ e } f_2 \text{ será: } I_{1,2} = \frac{1}{\sqrt{R_e \times R_s}} = \frac{1}{\sqrt{5,9 \times 28,2}} = 77 \text{ mA}$$

Ajustamos agora o gerador de forma a obter em duas frequências diferentes, acima e abaixo de f_s a corrente de 77 mA com tensão constante de 1V. Este procedimento é bastante delicado, pois não é muito simples acompanhar a variação de dois aparelhos indicadores ao atuar-se em um terceiro, mas com um pouco de calma e habilidade esta dificuldade é contornada.

Obtivemos: $f_1 = 35$ Hz e $f_2 = 78$ Hz

Para avaliar a precisão dos resultados fazemos a prova: $\sqrt{f_1 \times f_2} = \sqrt{35 \times 78} = 52 = f_s$

Caso não os valores não coincidam por pequena margem, adote o valor de f_s como o resultado do cálculo acima, pois a determinação de f_1 e f_2 , se bem feita, é mais precisa.

Caso contrário, repita estas medições.

Valor obtido de Q_{ts} : $Q_{ts} = \frac{f_s}{(f_2 - f_1) \times \sqrt{\frac{R_s}{R_e}}}$

$$Q_{ts} = \frac{52}{(78 - 35) \times \sqrt{\frac{28,2}{5,9}}} = 0,57$$

Obtenção de V_{as}

Aparelhos usados: paquímetro e pesos de chumbo com massas conhecidas (podem ser os normalmente usados em redes de pesca) e com pesos determinados em balança de precisão.

Medida do paquímetro ao centro do cone: $x_1 = 1,955$ cm

Nova medida com o cone lastreado com 282 g: $x_2 = 2,110$ cm

Diâmetro efetivo do falante (medido de centro a centro da suspensão do cone): 16,7 cm

Obtenção de V_{as} :

$$V_{as} = 0,86 \times d^4 \times \frac{(X_2 - X_1)}{\Delta M}$$

$$V_{as} = 0,86 \times 16,74^4 \times \frac{2,110 - 1,955}{282}$$

Logo $V_{as} = 37$ litros.

REATIVOS E AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA

➤ SOBRE A INFLUÊNCIA DA CARGA NOS APLIFICADORES DE POTÊNCIA;

O objetivo do presente artigo é de esclarecer um assunto ainda bastante obscuro no meio profissional. Felizmente temas como: fator de amortecimento, distorção, potência, entre outros, já são assuntos devidamente "esmiuçados".

No entanto, em pouco conhecimento permanece o fato de que os amplificadores interagem com as suas cargas e têm seu comportamento grandemente influenciado por elas. Uma destas formas de interação ocorre quando alimentamos impedâncias fortemente reativas, ou seja, justamente as cargas que todos nós utilizamos: os alto-falantes.

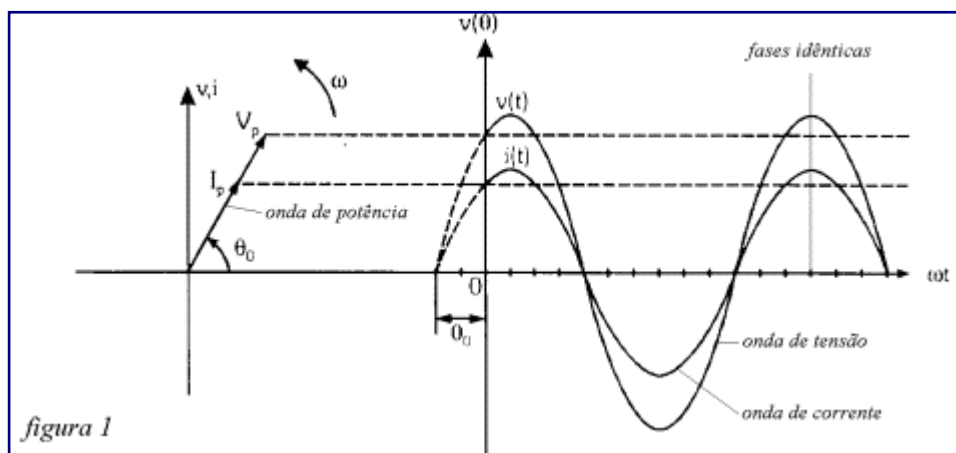
A iniciativa é motivada por um quadro preocupante: poucos amplificadores são bons nesse aspecto (conforme já citado e brevemente comentado pelo Prof. Homero Sette Silva em Backstage). Distorção harmônica, instabilidade e até queima do estágio de saída são comuns. O principal objetivo deste texto, é levar à compreensão básica do fenômeno através de uma explanação simples, não pretendendo ser definitiva ou completa; visa elucidar o leitor, profissional de áudio ou não, de modo que se tenha sempre em mente esse fato ao adquirir-se uma ferramenta tão básica como um amplificador de potência. Todavia, para que se compreenda bem este assunto, convém começar do início e seguir passo a passo o caminho que leva até ele.

Uma primeira análise da amplificação - cargas resistivas A grande maioria dos amplificadores de potência modernos trabalham na configuração amplificador de tensão, isto é, produzem na saída uma tensão que é proporcional àquela aplicada em sua entrada e que representa o programa de áudio. Esta tensão de saída tem usualmente grandes amplitudes de modo a gerar uma corrente também de grande amplitude ao percorrer-se uma carga de valor ôhmico muito baixo, como alto-falantes por exemplo. Naturalmente, a impedância de saída de tais geradores (amps) deve ser bem mais baixa do que a impedância da carga, de outra maneira não seria possível gerar correntes de grandes amplitudes.

Considera-se, agora, um amplificador (fictício e que não se refere à nenhuma marca) recebendo um sinal senoidal e alimentando uma carga puramente resistiva[1], ou seja, que não possui reatância (que caracteriza um comportamento reativo). Neste caso especial a carga aproveita toda energia fornecida pelo gerador (dissipa potência por efeito Joule, ou seja, toda energia é transformada em calor).

Tal fato ocorre porque que num circuito puramente resistivo não há atraso ou defasagem entre a onda de tensão e a onda de corrente, nesse caso, ambas senoidais; isso porque resistores não acumulam energia como os indutores e os capacitores, terminando por não interferirem nas formas de onda relativamente ao tempo (na verdade a explicação é mais profunda e como tantas mais que veremos adiante não caberiam na proposta deste artigo. Vamos limitar-nos portanto à uma abordagem mais simples).

Na figura 1



pode-se notar como a tensão e a corrente num circuito resistivo caminham perfeitamente juntas ao longo do tempo, estando assim, em fase. A potência instantânea $p(t)$ dissipada por uma

resistência elétrica pode ser obtida pelo produto, ponto a ponto, entre $v(t)$ e $i(t)$; a expressão fica pois

$p(t)=v(t)\times i(t)$. A figura 1 mostra a forma de onda da tensão e da corrente e como fica a forma de onda da potência. Esta carga puramente resistiva poderia ser um simples resistor de grande potência como uma "resistência" de chuveiro

Como resultado, a potência consumida por uma carga puramente resistiva é pulsante e sempre positiva, pois num mesmo instante a tensão e a corrente são positivas ou negativas (produto de 2 positivos ou 2 negativos = sempre positivo), lembrando que a carga está sendo percorrida por uma corrente alternada e senoidal.

A interpretação de potência positiva diz-nos que o receptor está consumindo a potência fornecida pela fonte. Potência sempre positiva significa portanto que a carga comporta-se sempre como um receptor, consumindo a potência fornecida pela fonte (amplificador), que por sua vez, comporta-se sempre como um gerador.

Neste caso, como já foi visto, 100% da energia fornecida à carga é convertida em calor por efeito Joule. Essa situação é extremamente confortável para o amplificador, visto que ele não toma conhecimento da carga, exceto pelo fato de estar fornecendo energia; contudo pode-se dizer que nesse caso não há interação com a carga, o desempenho do amplificador fica sendo apenas função dele próprio, importando muito pouco pois, a carga.

➤ OS ALTO - FALANTES;

Mas afinal não se utilizam amplificadores de potência para alimentar resistores, mas sim para alimentar alto-falantes. É justamente neste momento que o processo torna-se mais complicado. Os alto-falantes modernos são componentes eletrodinâmicos que, conforme demonstrou Neville Thiele, têm um comportamento idêntico (do ponto de vista elétrico) ao de um circuito ressonante paralelo do tipo RLC [2],

que pode ser visto na figura 2.

O trabalho de Thiele, intitulado "Loudspeakers in Vented Boxes" posteriormente ampliado por Richard Small em sua tese de doutorado, constitui atualmente o principal pilar em que se apoiam as técnicas de análise de alto-falantes e caixas acústicas, conhecido como Teoria de Thiele-Small.

Aqui no circuito equivalente pode-se divisar dois lados envolvidos, o do

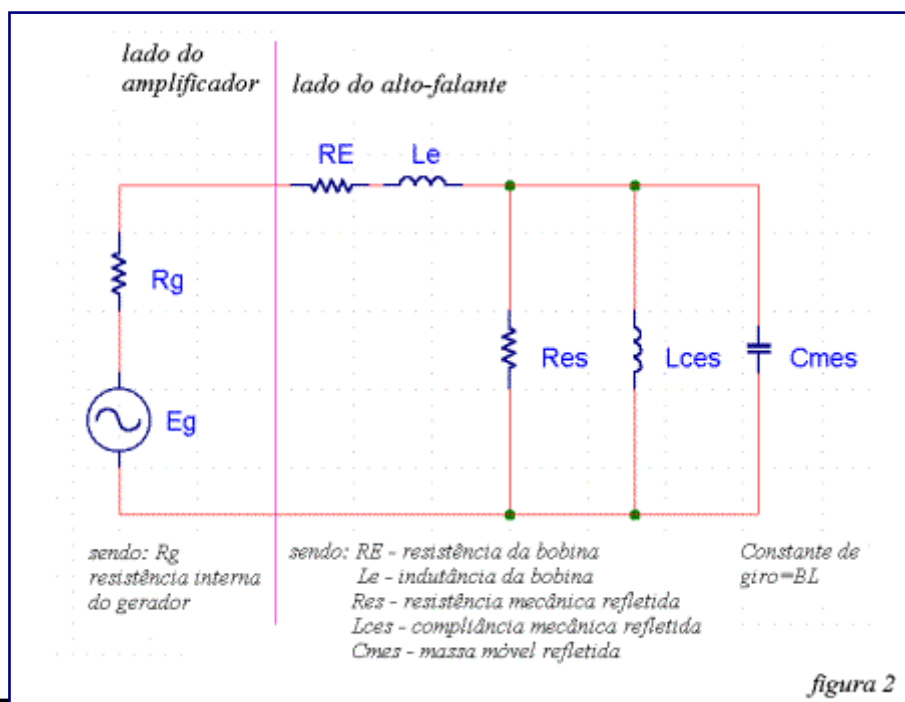


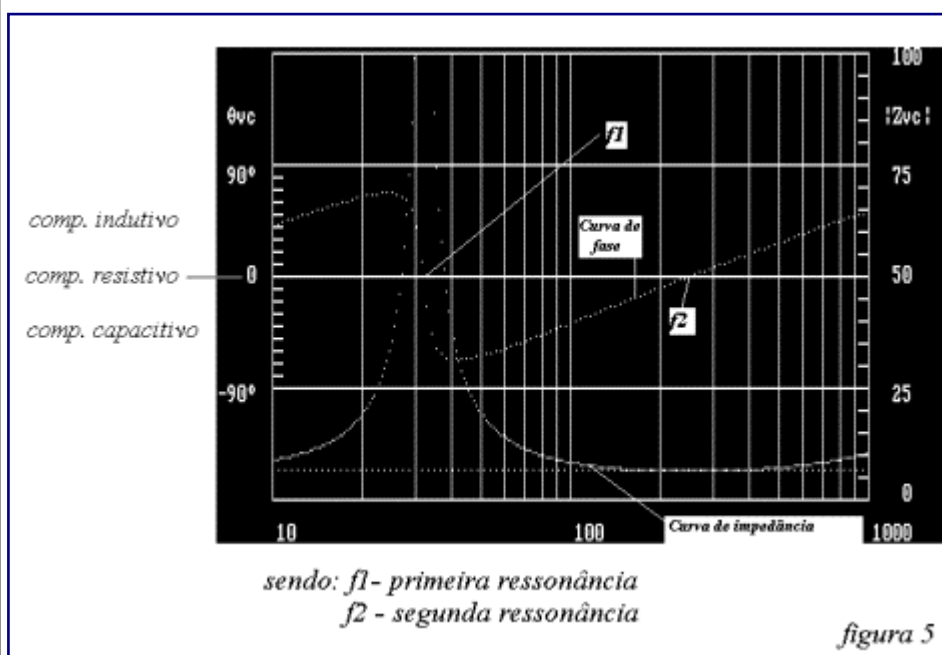
figura 2

amplificador representado por E_g e pela sua resistência interna R_g (que é responsável pelo valor do fator de amortecimento do amplificador) e o lado do alto-falante em que se encontra R_E representando a resistência do fio que constitui a bobina móvel e L_e que representa a indutância dessa mesma bobina.

