

INFLUÊNCIA DA IMPEDÂNCIA DO ALTO-FALANTE NA POTÊNCIA DO AMPLIFICADOR.

A maneira como utilizamos os alto-falantes pode implicar em ganhos ou perdas de potência de um amplificador. Um ganho de potência pode ser conseguido através de um baixo valor de impedância. Para que possamos explicar melhor o que ocorre, vamos verificar este exemplo, onde temos os seguintes equipamentos:

1 alto-falante com impedância de 2 ohms

1 alto-falante com impedância de 4 ohms

1 alto-falante com impedância de 8 ohms

1 Amplificador de um canal com potência de 100 Wrms em 4 Ohms

Para analisarmos as diferentes formas em que o amplificador irá trabalhar, utilizaremos as seguintes fórmulas:

$$P = T^2 / Z \quad P = T \times I \quad P = I^2 \times Z$$

P = Potência (Watts)

T = Tensão (Volts)

I = Corrente (Amperes)

Z = Impedância (Ohms)

Primeiramente devemos calcular o valor da tensão de saída deste amplificador, para que possamos verificar os diferentes valores de potência apresentados pelo amplificador de acordo com a impedância que teremos na saída.

O fabricante deste amplificador nos fornece a informação de que teremos 100 Wrms quando utilizarmos uma impedância de 4 ohms na saída. Jogando estes dados na primeira fórmula teremos:

$$100 = T^2 / 4$$

$$T^2 = 100 \times 4 = 400$$

$$T = 20 \text{ Volts}$$

Como o valor da tensão de saída do amplificador é constante e já o temos calculado, podemos encontrar os diferentes valores de potência para cada valor de impedância:

Para o alto falante com impedância de **4 Ohms**

$$P = (20 \times 20) / 4 = 400 / 4 = \mathbf{100 \text{ Wrms}}$$

Para o alto falante com impedância de **2 Ohms**

$$P = (20 \times 20) / 2 = 400 / 2 = \mathbf{200 \text{ Wrms}}$$

Para o alto falante com impedância de **8 Ohms**

$$P = (20 \times 20) / 8 = 400 / 8 = \mathbf{50 \text{ Wrms}}$$

Com isso, podemos chegar à conclusão de que a medida que diminuimos a impedância, automaticamente o amplificador aumenta sua potência.

Por outro lado existe um limite, que é exatamente o ponto em que se pode ocasionar a queima de um amplificador. Isso ocorre porquê ao diminuirmos a impedância fazemos com que o amplificador forneça o máximo de potência, resultando em altos valores de corrente na saída do amplificador.

Para utilizarmos corretamente o equipamento a dica é conferir sempre a impedância mínima de saída do amplificador (bridge e estéreo) e a impedância de cada alto-falante, evitando assim futuros problemas.

CAIXAS ACÚSTICAS

Para um perfeito funcionamento dos subwoofers, a instalação em caixas acústicas deve ser adequada às suas características. A caixa acústica permite ao alto-falante trabalhar em condições ideais, reproduzindo sons com eficiência e qualidade, sem riscos de danos por excesso de excursão. Uma caixa acústica corretamente projetada e construída realça a performance do subwoofer, aumentando a intensidade do som, obtendo um controle de excursão e uma boa resposta.

O cálculo da caixa acústica deve levar em conta os parâmetros Thiele-Small do alto-falante, bem como o resultado final que se deseja. Os graves bem pronunciados e até um pouco retumbantes, o tipo, o tamanho da caixa acústica e sua sintonia são diferentes, variando de acordo com o gosto particular de cada um. Por esse motivo existem vários tipos de caixas acústicas. As mais comuns são: SELADA (closed), DUTADA (vented) e BAND-PASS.

A escolha de uma caixa acústica depende de sua utilização. Para tanto, deve se levar em consideração as características de cada caixa. Suas características são:

Selada - Excelente resposta a transientes, resposta de frequência plana, baixa distorção em toda faixa, alta potência, ideal para quem deseja um grave puro e profundo.

Dutada - Resposta de graves estendida, alto SPL, boa resposta a transientes, baixa distorção na frequência de sintonia, ideal para quem deseja graves reforçados.

Band-pass - Resposta de graves estendida, banda de frequência definida. Boa resposta a transientes.

CUIDADOS NA CONSTRUÇÃO DE UMA CAIXA ACÚSTICA

Na hora de construirmos uma caixa acústica, devemos sempre estar atentos a alguns detalhes. Estes detalhes fazem a diferença entre um som bom ou ruim, forte ou fraco, etc.

Existem alguns pontos que sempre devem ser levados em conta.

A caixa deve ser construída com madeira de espessura suficiente para garantir que as paredes não vibrem. Uma sugestão seria o uso de no mínimo 15mm.

Deve-se vedar todos os cantos da caixa com silicone ou material semelhante.

É aconselhável o uso de matérias como: Underseal (emborrachamento), Manta Asfáltica, etc. Isto garante uma maior rigidez a caixa.