Na sequência deparamo-nos com as quantidades R_{es} , L_{cs} e C_{ms} que são as características mecânicas do alto-falante (resistência mecânica, compliância e massa móvel). Esses parâmetros mecânicos estão, pelo conceito da dualidade, refletidos no seu circuito equivalente elétrico, podendo ser assim analisados de maneira mais fácil.

Esse tipo de circuito apresenta comportamento triplo a depender unicamente da frequência: capacitivo, indutivo e puramente resistivo, sendo que este último manifesta-se apenas nas suas frequências de ressonância.

Observando atentamente o gráfico da figura 5, pode-se notar que o alto-falante ao ar livre possui duas frequências de ressonância, ou fase zero (procurar na curva de fase). A primeira, devido a C_{ms} e a L_{cs} é a mais importante, definida como sendo a frequência de ressonância mecânica do alto-falante (F_s). Esta provoca um pico de máximo no módulo da impedância.



A segunda (normalmente desprezada na análise em baixas frequências) definida como frequência de ressonância elétrica é devido à associação da capacitância refletida C_{ms} com a indutância da bobina móvel L_e . Esta provoca um pico de mínimo no módulo da impedância e ao redor deste se define o valor da

impedância nominal do alto-falante, que assim possui comportamento novamente resistivo (para woofers isso ocorre tipicamente em torno de 300Hz).

Nas demais frequências, porém, o comportamento é capacitivo e indutivo, mas eletricamente se considera apenas um desses efeitos de cada vez. Ocorre desta maneira porque as duas propriedades anulam-se, permanecendo o excedente do efeito mais pronunciado, que chamamos resultante. Voltaremos a falar desse assunto mais adiante, em momento oportuno.

O que o amp então na realidade "enxerga" é justamente essa resultante. Uma carga que ora se comporta como um resistor (ressonância), ora como uma associação resistor/capacitor (fase negativa) e em outros momentos como uma associação resistor/indutor (fase positiva), a depender tão somente da frequência em questão. No caso de sinais musicais pode-se admitir a exibição desses 3 comportamentos simultaneamente, visto existirem inúmeras frequências (fundamentais e harmônicas) no sinal musical.

E como será que o amp "sente" isso? Para tanto, devemos rapidamente estudar algumas propriedades dos circuitos capacitivos e indutivos

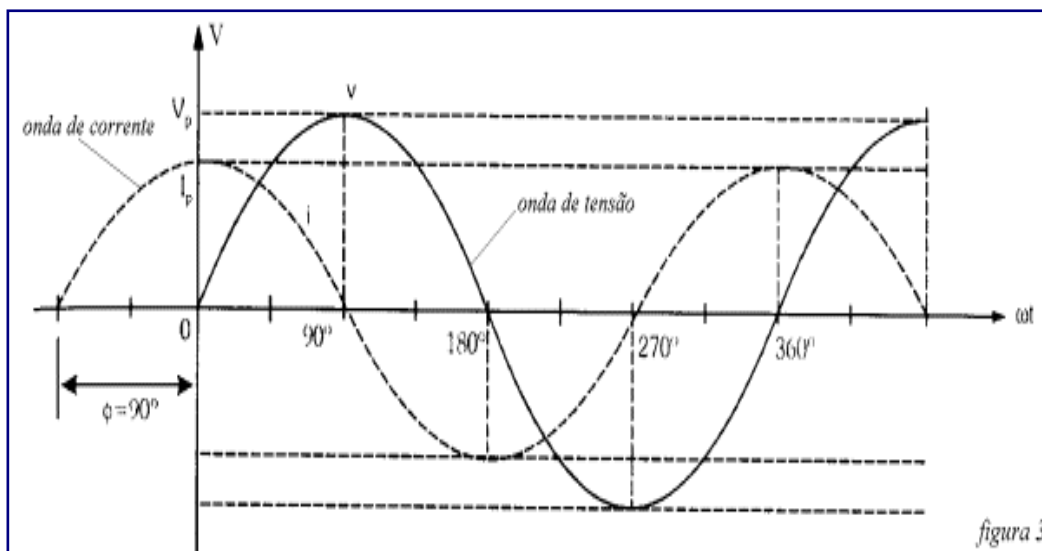
➤ CIRCUITOS REATIVOS – DEFINIÇÃO E ANÁLISE DA POTÊNCIA;

Define-se como reativo qualquer circuito que apresente capacitância ou indutância, ou ainda ambos os efeitos combinados.

Capacitância é a propriedade apresentada pelos capacitores. Estes, por sua vez, são dispositivos que armazenam energia na forma de um campo elétrico. Analogamente, indutância é a propriedade dos indutores que também armazenam energia, porém na forma de um campo eletromagnético.

Ao contrário dos resistores, nos capacitores (e nos indutores) ocorre uma defasagem ou atraso entre as ondas de corrente e tensão. Se for aplicado um certo valor de tensão em corrente contínua, observar-se-á que o capacitor leva um certo tempo para carregar-se e atingir o máximo valor da tensão entre seus

terminais. Já a corrente tem valores altos logo de início, decrescendo à medida que o capacitor carrega-se, tornando-se nula ao final.



Daí, percebe-se porque a corrente não se encontra em fase com a tensão num capacitor. Num indutor o processo é semelhante, apenas com as propriedades inversas, porém

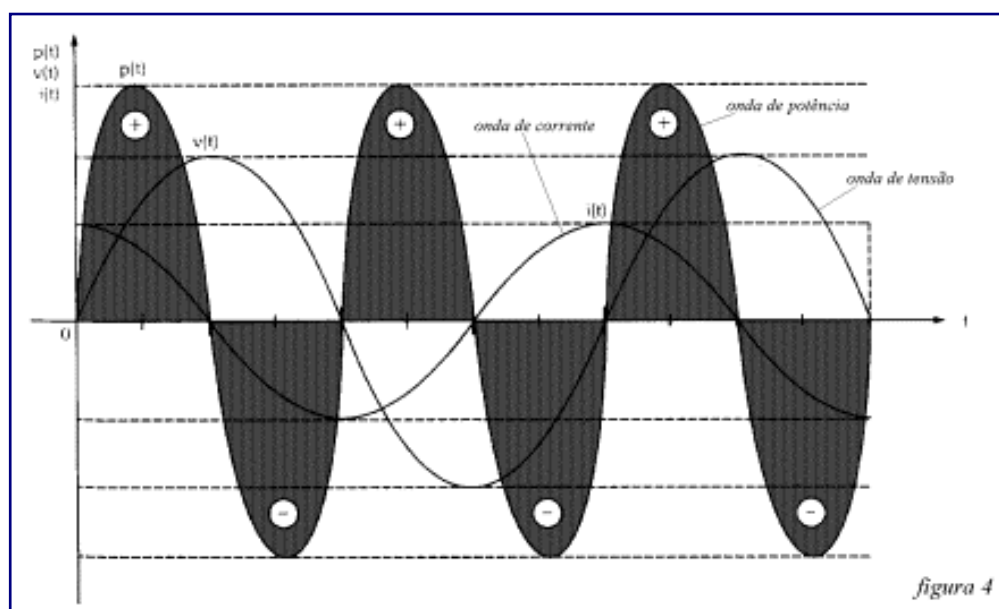
vamos limitar-nos aqui a descrever somente o efeito capacitivo, visto ser ele suficiente para o entendimento do artigo. Se a tensão fosse alternada e senoidal esse processo repetir-se-ia a cada ciclo da onda, por isso a tensão e a corrente ficariam atrasadas entre si, exatamente 90 graus, num capacitor ideal (fig. 3).

Uma outra maneira de explicar tal processo, consiste em dizer que o capacitor opõe-se a variações de tensão entre seus terminais, levando sempre um certo tempo para adquirir o novo valor. Daí o fato de que num capacitor a tensão está sempre atrasada em relação à corrente (na figura esse atraso está representado pela letra grega ϕ (lê-se FI) e vale 90°).

A essa altura o leitor pode-se perguntar: "por que essa defasagem no tempo não é representada em unidades de tempo habituais? Por que usa-se ângulo ao invés de simplesmente segundos, milissegundos, etc." A resposta é simples: lembre-se que estamos lidando com ondas periódicas ou harmônicas que se repetem indefinidamente no tempo. Fica pois, mais simples referir-se a um trecho de onda através de partes de seu período angular, por exemplo: um período completo tem 360° , meio período 180° e assim por diante.

Se fossemos nos referir a esses mesmos espaços de tempo da maneira habitual, para cada frequência da onda senoidal teríamos que calcular o tempo correspondente a um período, a meio período, etc. Lembre-se que variando a frequência varia junto o tempo necessário para que ela complete um determinado ciclo. Usando a notação de frequência angular um período sempre terá 360° , meio período 180° , etc, independente da frequência que tiver o sinal senoidal, simplificando bastante as coisas.

Agora, assim como foi feito para um circuito resistivo, analisa-se a potência num circuito capacitivo. O amplificador, que recebe um sinal senoidal, alimenta uma carga puramente capacitiva (que pode ser um simples capacitor). Através da expressão $p(t)=v(t)\times i(t)$ pode-se levantar ponto a ponto o gráfico da potência instantânea na carga, ficando como mostra a figura 4.



A área hachurada corresponde à onda de potência, o que permite a conclusão de que em um circuito puramente capacitivo não há dissipação de energia (o mesmo ocorre em circuitos puramente indutivos).

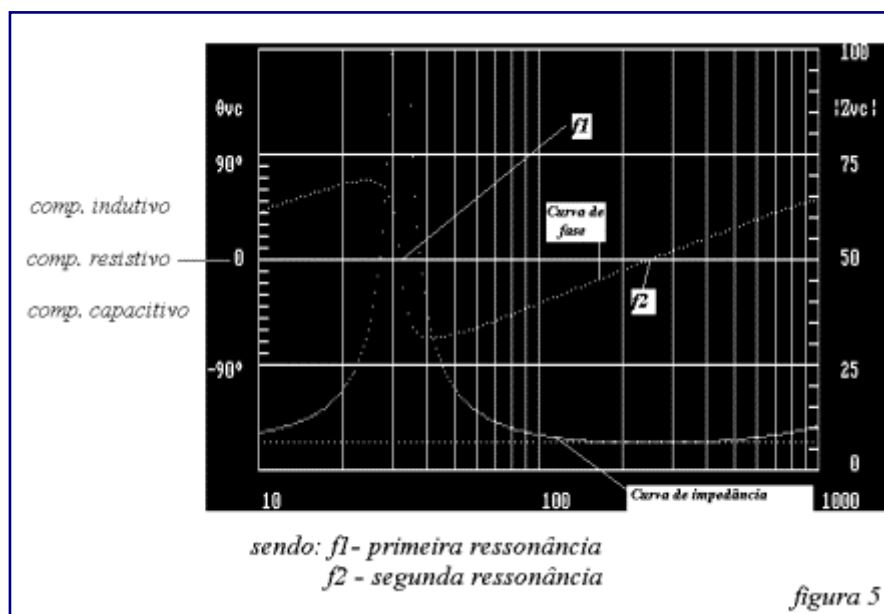
Observando o gráfico da potência instantânea verifica-se que a potência é ora positiva, ora negativa, de forma que sua potência média é nula. Já se definiu que potência positiva significa que a carga está recebendo energia do gerador que, nesse caso, é armazenada na forma de um campo elétrico (pois um capacitor não tem como dissipar energia como faria um resistor, ele na verdade só pode armazená-la).

Potência negativa, por sua vez, significa que a carga está comportando-se como um gerador, devolvendo a energia armazenada ao circuito (quando um dispositivo tem potência negativa, significa que ele está perdendo energia em favor de um outro dispositivo a ele conectado; naturalmente isto se dá na forma de uma transferência). Essa sequência repete-se duas vezes em cada ciclo da tensão do gerador (amplificador). Dessa forma, a energia é sempre trocada entre o gerador e a carga, não havendo portanto dissipação de potência (na verdade isso só ocorre na sua totalidade se o capacitor for ideal).

Todos os capacitores na prática apresentam alguma resistência interna, responsável por dissipar uma pequenina parcela da potência, aqui não considerada por ser extremamente pequena e não alterar a essência da argumentação). Nota-se que a potência num capacitor (ou indutor) continua sendo alternada e senoidal, porém tem o dobro da frequência das ondas de tensão e corrente que a originou.

➤ OS ALTO – FALANTES COMO COMPONENTES RATIVOS E IMPEDÂNCIA COMPLEXA;

Referindo-se novamente ao gráfico da curva de impedância e de fase de um alto-falante ao ar livre (fig 5), concentremo-nos na curva de fase que ao assumir ângulos negativos até -90° , denotará comportamento capacitivo, sendo puramente capacitivo se o ângulo for exatamente -90° (analogamente será indutivo para ângulos positivos).



Vê-se no gráfico que o ângulo assume vários valores não chegando, porém à exatamente -90° (ou $+90^\circ$). Isso revela a existência de uma parte resistiva, ou matematicamente, parte real, responsável pela geração da potência ativa, que dissipa energia.

A parte reativa, que em matemática chama-se imaginária (tal nomenclatura é utilizada na especialidade

matemática que trata dos chamados números complexos), é a responsável pela geração da potência reativa e não aproveita nenhuma energia fornecida pelo gerador, ou seja, não dissipa potência, mas apenas troca energia com o gerador.

Essa é uma das maneiras de definir-se impedância, que por sua vez, é um número complexo. Este possui uma quantidade real que representa uma resistência e uma quantidade imaginária, representando esta, uma reatância. A soma vetorial das duas partes do número complexo é conhecida como módulo da impedância.

Tipicamente em alto-falantes o módulo da impedância vale 4 ou 8 Ohms, para frequências próximas da segunda frequência de ressonância. Como conclusão, o alto-falante na maior parte das frequências é reativo, ou seja, existe impedância complexa (ângulo de fase diferente de zero), havendo portanto potência ativa e reativa coexistindo.

Já foi demonstrado que potência ativa dissipa energia, mas potência reativa somente a troca com o gerador. Assim sendo, o falante aproveita apenas uma parcela da energia fornecida pelo gerador, pois somente a parte resistiva da carga dissipa potência. Pode-se concluir que quanto mais a curva afasta-se do eixo zero, mais reativo será o alto-falante e mais energia será trocada com o gerador, em detrimento de uma cada vez menor parcela resistiva, que eficazmente aproveita potência.

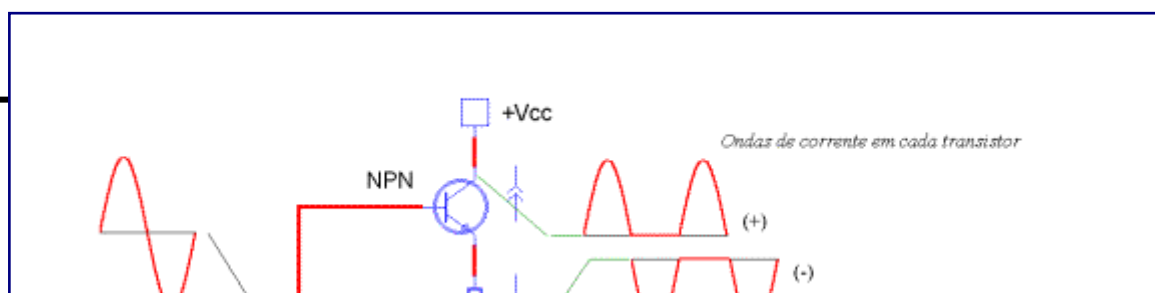
Esta é a chave para a compreensão deste artigo. Se como carga usar-se alto-falantes, sempre haverá uma parte dela trocando energia com o amplificador, exceto apenas nas frequências de ressonância em que o comportamento é puramente resistivo

➤ E COMO FICAM OS AMPLIFICADORES;

Exige-se portanto que o amplificador lide com essa troca de energia (não há como evitar) que, por sua vez, representa um esforço bem maior do que simplesmente fornecer potência, havendo a necessidade de absorver-se a energia da descarga do circuito reativo, que é a carga. É possível agora, analisar o que pode acontecer ao sinal de áudio e ao próprio amplificador.

• DISTORÇÃO

Os estágios de saída dos amps de grande potência quase sempre operam em push-pull e em simetria complementar (ou quase complementar em alguns circuitos), ou seja, existem dois "braços" ou "lados", cada um contribuindo com um semiciclo da onda de corrente e de maneira alternada (estágios classe B e AB), de modo a refazer o sinal de áudio na saída (figura 6). Se o circuito não tiver um projeto bem elaborado, o esforço adicional provocado pela absorção de energia que retorna da carga fará com que o sinal não seja coerentemente amplificado e a onda de saída não mais corresponderá à onda de entrada, pois apresentará distorção.



Os tipos de alterações geradas no áudio pelo amp mal projetado e/ou dimensionado que opere nessa condição, são difíceis de prever-se e muito sujeito às condições do uso/teste e da topologia do circuito, porém a presença de distorção harmônica deve ser considerada.

Pode-se verificar também que a alta impedância de saída (ou baixo fator de amortecimento) de alguns amps dificulta o desvio das ondas de descarga para um terra ac (+Vcc e -Vcc). A resistência interna alta faz com que a onda de descarga permaneça na saída do amplificador, sobrepondo-se à onda original e gerando "coloração" ou distorção.

Na figura 6, pode-se ver um exemplo simples de estágio de saída em classe B, e o desenvolvimento das tensões e correntes (apenas para ac). A incapacidade de lidar com o esforço (troca de energia) pode levar o amplificador a um estado de total incoerência de funcionamento. Oscilação é possível, bem como a queima do estágio de saída

• SUBDIMENSIONAMENTO

No caso da queima a causa pode ser simplesmente fadiga excessiva quando a etapa de saída atinge seus limites operacionais. Observe que essa situação de limites poderia ser alcançada com uma simples carga resistiva, bastando que para isso o amplificador fosse muito exigido ou que o valor ôhmico fosse muito baixo. Porém, a carga fortemente reativa fará com que essa extrema fadiga ocorra com muito mais facilidade, obtendo como resultado (muito provável) a possibilidade de queima do estágio de saída.

Esse quadro é comum em amps que foram dimensionados a partir de uma carga resistiva. Como foi visto, existe uma enorme diferença entre uma carga resistiva de 2 ohms e outra reativa, também com 2 ohms.

No caso da primeira o gerador apenas fornece potência, sendo submetido a um certo esforço, porém no caso da segunda existe, além desse esforço, outro adicional a que o estágio de saída terá que se submeter para dissipar a energia devolvida pela carga reativa, conseqüentemente a etapa aquecerá mais e exigirá um dimensionamento mais avantajado e cuidadoso.

Deve-se considerar também que em cargas resistivas o valor ôhmico (no exemplo 2W) é fixo, o que não acontece com cargas reativas (como alto-falantes), nesse caso, o módulo da impedância varia com a frequência (consultar a fig. 5), podendo atingir valores bem inferiores a 2W. Normalmente dimensiona-se um amp a partir de uma carga resistiva sem levar em consideração que falantes e caixas acústicas são extremamente reativos; o estágio fica assim subdimensionado e corre sério risco de queima; para o usuário esse seria um fato inexplicável, já que seu amp "queimou-se sozinho" sem nenhuma falha no seu sistema de caixas e talvez até em volume baixo ou mediano.

Lembre-se que somente a potência ativa gera trabalho aproveitável (som), porém a potência reativa existe e exige esforço do amplificador para dissipá-la.

• OSCILAÇÃO

Outro problema muito encontrado em amps de marcas não idôneas, é a oscilação. Novamente aqui o efeito é muito mais pronunciado em cargas reativas, devendo-se considerar a importância de serem feitos testes com esse tipo de carga no trabalho de desenvolvimento de um amplificador. Amps que em cargas resistivas não oscilam, podem perfeitamente oscilar em cargas fortemente reativas e provavelmente queimarão o estágio de saída (o que foi confirmado em testes).

• UMA ANÁLISE MAIS PROFUNDA

Quando um amplificador oscila ocorre uma sucessão de fatos que levam à destruição do estágio de saída. Embora não estejam ainda fundamentadas em sua totalidade, pode-se fazer algumas suposições bastante seguras do que afinal de contas acontece.

Uma teoria cativante sugere que a queima ocorre devido a um efeito conhecido como avalanche térmica, sugestão esta feita pelo Eng. Rosalfonso Bortoni. Para a justificativa, supõe-se um estágio de saída composto por apenas um par de transistores de potência operando em push-pull, sendo o exemplo válido também para estágios que contenham qualquer número de transistores, visto que são geralmente ligados em série e/ou paralelo.

O que acontece então é o seguinte: Quando o circuito oscila, a pastilha semicondutora dos transistores de saída aquece provocando um aumento da corrente de coletor IC, que deveria depender somente da tensão VBE (tensão entre base e emissor ou tensão de polarização). Quando a tensão VBE sobe, a corrente IC também sobe em resposta (e de maneira muito mais pronunciada pois: $IC = \text{corrente de base} \times \text{ganho do transistor}$). Com o aumento da temperatura, diminui a VBE requerida ou seja, a polarização que seria necessária e IC será bem maior do que antes, o que aquecerá ainda mais o transistor.

Tipicamente, num estágio de saída classe B ou AB, um aumento de 30°C na temperatura se não for compensado, será acompanhado de um aumento na corrente de coletor por um fator de 10! Com o transistor ainda mais quente IC será ainda maior quando ele for à região ativa o que novamente elevará sua temperatura. Este ciclo realimentado progredirá até que o transistor atinja sua máxima corrente de coletor admissível, e então finalmente será destruído (entrará em curto).

Observe que tal processo leva apenas alguns poucos segundos para acontecer. É interessante notar que os circuitos de compensação térmica presente em todos os amplificadores push-pull de grande potência classes B, AB, G e H não são suficientemente rápidos para realizar a compensação e assim evitar a queima. A causa é devido principalmente ao fato de serem as trocas de calor processos físicos essencialmente lentos. Esse fato perde importância em estágios de saída que empreguem tecnologia E-MOSFET, graças ao seu coeficiente negativo de temperatura.

• MAIS UM PROBLEMA

Um outro problema que aparentemente acompanha amps mal projetados e/ou dimensionados é o da condução simultânea, que pode surgir quando o circuito atinge os limites impostos pelo projeto e/ou pelos componentes. Mais uma vez, considera-se que amps mal projetados e/ou dimensionados sempre terão esses limites drasticamente reduzidos, pois num projeto de alto nível procura-se atingir o máximo desempenho da configuração adotada e dos componentes utilizados, o que naturalmente não ocorreria em um trabalho com menor respaldo técnico.

Convém lembrar que as cargas reativas sempre farão qualquer amp atingir seus limites antes das cargas resistivas. Para entender o que acontece, antes de mais nada é preciso saber que sendo o estágio de saída push-pull, operando em classe B, AB, G ou H, os transistores entram na região ativa um de cada vez (pelo menos considerando a maior parte do tempo). Em outras palavras, quando um está na região ativa o outro está na região do corte.

Engenheiros e técnicos podem enxergar de outra maneira: essencialmente os dois transistores têm o seu ponto Q (quiescente ou de operação) posicionado no extremo inferior da reta de carga ac, em VCE corte. Estágios classe AB posicionam o ponto Q um pouco acima de VCE corte, mas o funcionamento é semelhante. A tensão ac (sinal de áudio) aplicada às bases desloca o ponto Q para cima da reta de carga ac, porém, quando um deles é deslocado o outro permanece firme, próximo à VCE corte.

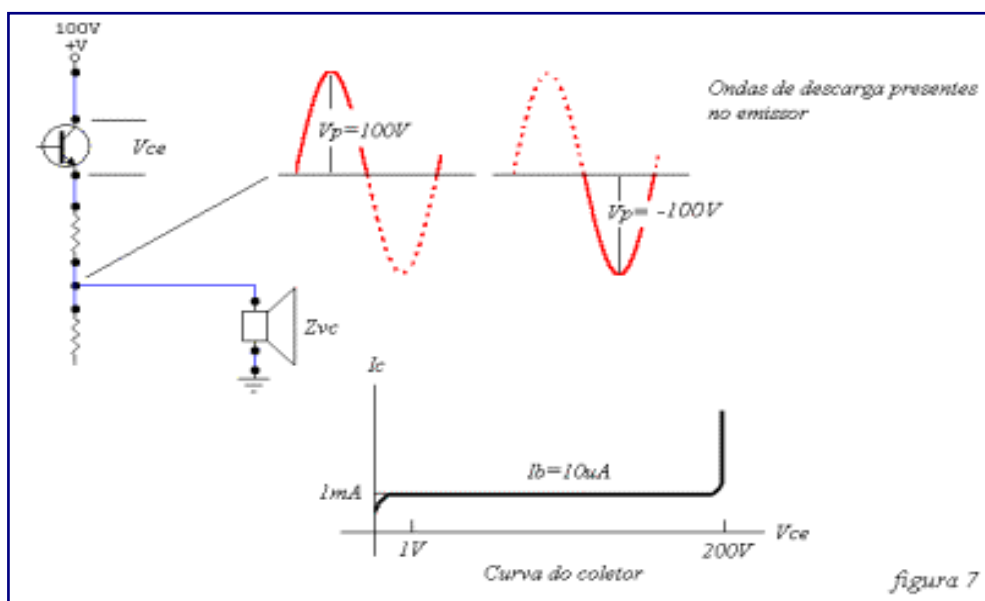
A condução simultânea é um fenômeno que surge principalmente pela falta de velocidade do circuito em processar sinais de frequência muito alta (acima de 20kHz), ou seja, há uma dificuldade do circuito

em fazer a transição entre um estado e outro (quanto mais rápido, mais difícil). Essa dificuldade, em primeira análise, introduz distorções do tipo de "crossover". Mas se a frequência do sinal for realmente alta o circuito poderá "confundir-se", por assim dizer e permitir que os dois transistores conduzam corrente ($I_C > I_{CQ}$) ao mesmo tempo, ou ainda que o ponto Q dos dois transistores posicionem-se bem acima de VCE corte num mesmo instante, podendo ser ambos destruídos caso IC seja suficientemente alta.

É interessante notar que isso pode acontecer até sem carga alguma, mas há razões sutis para crer que em situação de fadiga a ocorrência seja bem maior, possivelmente até diminuindo o valor da frequência necessária para que o circuito "confunda-se". Novamente, considera-se neste artigo que a carga reativa fará com que qualquer estágio de saída seja muito mais exigido. Para a justificativa dessa hipótese é considerado apenas um par de transistores de saída.

No entanto, convém lembrar que a explanação visa justificar fatos observados em testes de laboratório. A explicação a ser dada é a seguinte: Com o transistor no corte, seu VCE (tensão entre coletor e emissor) é o próprio valor da fonte. Considera-se como exemplo $V_{cc}=100V_{dc}$. Ao encontrar o semiciclo positivo da onda de tensão de descarga do circuito reativo (que é a carga) o emissor "enxerga" um potencial que varia desde zero até $+100V$, e para isso, supõe-se que a onda tenha um valor de $200V_{pp}$, o que é comum em alta potência. O VCE assim seria no máximo o valor da própria fonte que é $V_{cc}=100V$ ($100V-0V$) e no mínimo de $0V$ ($100V-100V$). Mas no semiciclo negativo da descarga a situação inverter-se-ia. O emissor veria no máximo $0V$ e no mínimo $-100V$ e como $100-(-100)=200$, o VCE teria o valor de $200V$ por um breve instante, perigosamente perto da região de ruptura, onde o funcionamento do transistor não é mais normal.

Ex: o VCE



máximo dos transistores 2SC3281/2SA1302 = $200V$. Esses modelos são muito empregados neste tipo de aplicação. Analisando um gráfico da IC (corrente de coletor) no domínio da VCE (figura 7), nota-se que a IC próxima da região de VCE máxima, sobe rapidamente, mostrando que poderia

assumir qualquer valor (este efeito é conhecido como multiplicação por avalanche), o que bastaria para provocar sua destruição, talvez não imediata, mas abreviaria consideravelmente sua vida útil. Com a queima de um transistor do par (curto), o outro também seria destruído.

Entretanto, se o transistor ainda não se destruir estará conduzindo fortemente, pois por um breve instante existirá corrente apreciável no diodo coletor (na verdade um pulso de corrente). Com o outro

transistor do par já conduzindo na região ativa, teríamos a condução simultânea independente do valor da frequência e que destruiria ambos, caso a corrente desenvolvida seja suficiente.

Convém lembrar que estágios classe B, AB, G ou H geralmente não são dimensionados para suportar uma condução simultânea, o que ocorre normalmente em estágios classe A, sendo estes, portanto, naturalmente imunes a esse problema. Para concluir, deve-se dizer que essa situação é aparentemente facilitada no caso do amplificador não possuir uma baixa resistência interna (baixa impedância de saída).

Observe que tanto a ocorrência de avalanche térmica (vista na edição anterior) como a de condução simultânea (nessa situação em específico) não passam de hipóteses ainda a serem confirmadas como fatos. Os sintomas são muito variáveis e sujeitos a condições, de maneira que não se pode ter muita certeza disso ou daquilo, no entanto ao que parece são as causas da queima de amps mal projetados e/ou dimensionados nas condições de extrema fadiga proporcionadas por uma carga fortemente reativa.

É claro que as pesquisas continuam, de modo que novas confirmações serão relatadas. É importante salientar que as duas causas descritas (avalanche térmica e condução simultânea) são teses, mas o mau desempenho e as queimas dos estágios de saída não, estes sim são fatos e ocorreram inclusive nos testes realizados.

(Nota: Em leitura de recente trabalho, do pesquisador norte-americano G. Randy Slone, comprovei tais teses. Slone afirma serem estes fenômenos fatos, mas não relata detalhes desses trabalhos, o que será objeto de pesquisa futura)

O subdimensionamento é também fato comprovado e mereceu inclusive fazer parte da dissertação de mestrado do Eng. Rosalfonso Bortoni (UFSC). Cabe aqui, portanto uma descrição das condições de teste a que foram submetidos alguns aparelhos comerciais e também circuitos experimentais e/ou de desenvolvimento.

- **Sinais aplicados:** ondas, senoidal e quadrada, na faixa de 1Hz à 100kHz.
- **Cargas utilizadas:** resistiva e puramente capacitiva com valores oscilando entre 1uF e 10uF.
Regime de trabalho: variando entre baixo e o máximo, respeitando as limitações próprias de cada aparelho.

• CAIXAS ACÚSTICAS E CROSSOVERS PASSIVOS

Porém, até agora neste artigo, considera-se como uma possível carga reativa prática somente o alto-falante ao ar livre. Na realidade a situação é ainda mais difícil, pois o esforço do estágio de saída é ainda maior quando se usam caixas acústicas com diagramas fasoriais mais complicados.

Levando-se em consideração que ninguém utiliza falantes ao ar livre, essa observação atinge todos os casos (exceto em situações onde se usam caixas closed-box do tipo fechada, pois o diagrama fasorial dessas caixas é semelhante ao de um falante ao ar livre). Caixas bass-reflex teriam pelo menos mais duas

freqüências de ressonância e por consequência mais duas inversões de fase em relação ao falante ao ar livre (ou caixas closed-box).

Caixas band-pass e caixas-corneta têm comportamento ainda mais complexo. Naturalmente o circuito equivalente de tais sistemas é algo bem mais complicado do que o apresentado na figura 2. Analogamente, falantes que possuem fator de qualidade total (Qts) mais altos, exigem mais dos amplificadores e expõem bem mais um eventual circuito mal dimensionado a falhas, pois são mais reativos do que outros possuidores de Qts mais baixos (normalmente um indicador de falantes de alta qualidade).

Assim se pode generalizar esse raciocínio para o sistema formado pela caixa+falante. Estes sempre exigirão mais dos amplificadores quanto maior for o fator de qualidade resultante do sistema (Qt), que por sua vez é função do falante e do alinhamento adotado. Estendendo ainda mais, verifica-se que caixas acústicas com crossovers passivos apresentam forte reatância adicional, devido aos circuitos sintonizados formados por redes de capacitores e indutores.

Os diagramas fasoriais dessas caixas seriam ainda mais complexos que se estivessem sem o crossover passivo. Naturalmente se este crossover passivo possuir alguma equalização ou Notch Filters, a situação tornar-se-á ainda mais problemática para o amplificador. O circuito equivalente desses sistemas pode ultrapassar a 16ª ordem

• CONCLUSÃO

Cargas reativas impõem uma dificuldade aos amplificadores de potência que cargas resistivas jamais poderiam fazer sob iguais circunstâncias.

As reativas, portanto exigirão um maior "preparo" dos amps, pode-se assim dizer, o que muitas vezes não acontece, pois os próprios fabricantes não as consideram no seu desenvolvimento e dimensionamento; também acabam por não usá-las nos testes finais com os seus aparelhos e muitos deles sequer têm conhecimento do fato (nem todos são assim, felizmente).

Observei através de testes em alguns amps comerciais, que em aparelhos de marcas "estranhas" todos os problemas descritos anteriormente são comuns, possuem estágios mal dimensionados e ao conectar-se uma carga reativa apresentam grande alteração de comportamento.

Viu-se que quando o circuito não é bem elaborado e/ou dimensionado, qualquer esforço requerido pela carga (como trocas de energia) fará com que o sinal não seja coerentemente amplificado, resultando assim numa distorção e até oscilação e queima, sendo uma das causas disso tudo, o fato de que, no período de desenvolvimento não se previu que a carga seria reativa e nos testes de prototipagem os amps não foram avaliados com cargas fortemente reativas, mas tão somente com cargas resistivas (se é que).

Mas na esmagadora maioria dos casos, isso acontece porque seus circuitos foram copiados de outros amplificadores. Frequentemente a topologia do circuito acaba sendo utilizada em aplicações e/ou condições para qual não foram previstos pelos projetistas originais, resultando assim num aparelho mal dimensionado e sujeito a problemas de todos os tipos já mencionados, principalmente à queima por fadiga excessiva (repetindo: isso chegou a acontecer nos testes).

Assim também como no desenvolvimento de amplificadores de potência estes fatos devem ser considerados pelos projetistas e tratados à parte. Muitos fabricantes testam seus amplificadores somente com cargas resistivas e por esse mesmo motivo mascaram o surgimento dos problemas. O projetista deve portanto submeter seu projeto a testes meticulosos, dentro e fora da faixa audível, com várias formas de onda e vários tipos de carga.

Da mesma maneira, os testes de longa duração feitos ao final da linha de montagem, normalmente em cargas resistivas, deveriam ser também realizados com cargas fortemente reativas, revelando com mais facilidade a existência de problemas (componentes e/ou montagem). O profissional de áudio e o público que afinal de contas são os maiores interessados agradecem.

Sempre bom lembrar: quando o usuário compra um equipamento, ele não está adquirindo simplesmente um monte de peças, e sim um trabalho de pesquisa e desenvolvimento. Se o fabricante deste equipamento não tiver condições de lidar com sua tecnologia (o que freqüentemente ocorre), o desempenho e por consequência o investimento serão prejudicados.

AMPLIFICADORES DE POTÊNCIA

Verifique se o módulo amplificador admite ligação Bridge, possui crossover ativo passa-alta e passa baixa e controle de ganho para cada par de canais;

Verifique sua distorção harmônica, distorção (THD) acima de 1% pode causar fadiga. Quanto menor este valor, menor será a distorção.

Verifique sua resposta de frequência, ela deve ser a mais plana possível entre 20Hz e 20.000Hz.

Verifique sua potência RMS, contínua a 4 Ohms (Root Mean Square) com baixa distorção. (30W RMS é o suficiente para sistemas para o dia a dia, 50W ou acima já servem para fazer um bom barulho fora do carro) Muitos fabricantes indicam a potência a 1 Ohms, algo que é muito difícil de ser utilizado, você precisaria de 4 falantes de 4 Ohms ligados em paralelo para chegar a essa impedância. Inviável para quem quer utilizar apenas um SubWoofers. Além de que muitos utilizam a potência PMPO (Peak Music Power Output) que é a potência de pico medido em frações de segundo que não servem para a música em geral.

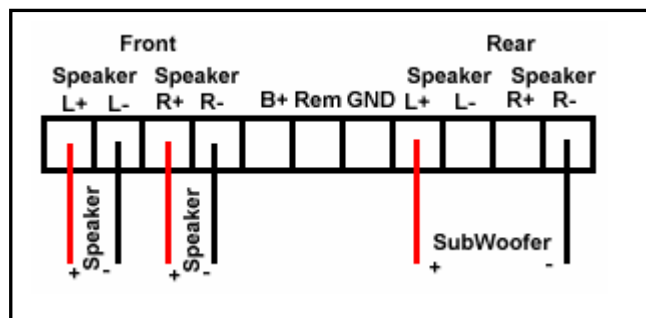
Verifique a impedância mínima que o amplificador aguenta. Normalmente fica em 2 Ohms em estéreo e 4 Ohms em bridge. Amplificadores de alta-corrente aguentam até 0,25 Ohms em bridge gerando cerca 1500 W, 3 a 6 vezes mais potência que a 4 Ohms.

Verifique sua relação Sinal/Ruído (S/N). Relação entre o nível de Sinal e o nível de ruído presente no som, os melhores amplificadores tem a relação acima de 100dB. Quanto maior esse valor, menos ruído seu amplificador vai gerar.

Você sabia que na maioria dos amplificadores do mercado são de classe AB e que metade da corrente que ele consome vira calor e a outra metade vira som e música ?

Atenção: Nos amplificadores Pyramid, devemos considerar apenas metade da potência total indicada, pois será a potência que realmente o usuário poderá usar sem ter sobreaquecimento e sem distorção excessiva. A potência total indica apenas a potência RMS em 2 Ohms com o "ganho" no máximo, esteja atento também na relação Sinal/Ruído que é muito baixo, cerca de 85dB (bons amplificadores possuem 100dB nessa relação, lembrando que adicionar 3dB significa dobrar a pressão sonora)

➤ EM QUE CONSISTE A LIGAÇÃO BRIDGE;



Consiste em ligar o positivo do SubWoofers na saída positiva do canal esquerdo e o negativo do subwoofer na saída negativa do canal direito, ou vice-versa.

Essa ligação não é aceita em módulos do tipo Booster

Em alguns amplificadores é necessário mover chaves e configurar crossovers. Verifique sempre seu manual. - Assim você tem uma saída mono com cerca de 3 vezes mais potência do que numa ligação comum em estéreo.

A maioria dos amplificadores aceita uma mínima impedância de 4 Ohms nesta ligação, mas em alguns amplificadores, chamados de alta corrente, podemos ligar uma associação de SubWoofers com 0,5 Ohms podendo chegar a até 10 vezes mais de potência fornecida pelo amplificador comparando com uma ligação comum em 4 Ohms (caso do Audio Art 100HC).

Em alguns amplificadores como o 4.6x da Rockford Fosgate é necessário inverter a polaridade do SubWoofers em relação à polaridade de saída do amplificador caso esteja utilizando crossover passa-alta para os falantes da frente e passa-baixa para o SubWoofers.

Verifique sempre o manual do amplificador para se certificar se ele aceita este tipo de ligação e como fazer a correta ligação em modo Bridge. - Geralmente os amplificadores MOS-FET trabalham com tensões de -28 Volts a 0 volts e 0 a +28 Volts na ligação estéreo (2 canais) e na ligação bridge (1 canal) a tensão varia de -28 a +28 Volts.

O SOM NO AUTOMÓVEL

➤ ALGUNS CONCEITOS;

O som reproduzido no interior de um carro é percebido de uma forma totalmente diferente do que seria em uma sala comum. Isto se deve, não só a fatores ambientais, como também psicológicos.

O automóvel, enquanto ambiente para audição de som, apresenta condições bastante estranhas: acelerações e desacelerações, súbitos trancos originados pela pavimentação (ou falta de...), um motor de combustão interna originando vibrações e interferências em quase toda a faixa audível, indo mesmo até a faixa de radiofrequência. O calor, o pouco espaço e a tensão disponível de 12 V nominais não permitem grandes vôos de imaginação por parte dos projetistas do equipamento eletrônico, sendo ainda que as localizações disponíveis para falantes são extremamente limitadas, dentro de um meio ambiente agressivo, com extremos de temperatura e umidade.

Por outro lado, as condições internas de acústica alteram significativamente o equilíbrio harmônico, dificultam a reprodução de baixas frequências devido à limitação volumétrica do habitáculo, acentuam demasiadamente as frequências médias-baixas, e as áreas envidraçadas originam focalizações indevidas nos agudos. Aparentemente, a quantidade de problemas sugere que não é possível a reprodução de alta-fidelidade no interior do automóvel.

No entanto, a audição no carro, apesar da aparente falta de lógica, é, para muita gente, bastante satisfatória, como tem demonstrado a popularidade dos concursos automotivos.

Como então explicar essa aparente contradição?

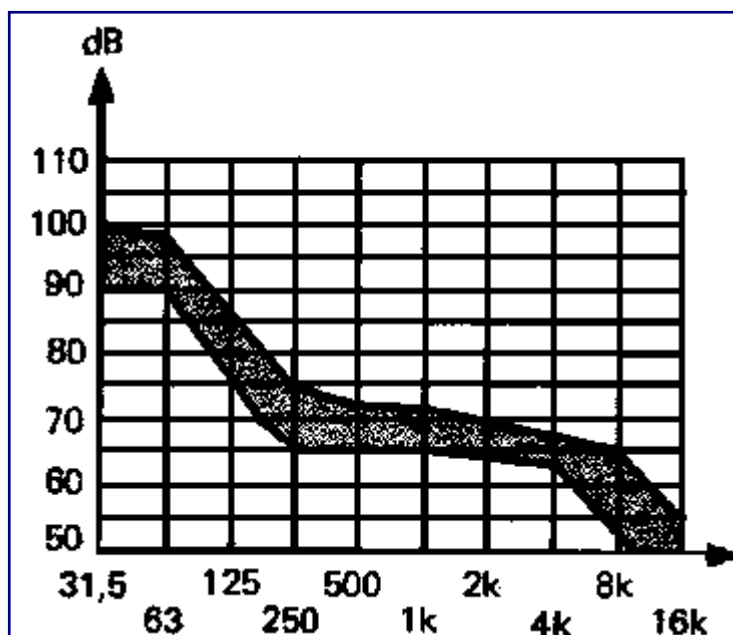
Talvez algumas motivações para o gosto pelo som no carro tenham sua origem em uma esfera de ordem mais psicológica que propriamente acústica, como por exemplo, a própria dificuldade da instalação de forma a superar desses obstáculos, ou mesmo a possibilidade de poder contar com as músicas que mais gostamos em um passeio descomprometido por um lugar agradável.

De qualquer forma, um pouco de conhecimento de acústica pode servir para tornar mais fácil a "afinação" do som do automóvel e contribuir para o enriquecimento do nosso universo audiófilo.

➤ CONDIÇÕES DE AUDIÇÃO;

O fator mais importante que modifica a percepção do som presente no ambiente do automóvel diz respeito ao ruído. Como ruído, entendemos todo o som originado por diversas fontes: o barulho externo do tráfego ao redor, dos pneus sobre a pavimentação, "grilos" na suspensão, vibrações do motor, vento, radiointerferência e muitos outros. O espectro de frequências cobertas pelo ruído vai desde os subsônicos, produzidos principalmente pelas vibrações do motor e pela ação de compressões e descompressões atmosféricas que ocorrem nos espaços das janelas abertas; entram na faixa de graves, de 20 a 100 Hz, originados pela ação do rolamento; na faixa de médios e agudos, pelo motor e assobio do vento.

Isto significa que, a menos que seu carro seja um "Rolls-Royce" trafegando a baixa velocidade e em uma pista de pavimentação perfeita, há grande probabilidade de que o ruído presente esteja em torno de 75 a 90 dBA, ou até mais. Este dado é citado pelas diversas revistas especializadas em testes de automóveis e foi comprovado pelo autor por meio de medições diretas com um analisador de espectro (RTA) em carros pequenos e médios.



A figura mostra os resultados obtidos em autos trafegando por volta dos 80 km por hora. Na oitava mais baixa, o nível de ruído presente gira em torno de 90 a 100 dB e, progressivamente, vai diminuindo para as frequências mais altas. Vale lembrar que em uma sala residencial típica o ruído varia em torno de 35 dB a 45 dB, nível que provavelmente só iremos encontrar para o carro para a oitava mais alta, acima de 8 kHz.

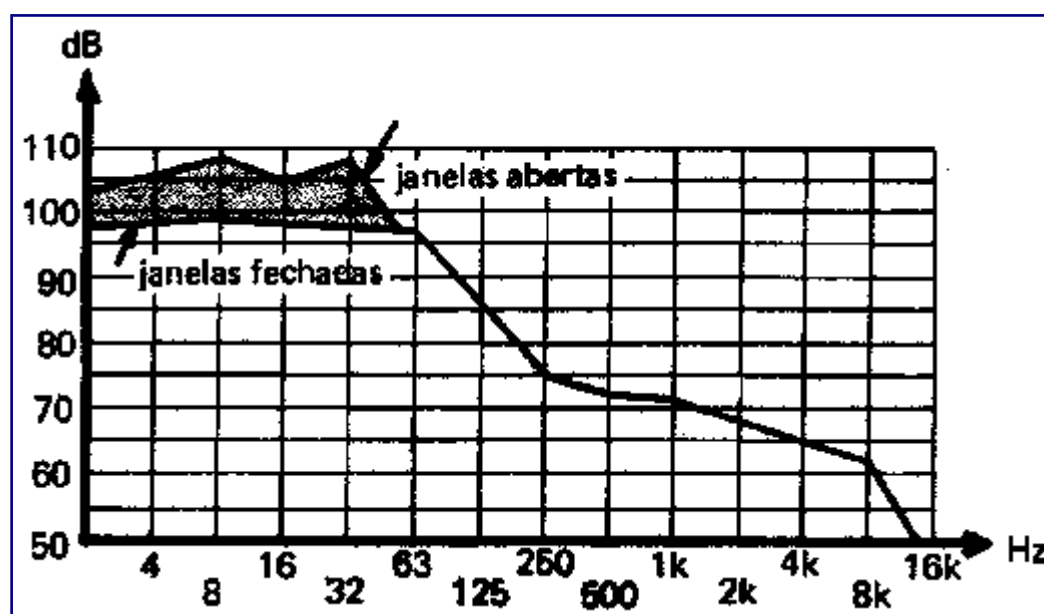
O intervalo presente entre máximas e mínimas, para cada faixa de frequências, deve-

se não só às condições extremamente mutáveis das fontes de ruído, como também aos diferentes graus de absorção acústica presentes nos diferentes modelos. Os carros maiores e mais luxuosos são os mais silenciosos.

Por outro lado, a presença de janelas abertas altera significativamente o espectro de ruído, especialmente para as duas oitavas inferiores, centradas em 31,5 Hz e 63 Hz,

O efeito notado é no sentido de aumento do nível, de 10 a 20 dB nessas faixas. O interessante é que isto é devido principalmente ao fato de uma janela aberta levar o ambiente a portar-se como um gigantesco

Ressonador de



Heimholtz. O vento soprando através da abertura produz um acoplamento acústico com o ar

presente no interior do habitáculo variando a pressão sonora em uma faixa limitada de frequências - até a faixa dos 60 Hz.

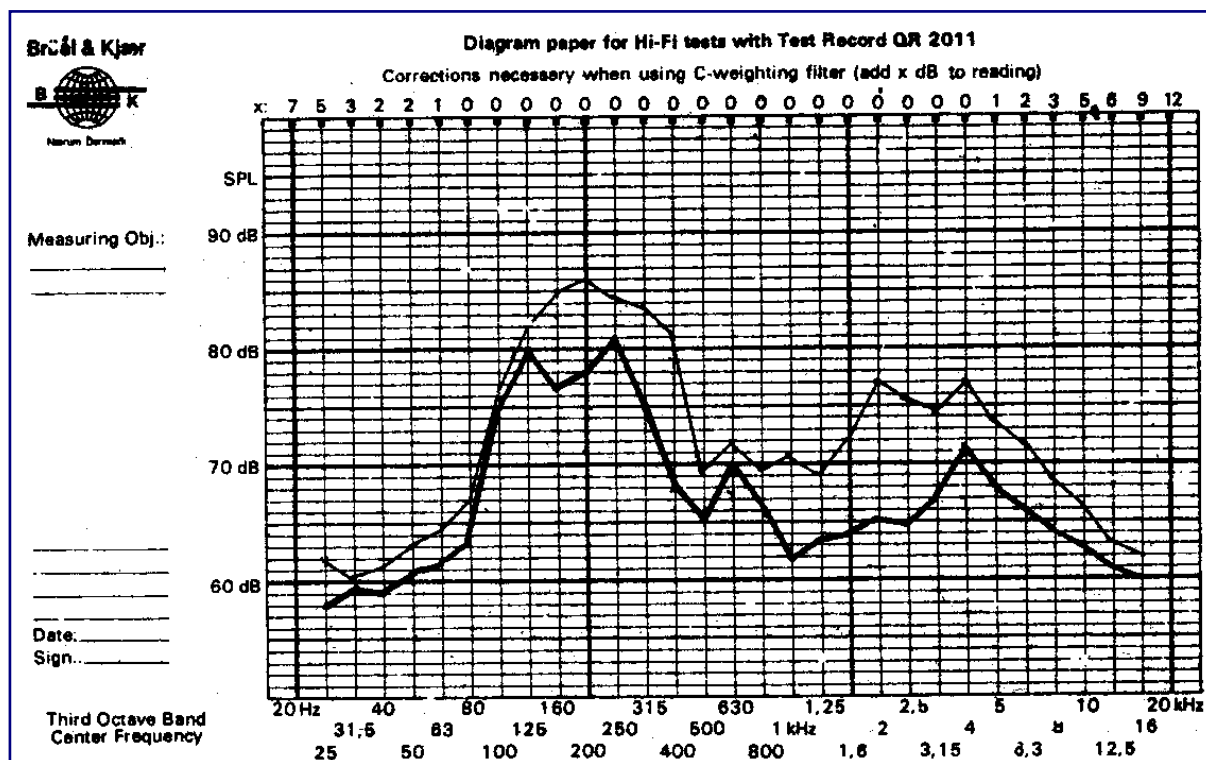
Do conjunto

de medições efetuadas pode-se observar que os níveis de ruído presentes no interior dos autornóveis são muito elevados e tendem a mascarar o som em diversas faixas de frequências, principalmente para as abaixo de 1 kHz, o que torna particularmente difícil a audição clara das frequências médias e graves.

Não surpreende, portanto, o fato de ser bem menos sensível a exigência de qualidade para o áudio automotivo, em relação àquelas impostas pelos audiófilos High-End, já que as próprias condições de audição dificultam a escuta crítica.

➤ **RESPOSTAS ACÚSTICAS DO HABITÁCULO;**

A forma de construção e o pequeno volume interno tornam a resposta em frequência característica do automóvel uma sucessão de picos e vales.



Uma série de medições em carros médios e pequenos originou as curvas mostradas. Vemos duas respostas típicas, a de baixo, para um carro médio, e a de cima, característica de carro pequeno. As medições foram feitas utilizando ruído rosa em autos com som tipo original, ou seja, sem o uso de amplificadores potentes ou equalizadores. Notamos de imediato a semelhança entre ambas (a correspondente aos carros de maior porte foi destacada ligeiramente para baixo para maior facilidade de visualização).

O aspecto mais notável é a ressonância de aproximadamente 10dB que afeta apreciavelmente os médios-baixos, seguida de uma segunda ressonância por volta dos 2 kHz, e uma terceira perto dos 5 kHz Estes efeitos são claramente notados na audição por serem bastante evidentes, e dão uma sensação que muitos apreciam de "realce" de graves e agudos, embora o som resultante não possa ser chamado, de maneira alguma, de alta-fidelidade.

Nessas condições, um equalizador gráfico de qualidade ajuda apreciavelmente, e é mesmo indispensável para quem quiser levar a sério o som automotivo. Sabendo-se que as curvas mostradas são

bastante comuns para diversos carros e correspondem ao uso de aparelhos de boa procedência, a mesma figura serve como sugestão para a primeira tentativa de "acertar" uma equalização.

Medições realizadas separadamente com o canal direito e o canal esquerdo não mostram diferenças significativas entre ambos. Isto, pela lógica, seria mesmo de se esperar, devido à simetria e ao pequeno volume do habitáculo. Assim sendo, os equalizadores estéreo com um só controle para ambos os canais são perfeitamente satisfatórios.

O tipo de acabamento do carro, especialmente aqueles mais luxuosos com tapetes de náilon ou buclê, e assentos altos, tendem a amortecer mais os médios e agudos diminuindo ligeiramente a potência aparente, mas o efeito não é por demais significativo.

Como se vê, o automóvel não é dos ambientes mais propícios para o áudio. Se o objetivo for conseguir um som de "alta-fidelidade", é necessário investir muito tempo e dinheiro - às vezes mais do que o valor do automóvel. Mas, para uma audição descompromissada, um equipamento mínimo pode ser puro divertimento e, com um pouco de boa vontade, é possível curtir uma boa gravação até com mais gosto do que no sistema hipersofisticado da sala de estar.

De certa forma, é instrutivo tentar entender como isso acontece.

Na verdade, para uma audição musical, os ruídos de fundo necessitam serem baixos o suficiente de forma que, com material de faixa dinâmica normal, as passagens de baixo nível sejam claramente audíveis. Seria de se esperar que, com valores de ruído da ordem de 80 dB, ao ouvir uma gravação a um nível máximo de 85 dB, só restassem 5 dB de dinâmica máxima, número que se obtém com uma simples subtração.

Ora, na prática não é isso que acontece, pois o ouvido é capaz de discriminar dentre os ruídos circundantes os sons que nos interessam, sejam eles provenientes da conversa do passageiro ao lado, ou da música. E isto ocorre por ser o espectro dos sons musicais tão diferente do espectro do ruído ou da conversa, que não há possibilidade de enganar o cérebro a respeito. Isso já não ocorre com um microfone, para o qual o cálculo aritmético feito acima é válido. Isto explica porque ao ouvirmos uma gravação que foi realizada ao vivo somos surpreendidos com ruídos que absolutamente não nos lembramos de ter ouvido - a diferença é o computador que temos embutido dentro de nós: o nosso cérebro.

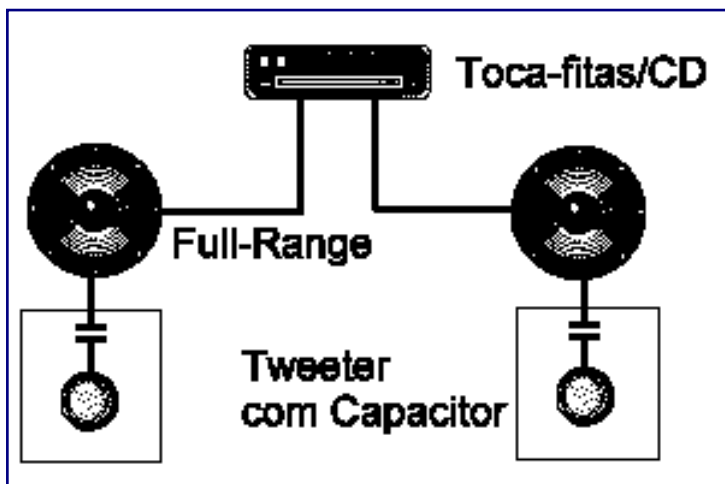
Como o ouvido lida não somente com um parâmetro, mas vários: resposta a frequência, localização, desvios de fase e outros - o cérebro pode recuperar a parte da música que estaria normalmente submersa no ruído circundante, e a partir de alguns poucos estímulos é capaz de construir uma imagem sônica bem satisfatória da música que desejamos ouvir, mesmo que seja a partir de um pobre radinho de pilhas.

No caso do carro, por outro lado, o pequeno volume de ar encerrado no habitáculo e a relativa proximidade dos falantes permitem obter uma dinâmica bem pronunciada, com níveis "subjetivamente" bem altos, embora uma medição de níveis reais não confirme essa impressão.

É esta capacidade maravilhosa da máquina humana que torna perfeitamente possível a audição de música no carro, às vezes até mais satisfatoriamente do que em ambientes mais apropriados.

• COMPONENTES MAIS UTILIZADOS:

A instalação mais simples possível (que é muitas vezes a do som original de fábrica), prevê o uso de um toca-fitas (ou toca-CD) e um par de falantes dianteiros, geralmente de 4 ou 5 polegadas montados nas portas, dois tweeters conectados com capacitores, e outro par full-range nas laterais traseiras ou no painel traseiro.



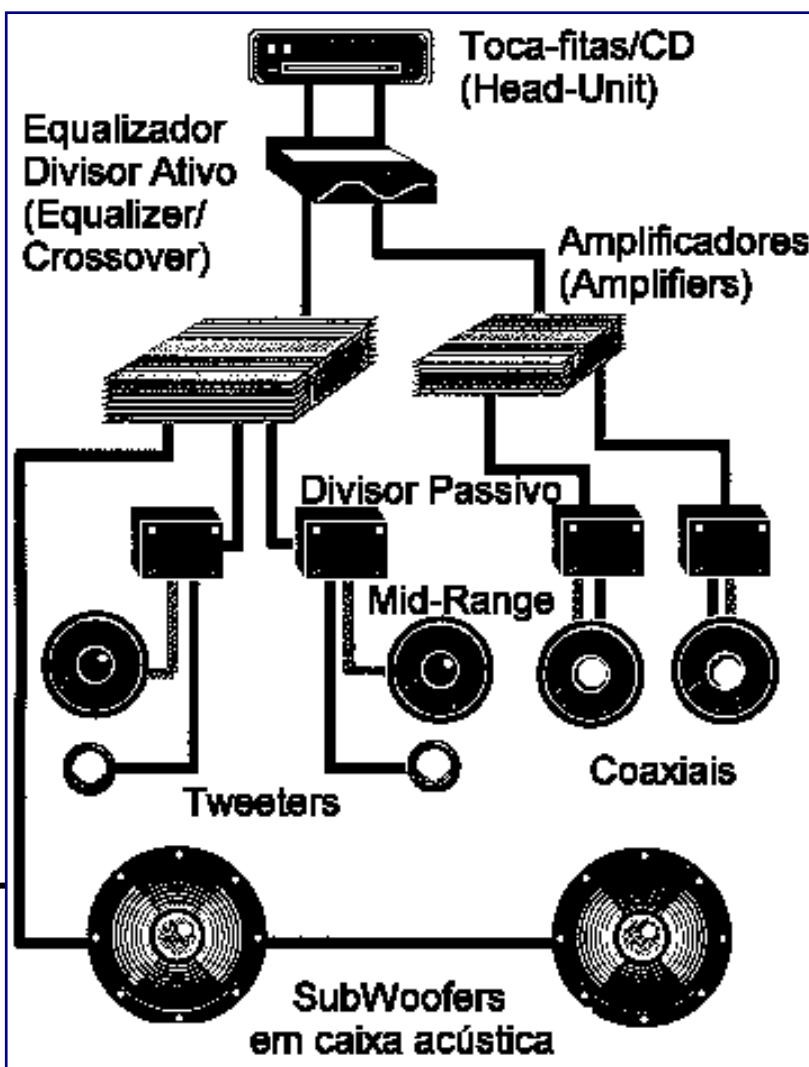
A primeira medida tomada pelo dono do auto geralmente consiste na troca do toca-fitas por um toca-CD, com melhor fidelidade e mais potência.

Mas o potencial de fidelidade do CD-player só pode ser alcançado com o emprego de alto-falantes melhores e mais potentes que os originais, que comumente são de baixa qualidade. A troca desses consiste no segundo passo para a melhoria do som automotivo.

A partir desse ponto, o aperfeiçoamento da fidelidade sonora exige um

investimento bem maior, com a aquisição de módulos amplificadores, subwoofers, divisores de frequência ativos, equalizadores e outros componentes sofisticados.

Por exemplo, a adoção de um subwoofer já implica em um módulo amplificador com potência



suficiente e um divisor de frequência eletrônico com saída mono (muitas vezes já incorporado ao módulo).

Para o aumento da potência do sistema, vários módulos amplificadores podem ser conectados a centrais de processamento do sinal, empregando equalizadores, crossovers ativos, decodificadores de ambiência, e outras sofisticações.

➤ ALTO FALANTES;

Os alto-falantes empregados em sonorização podem ser divididos em grupos, conforme o espectro de frequências que manejam melhor.

Naturalmente, seria desejável que um único tipo de alto-falante reproduzisse com fidelidade e volume todas as frequências.

Na prática, os falantes de graves tendem a serem grandes e pesados para suportar melhor a potência exigida, enquanto aqueles voltados para a reprodução dos agudos devem ser pequenos e leves.

Até cinco grupos diferentes de frequências podem ser definidas para a reprodução dos alto-falantes:

- **SUBWOOFER:** São aqueles projetados para as frequências mais baixas, comumente entre 20 Hz a 120 Hz. Tem grande capacidade de absorção de potência, alta excursão do cone, bobinas longas.
- **WOOFER:** Reproduzem de 20 Hz a 3.000Hz. Embora os woofers possam responder de 20 Hz a até cerca de 3000 Hz, em um sistema empregando sub-woofers a sua resposta é limitada às frequências de 50 Hz até 500 Hz. Tem boa capacidade de absorção de potência e podem em sistemas mais simples, como por exemplo os de duas vias, reproduzirem a faixa completa até 300 Hz.
- **MID-BASS:** Empregados entre 80 Hz e 500 Hz. São muito usados em sistemas multi-vias com divisores ativos, em portas e tampões traseiros.
- **MID-RANGE:** Respondem de 300 Hz a 4.000 Hz. Rotineiramente usados em sistemas de tres ou mais vias, podendo ser fechados, abertos ou tipo domo. Definem a qualidade do som, já que reproduzem a faixa de frequências com maior presença e que necessita de mais definição. Nessa faixa está a maioria dos instrumentos que reproduzem a melodia e também a voz humana.
- **TWEETER:** Emitem os agudos, de 3.000 Hz a 20.000 Hz. Normalmente bastante diretivos, são fundamentais na localização da imagem sonora. Podem ser construídos com cone, domo ou utilizando cristais piezoelétricos.

Os falantes mais comumente encontrados são do tipo eletrodinâmico., pois transformam a energia elétrica recebida do amplificador em anergia acústica por meio de um transdutor mecano-eleto-acústico constituído de uma bobina móvel imersa em um campo eletromagnético mantido por um ímã permanente.

As principais características de um falante eletrodinâmico são:

- **RESPOSTA EM FREQUÊNCIA:** Corresponde à curva da pressão sonora emitida pelo falante medida em relação ao conjunto das frequências audíveis. As frequências são eletricamente emitidas com a mesma potência nominal, de 20 Hz a 20.000 Hz. Dependendo da melhor resposta do alto-falante este é classificado como sendo pertencente a um dos grupos já definidos.
- **IMPEDÂNCIA NOMINAL:** É a resistência característica da bobina do alto-falante somada ao valor da capacitância/indutância, definido como o valor mínimo encontrado logo acima da ressonância em baixa frequência.
- **RESISTÊNCIA:** Definida como a resistência ôhmica do fio de cobre da bobina.
- **POTÊNCIA:** O parâmetro mais procurado e menos conhecido das especificações. Normalmente, e pela Norma Brasileira NBR 10303, a Potência Nominal é definida como a potência máxima em watts RMS (Root Mean Square) aplicável ao alto-falante no período mínimo de duas horas dentro da faixa de frequências para a qual foi construído.

A Potência Musical surgiu como uma definição padronizada pelo IHF - Institute of High Fidelity americano como uma forma de incorporar o programa tipicamente musical em vez de sinais senoidais às medições. É considerada como sendo em torno de 2 vezes a potência RMS.

Já a Potência Musical de Pico Operacional - PMPO, corresponde ao pico do programa musical. É uma forma de produzir números inflacionados para impressionar o consumidor e geralmente corresponde a quatro vezes a Potência RMS, embora alguns fabricantes cheguem a números de até dez vezes. Não tem nenhuma confiabilidade.

- **SENSIBILIDADE:** Corresponde ao nível de pressão sonora, em dB, emitido pelo falante com um watt RMS e a um metro de distância. Serve para identificar os alto-falantes mais eficientes e que aproveitam melhor a potência dos amplificadores.

- **PARÂMETROS DE THIELE-SMALL:** Identificam para o projetista os dados necessários para o cálculo do volume e do tipo caixa acústica mais aconselhável para um dado falante.

➤ DIVISORES DE FREQUENCIA;

Os alto-falantes empregados

Cada grupo de falantes suporta somente as frequências para as quais foi construído.

Dependendo da sofisticação, os sistemas automotivos podem empregar de duas até as cinco vias definidas acima.

Para a separação das frequências de modo a que cada alto-falante receba somente as que é capaz de reproduzir com maior fidelidade e menor distorção emprega-se o divisor de frequências - "crossover".

- **PASSA-BAIXAS:** filtros que rejeitam progressivamente as frequências acima de determinado valor. São usados nos subwoofers e woofers.

- **PASSA-ALTAS:** rejeitam as frequências mais baixas. Empregados nos tweeters.

- **PASSA-BANDA:** rejeitam as frequências abaixo de um certo valor e as mais altas acima de um outro valor maior que o primeiro. Usados nos mid-range e mid-bass.

Os divisores podem ser **PASSIVOS** - os mais comuns - ou **ATIVOS**.

Os passivos são formados por capacitores e indutores conectados de forma a aceitar determinadas frequências e rejeitar outras. São ligados após o amplificador e antes do alto-falantes.

Os divisores ativos são mais dispendiosos e empregados em sistemas multi-vias com muitos amplificadores, bem como em sub-woofers para o aproveitamento e controle integral dos graves. Os divisores ativos proporcionam controle total do volume de cada faixa, pontos de transição variáveis e são ligados entre o gerador de som com saídas de baixo nível e o(s) amplificador(es) de potência.

➤ ESCOLHA E MONTAGEM (PARTE II);

- **AMPLIFICADORES:**

Para um som realmente potente e com fidelidade é indispensável a adoção de amplificadores separados para grupos de alto-falantes - módulos de potência.

No mínimo, quando são empregados sub-woofers, é essencial o uso de um divisor/somador de frequências acoplado a um módulo de potência.

Os amplificadores podem ser encontrados nas seguintes configurações:

- **AMPLIFICADORES COMUNS**, como os embutidos nos toca-fitas e toca-CDs: apresentam potência limitada pela tensão contínua de 12 V fornecida pelo sistema elétrico do carro. São adequados a sistemas de baixa potência e não comportam o emprego de sub-woofers.

- **BOOSTERS**: São estágios transistorizados de potência, geralmente ligados em ponte (bridge) e que operam na saída dos amplificadores comuns de toca-fitas e CDs. Apresentam relação sinal-ruído deficiente e faixa de frequências limitada.

- **AMPLIFICADORES DE FONTE CHAVEADA**: transformam a tensão de corrente contínua da bateria em uma tensão oscilante em alta frequência e conseguem uma potência de áudio bem mais elevada.

Quando da escolha de amplificadores, certamente o que a maioria dos consumidores faz é comparar especificações de potência. A questão que surge é até que ponto as potências especificadas pelos fabricantes são diretamente comparáveis entre si, já que normalmente não são seguidas as normas internacionais para essas medições.

Como regra, só podem ser comparadas as potências designadas em watts RMS, a quatro ohms, medidas na integridade da faixa audível e dentro de uma mesma quantidade máxima de distorção.

Apesar da capacidade muito elevada de auto-ilusão de que o cérebro humano dispõe, é necessário que os aparelhos utilizados sejam de qualidade pelo menos aceitável sob certos parâmetros objetivos. No entanto, apesar dessa capacidade, não é lícito esperar que o consumidor aceite qualquer produto, sem padrões mínimos de qualidade. Infelizmente em nosso país a defesa dos direitos do consumidor ainda continua precária, o que faz com que em muitos setores do comércio verdadeiras barbaridades sejam empurradas ao consumidor indefeso.

Particularmente no áudio automotivo o abuso é mais visível e constante, especialmente no anúncio de potências. Em um teste real o aparelho de "100 W" e resposta de "20 Hz a 50 kHz", apresenta um desempenho muito aquém de qualquer expectativa. Muitas vezes, ao técnico abrir os inúmeros lacres e rebites estrategicamente colocados, vai descobrir, no "power" de cem watts, dois simples transistores acoplados a um transformador bastante modesto.

Ora, uma simples conta pode mostrar que é impossível tirar mais que 6 W reais de uma fonte de corrente contínua de 12 V ao empregar um estágio simples, como também um transformador modesto não pode ser de "banda larga" (mais adiante mostraremos o porquê dessas afirmações). Estas limitações só podem serem superadas por um projeto sofisticado usando a tecnologia de fonte chaveada.

No entanto, o emprego desses expedientes é tão corriqueiro que já não causa mais estranheza. Assim, o booster de 8 WRMS é anunciado como de 80 "watts", e quem contesta?

O problema principal discutido aqui não é se o ouvinte necessita (ou não) de "tantos watts", mas se o consumidor não estará sendo lesado de alguma forma ao comprar potências que não existem, ou até que ponto o fabricante mais consciencioso, que não anuncia "watts de mentira", não acaba se prejudicando com a sua honestidade.

Desta forma, qualquer teste objetivo em muitas marcas de componentes para o carro produz um conjunto de problemas sem resposta. As especificações medidas ficam muito aquém do anunciado, e aí é que surge a dúvida: para que servem os números, e como acabar com a manipulação das especificações?

Por exemplo, a potência de amplificadores reforçadores, ou mais popuiarmente, "boosters", que trabalham com a tensão disponível do sistema bateria/alternador, ou seja, aproximadamente 14,3 V. Assumindo algumas simplificações, isto significa que só é possível uma excursão máxima de 14,3 V pico-a-pico, o que é equivalente, em volts RMS:

$$\text{TENSÃO RMS} = \text{Tensão pico-a-pico} / (2 \times \text{Raiz quadrada de } 2)$$

$$\text{Tensão RMS} = 14,3 / 2,82 = 5,07 \text{ Volts}$$

Empregando-se um alto-falante de 4 ohms, isto corresponde a uma potência máxima de:

$$\text{Potência} = (\text{Tensão RMS})^2 / \text{Impedância do alto-falante}$$

$$\text{Potência máxima} = (5,07)^2 / 4 = 6,42 \text{ watts}$$

Isto é o máximo que se consegue retirar de potência dada uma fonte de tensão contínua constante, desprezadas as perdas internas ao amplificador - na realidade o disponível seria ainda menos.

Embora esse número não pareça muito brilhante, é o fisicamente realizável. Uma forma de "disfarçar" este fato consiste em especificar a potência utilizandó o valor pico-a-pico, o que certamente não é correto, e torna a especificação inteiramente arbitrária, ainda que mais atraente para efeitos de "marketing".

Na prática, para conseguir-se mais potência, usam-se dois amplificadores ligados em ponte para o mesmo canal, sendo o falante conectado entre os terminais "vivos", configuração essa conhecida como "BTL" ("Bridge Transformer Less"). Este tipo de ligação proporciona 2 x 14,3 V pico-a-pico, o que, empregando as mesmas fórmulas anteriores, resulta em 25,7 WRMS em 4 ohms. E aí fica limitada a potência máxima dos amplificadores de toca-fitas ou Cds e de boosters para carro.

Com o advento dos modernos módulos amplificadores de fonte chaveada, o panorama se altera significativamente. Livres da limitação da tensão contínua do sistema, esses aparelhos conseguem números muito elevados, rivalizando até com os melhores aparelhos para audição doméstica, tanto em potência quanto em fidelidade.

Esses módulos podem ou utilizar os chamados inversores DC/AC e retificar a tensão em níveis mais elevados, ou usar uma tecnologia mais sofisticada com transistores do tipo MOSFET chaveando a fonte. Para a alimentação de sinal usam a saída do tipo Pré-Out, não amplificada, disponível nos melhores geradores de som e apresentam número de canais desde um único (para sub-woofer) até quatro ou mesmo seis canais.

Portanto, não dá para ter ilusões: um bom amplificador custa caro, porém vale a pena procurar o melhor, não só pela qualidade, como também pela flexibilidade, pois muitos dispõem de divisores eletrônicos de frequência acoplados, bem como filtros para subwoofer e até mesmo facilidades para equalização.

➤ CABOS E CONEXÕES;

Um ítem importante, mas nem sempre bem equacionado, refere-se ao emprego de cabos apropriados para o áudio.

Na verdade, os cabos são o componente de menor custo em uma instalação, porém geralmente são sub-dimensionados. Imagine os cabos como vias para a passagem do som: se forem de bitola insuficiente o "trânsito congestionado", ou seja, de pouco vale o melhor gerador de som, amplificador e alto-falantes.

Os cabos são fundamentais em duas fases distintas: no transporte de energia da bateria para a aparelhagem e no circuito de áudio propriamente dito, tanto de alto nível (dos amplificadores aos alto-falantes) quanto de baixo nível (do gerador de áudio ao amplificador).

Na etapa de alimentação de força, é imprescindível a boa qualidade do isolamento e da condutibilidade do núcleo do cabo. O isolamento normalmente é de PVC e os melhores cabos vem com fiação de cobre de têmpera extra-mole, que garante flexibilidade e cobre mais puro.

Os cabos de sinal de baixo nível - conhecidos como RCA, pelo tipo de conector geralmente utilizado - conduzem um sinal bastante fraco, de 100 mV até cerca de no máximo 4 volts, com impedância comumente encontrada de 10.000 ohms. São sinais muito suscetíveis ao ruído induzido externamente e por isso a

blindagem é um ponto chave de sua qualidade. Essa blindagem é realizada por meio de uma malha fina metálica e que normalmente é aterrada na saída do pré-amplificador

Por último, os cabos de alto-falantes, que conduzem os sinais de alto nível, já amplificados, são feitos com fios finos de cobre de alta pureza e devem ser bem dimensionados para não desperdiçar a potência gerada pelos módulos e prejudicar o fator de amortecimento do sistema.

Uma forma simples para não arriscar com a perda provocada por cabos mal dimensionados é nunca utilizar bitolas menores que um mm² (17 AWG) mesmo para tweeters, e procurar seguir uma tabela prática.

WRMS	<50	100	150	200	>200
Sub-Woofer	1,50	1,50	2,50	4,00	6,00
Mid-Bass	1,00	1,00	1,50	2,50	4,00
Mid-Range	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50
Tweeter	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

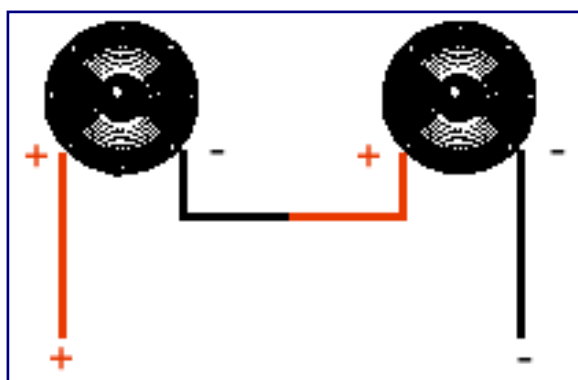
Outro ponto bastante crítico são as conexões. Em um ambiente agressivo, submetido a constantes vibrações, as conexões oxidam-se e tendem a soltar-se facilmente. É importante rever periodicamente o estado dos conectores utilizados, particularmente os de sinal de baixo nível, fonte habitual de ruídos e interferências.

➤ IMPEDÂNCIA E LIGAÇÕES DE FALANTES;

As saídas de áudio dos módulos de potência tem como principal característica de compatibilidade a chamada impedância. A impedância apresentada por um aparelho ou circuito elétrico, define a capacidade de oferecer uma maior ou menor dificuldade à passagem de corrente alternada e varia com a frequência da corrente alternada aplicada.

O módulo de potência é projetado para suportar uma impedância mínima, abaixo da qual ele corre o perigo de sobreaquecimento, podendo entrar em curto circuito e destruindo-se a si próprio e aos alto-falantes nele ligados.

Dessa forma é importante, ao efetuar ligações de alto-falantes entre si, calcular a impedância resultante. As ligações de conjuntos de alto-falantes em série ou paralelo apresentam diferentes valores de impedância em relação aos falantes tomados isoladamente.

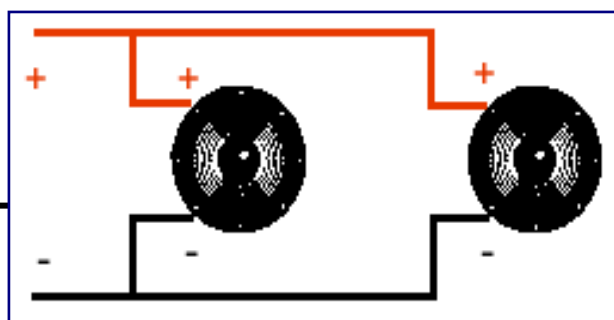


A ligação em série caracteriza-se por unir os terminais dos alto-falantes como em uma cadeia: o negativo de um ligado ao positivo do próximo, e a potência ligada ao positivo do primeiro e ao negativo do último.

Para a ligação em série a impedância da combinação consiste na soma simples das impedâncias dos diversos falantes. Para dois falantes de quatro ohms ligados em série escrever-se-ia assim:

$$\text{IMPEDÂNCIA DA LIGAÇÃO SÉRIE} = R1 + R2 = 4 + 4 = 8 \text{ ohms}$$

Já na ligação em paralelo os positivos do alto-falantes são ligados juntos e os negativos da mesma forma. O módulo de potência tem seu borne positivo ligado aos positivos dos falantes unidos, e o seu borne negativo ligado da mesma forma aos negativos unidos dos falantes.



A impedância da ligação paralela é de cálculo mais complicado: o inverso da

impedância resultante é a soma do inverso das impedâncias dos falantes isolados.

Impedância da ligação paralela: $1 / [(1/R1)+(1/R2)]$, ou seja:

Impedância da ligação paralela: $1 / (1/4)+(1/4)] = 1 / 0,5 = 2 \text{ ohms}$

Portanto a impedância resultante é sempre menor que a impedância dos falantes isolados. Por esse motivo é bastante perigoso ligar vários falantes em paralelo, principalmente quando forem diferentes: impedâncias diferentes e mesmo potências diferentes podem facilmente causar a queima dos módulos de potência.

Também é possível associar falantes em série/paralelo. Nesse caso o cálculo é feito por grupo. Por exemplo, para dois grupos em série:

IMPEDÂNCIA DO GRUPO A = $R1 + R2 = 4 + 4 = 8 \text{ ohms}$

IMPEDÂNCIA DO GRUPO B = $R1 + R2 = 4 + 4 = 8 \text{ ohms}$

A associação em paralelo do grupo A e B fica assim:

IMPEDÂNCIA DOS GRUPOS, sendo A paralelo com B = $1 / (1/8)+(1/8)] = 1 / 0,25 = 4 \text{ ohms}$

➤ **ESCOLHA E MONTAGEM (PARTE III) ;**

• **LOCALIZAÇÃO DE FALANTES**

Um carro é, na verdade, um ambiente altamente vibracional, construído de chapas de metal que apresentam ressonâncias próprias e com poucos lugares apropriados para um alto-falante, que estará constantemente sujeito a largas variações de temperatura e umidade. Por causa destas mesmas condições ambientais, que são ainda somadas às vibrações, os falantes comuns para caixas acústicas não resistem muito tempo quando instalados em automóveis.

A temperatura no painel de um o carro exposto ao sol de verão pode chegar aos 70o C, o que está muito próximo da condição de escorrimento das colas comumente empregadas em "woofers" e "tweeters", acelerando uma provável falha mecânica dos mesmos quando utilizados prolongadamente nessas condições.

Da mesma forma, a variação rápida de temperatura entre o dia e a noite, ou outras condições que se assemelhem a um choque térmico, podem ocasionar o surgimento de tensões diferenciais na suspensão, descentrando a bobina e tornando imprestável o falante.

A formação de vapor e sua posterior condensação no interior de um carro fechado, fenômeno que ocorre com a variação de temperatura ambiente, é um aspecto que não pode ser esquecido, já que a água formada nessas condições irá certamente prejudicar o material do cone, geralmente de caráter higroscópico, o que justifica o emprego de materiais sintéticos de resina plástica, que não sofrem desse efeito. Também falantes montados em portas ficam geralmente sujeitos a serem molhados no caso de falha nas guarnições do vidro.

Conforme mencionamos anteriormente, além desses problemas todos, não existem muitos lugares para a colocação de falantes, especialmente nos carros mais compactos - basicamente são usadas as portas, os painéis laterais traseiros, o chamado "pezinho" (kick panel) e o porta-bagagem traseiro (tampão ou "bagagito). Certamente o mais simples e o tipo de instalação que produz mais graves, particularmente para os carros que dispõem de porta-malas amplo, é a instalação no painel porta-bagagem traseiro.

O aproveitamento do volume interno do porta-malas torna a som mais "cheio"; no entanto, também ajuda a criar ressonâncias nos médios -baixos, conforme veremos mais adiante. A melhor solução para isso é a construção de caixas acústicas para sub-woofers, empregando módulos amplificadores separados e crossovers ativos.

Normalmente o som musical de que gostamos e estamos acostumados a ouvir, provém do hemisfério frontal, raramente dos lados ou dos fundos (exceto para os músicos, que fazem parte Integrante do acontecimento musical e, portanto, estão imersos e rodeados pelo som), o que torna meio estranho uma audição em carro com falantes, inclusive "tweeters", montados no painel traseiro.

Em instalações feitas dessa forma não é possível falar em formação de imagem estéreo, inclusive tornando o estéreo sem sentido, excetuado o de puro caráter lúdico. A partir dessa constatação, a única maneira de formar corretamente a imagem seria virar-se totalmente para trás nos bancos, o que naturalmente, além de não ser prático ou confortável, não pode ser feito com o carro em movimento (para quem fizer questão de experimentar, não esquecer de inverter os canais esquerdo e direito).

A montagem dos alto-falantes nas portas fornece um efeito bem mais satisfatório, embora a montagem seja mais complexa. É necessário evitar que o mecanismo de movimento dos vidros acabe sendo interceptado pelos falantes, fato que, se não observado, causa óbvias consequências. Da mesma forma, outras barreiras impedem a livre escolha e limitam bastante o espaço disponível. Adicionalmente, é desejável que os falantes permaneçam acima do nível dos bancos para melhor dispersão dos médios e agudos, embora, mesmo assim, as pernas dos passageiros e motorista ajam como barreiras absorvendo as frequências mais altas.

As instalações mais habituais tomam as seguintes medidas:

- Ligação dos canais lateralizada, nunca frente-traseira, para preservar a imagem estéreo;
- Mid-Range e Mid-Bass nas portas e pezinhos;
- Tweeters no painel, muitas vezes direcionados para o alto, de forma a aproveitar a possibilidade de reflexão no vidro dianteiro. Alguns instaladores direcionam "cruzado": esquerdo dirigido ao teto do lado direito e vice-versa;

- Os Tweeters e Médios devem permanecer o mais próximos entre si, de forma a preservar a formação da imagem estéreo. Nesta medida, os falantes coaxiais são os mais recomendados e geralmente apresentam uma imagem excelente, graças ao drivers concêntricos.

- Na traseira, Mid-Bass e tweeters nas laterais e subwoofer no tampão ou porta-malas quando colocado em caixa acústica. Os tweeters traseiros em volume mais baixo (-3 dB), servindo tanto para ambiência como para os passageiros atrás;

Quando utilizado canal central, tweeter (opcionalmente Mid-Range) no retrovisor dirigido ao vidro dianteiro;

• AJUSTE E EQUALIZAÇÃO:

O ajuste do sistema é uma tarefa das mais importantes, pois como já dissemos anteriormente, de nada vale equipamentos caros se não são corretamente aproveitados.

Antes de iniciar qualquer tipo de ajuste, é necessário conferir se o equipamento está em ordem e em perfeito funcionamento. Todos os aparelhos e acessórios deverão encontrar-se bem conectados e com todas as suas funções operantes; os controles de tonalidade e balanço bem centrados; o controle de volume operando silenciosa e progressivamente, sem "trancos"; mesmo a volume baixo, não se deve ouvir rancos ou sibilos.

Para alinhar o sistema, um roteiro usual é o seguinte:

- Colocar um programa musical bem familiar e com riqueza de detalhes e volumes diferenciados. A partir de um volume baixo, avaliar a pureza do áudio; progressivamente subir o volume até constatar o início de distorção. Qualquer sistema distorce a volumes altos, o problema consiste em avaliar se essa distorção não ocorre muito cedo e da forma como aparece, para posterior correção;

- Uma forma de distorção ocorre quando os canais esquerdo ou direito mostram uma intensidade diferente em graves do que quando o áudio encontra-se centrado. Nesse caso é possível que tenha ocorrido alguma inversão acústica ou mesmo de ligações. A correção é simples: basta inverter uma das ligações dos Woofers (só uma, não as duas);

- A imagem sonora deve ser predominantemente frontal. O som traseiro reflete mais a ambiência e não pode destacar-se, exceto o som do Sub-Woofer, que via de regra é não-direcional;

O equilíbrio entre graves, médios e agudos é fundamental, sendo o aspecto mais difícil para conseguir-se o alinhamento sem um ouvido treinado, ou aparelhos especializados como o RTA - Real Time Analyser. Nessas condições vale um estreito conhecimento do material musical e paciência para o ajuste. Um sistema bem projetado e executado normalmente já é bem equilibrado, necessitando apenas de pequenos ajuste de tom. Somente os sistemas mais sofisticados, com muitos canais ativos, ficam realmente dependentes de equalizadores e analisadores profissionais.

• PADRÕES PARA COMPETIÇÃO:

A popularidade das competições de som automotivo provocou o surgimento de diversas entidades e associações ligadas a esses eventos. Uma das mais conhecidas e bem atuante no Brasil é a **IASCA-**

International Auto Sound Challenge Association.

A IASCA padronizou diversos procedimentos e quesitos para o julgamento da qualidade e quantidade do áudio nos autos. Para isso distribui um manual destinado aos competidores e CDs de teste e afinação. É instrutivo, mesmo para quem não pretendo competir, conhecer os itens que pontuam os melhores sistemas.

São analisados: SPL - Sound Pressure level, Equalização, Qualidade de Som e Qualidade de Instalação.

SPL:

Para a avaliação do nível máximo de pressão sonora, é utilizada uma faixa do CD de teste como calibração de nível sonoro, sem preocupação com qualidade, ou seja admitindo-se distorção. A partir de 100 dB, cada dB a mais representa um ponto ganho.

EQUALIZAÇÃO:

A resposta em frequência é medida ao longo da faixa audível através da faixa de ruído rosa. Cada desvio maior que 3 dB retira pontos do concorrente.

QUALIDADE DE SOM

A qualidade do som é verificada através dos seguintes parâmetros:

- **Staging:** representa a capacidade do sistema de reproduzir o ambiente original do concerto, principalmente através do som frontal;
- **Imagem:** mede a definição da imagem estéreo, colocando o ouvinte no centro do espetáculo, definindo bem a origem dos sons, esquerdo, direito e frontal, e proporcionando profundidade da imagem estéreo;
- **Separação de frequência:** Característica de um som bem definido, sem empastelamento dos diferentes timbres instrumentais;
- **Ausência de ruído no sistema:** Relação Sinal-Ruído com boas características, sem interferências ou ruídos dos acessórios, mecanismos de transporte, antena elétrica, etc.;

AUSÊNCIA DE RUÍDO NO MOTOR: Sem interferências do sistema elétrico do motor, quando em funcionamento.

• QUALIDADE DA INSTALAÇÃO:

A criatividade, esmero e qualidade geral da instalação é julgada por itens que levam em conta:

- **Integridade:** Coerência do projeto, filosofia e montagem física;
- **Cabeação:** Cabos com seções bem calculadas, terminais, proteção;
- **Ergonomia:** Conforto, facilidade e manuseio seguro;
- **Detalhes:** Cuidados na montagem, limpeza e adequação;
- **Criatividade:** Novas idéias que justifiquem o desempenho conseguido, inovações em aspectos ainda não considerados por outros competidores.

• ALGUMAS RECOMENDAÇÕES:

Nesta introdução ao assunto do som no carro vimos uma série de fenômenos acústicos que ocorrem no pequeno volume da cabine do automóvel, e salientamos alguns pontos importantes no desempenho de aparelhos de som automotivos

Podemos resumir algumas conclusões com respeito aos tópicos abordados:

- O ruído presente tende a mascarar o sinal musical, principalmente nas frequências mais baixas. É essencial considerar a adoção de materiais fono-absorventes e isolantes - manta asfáltica, de forma a limitar essa interferência; Uma equalização com reforço na banda dos graves ajuda a superar e tornar mais balanceada a resposta do áudio;
- A imagem estéreo, devido às condições próprias do habitáculo, é uma meta de difícil consecução. É necessário, para cada tipo de auto, um estudo cuidadoso do posicionamento dos alto-falantes;
- Existem picos apreciáveis na resposta em frequência, principalmente ao redor de 150/250 Hz, devido ao tamanho do habitáculo e tipos de superfícies envolvidas. Para tornar a resposta mais plana a solução mais completa é o uso de equalizadores.
- Um cuidadoso alinhamento do sistema, com alto-falantes bem posicionados, pode tornar mesmo um sistema dos mais simples, muito equilibrado e agradável de se ouvir.

No mercado nacional vem se destacando excelentes revistas sobre o assunto. Para conhecer melhor sobre instalações, sugerimos acompanhar as reportagens que tem surgido nos melhores periódicos, como: Revista Quatro Rodas: Edição Som, Som e Carro, Audio Car. Nesta série, contamos com ajuda de publicações dos cursos de instalação realizados pelo Prof. Homero Sette e o Técnico Diógenes Cerântula, campeão nacional do Sound Pressure Level - SPL.

Os lançamentos mais recentes de aparelhos no mercado mostram sofisticação crescente: maior potência em amplificação, toca-CDs com proteção contra saltos, reprodutores de mini-discs, etc. O som no automóvel já vai atingindo a maturidade e, quem sabe, logo teremos a possibilidade de aparelhos DVD com Dolby Digital, tocando cinco canais. Dessa forma, e desde a chegada no mercado brasileiro dos projetos mundiais mais sofisticados, já atingimos um nível de áudio para o automóvel com uma qualidade plenamente satisfatório até mesmo para o aúdiófilo bem exigente