A junção entre o alto-falante e a caixa deve ser bem vendada, com materiais como silicone, massa de calefatar, etc.

Deve-se utilizar caixas que possuam o menor número de paredes paralelas, ou seja, uma caixa do tipo trapézio, cilindro, etc. Caixas com paredes paralelas podem apresentar problemas de cancelamento (perda de eficiência

ASSOCIAÇÕES DE ALTO-FALANTES

Em alguns casos utilizamos mais de um alto-falante em um mesmo canal de um amplificador ou rádio. Isto muitas vezes pode afetar o bom funcionamento do equipamento. Um equipamento pode ser afetado, se tiver conectado a sua saída, uma impedância menor do que a suportada por ele. Podemos explicar este fenômeno através de uma simples análise da 2ª Lei de Ohm, onde:

R - resistência
Z - impedância
V - tensão
I - corrente

$R = V / I$ ou no nosso caso $Z = V / I$ portanto;
 $I = V / Z$ com esta fórmula podemos ver que ao diminuirmos a impedância, temos um valor maior de corrente, e muitas vezes este valor não é suportado pelo equipamento. Devemos ter muito cuidado com associações de alto-falantes, respeitando sempre a impedância mínima do equipamento (amplificador, rádio, etc).

ASSOCIAÇÃO EM SÉRIE

A associação em série é muito utilizada no meio de áudio em geral, pois muitas vezes não possuímos equipamentos capazes de suportar baixos valores de impedância, o que nos faz utilizar uma associação em série.

A associação em série resulta sempre em um aumento do valor da impedância, pois o resultado final de uma associação em série será a soma de todas as resistências (impedâncias) do sistema.

Podemos calcular o resultado de uma associação em série a partir da seguinte fórmula:

$$Z_{total} = Z1 + Z2 + Z3 + Z4 + + Zn$$



ASSOCIAÇÃO EM PARALELO

A associação em paralelo é muito utilizada em casos onde se pode aplicar um baixo valor de impedância, pois com isso pode-se tirar um melhor aproveitamento do aparelho. Quanto menor for a impedância, maior será a potência fornecida pelo aparelho. Vale observar que todos equipamentos possuem um limite, e isto deve ser respeitado.

O resultado da associação em paralelo pode ser obtido através da seguinte fórmula:

$$\frac{1}{Z_{total}} = \frac{1}{Z_1} + \frac{1}{Z_2} + \frac{1}{Z_3} + \frac{1}{Z_4} + \dots + \frac{1}{Z_n}$$

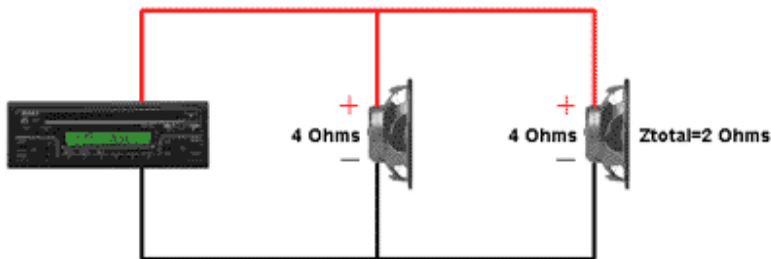
Esta fórmula pode ser utilizada com quantos alto-falantes forem necessários, porém se houverem apenas dois alto-falantes, pode-se utilizar a seguinte fórmula

$$Z_{total} = \frac{Z_1 \times Z_2}{Z_1 + Z_2}$$

Caso todos os alto-falantes tenham o mesmo valor de impedância, basta dividir o valor da impedância pelo número de alto-falantes conforme a fórmula abaixo

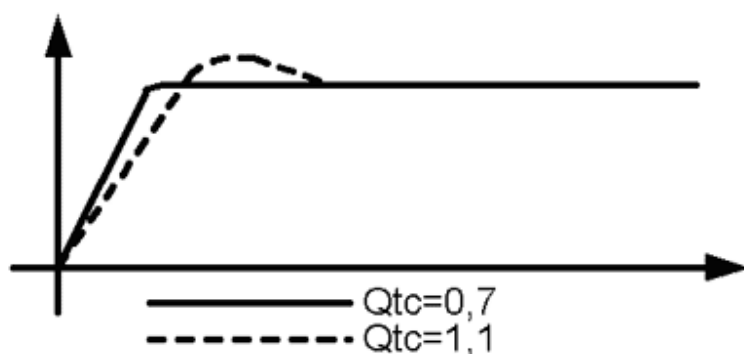
$$Z_{total} = \frac{\text{Impedância}}{\text{Quantidade de alto-falantes}}$$

A associação em paralelo pode ser obtida através da seguinte ligação:



CÁLCULO DO VOLUME DE UMA CAIXA SELADA

Através do cálculo do volume da caixa pode-se obter vários tipos de curva de resposta variando desde uma reprodução sonora "seca" até uma do tipo retumbante. Para isso o cálculo deve levar em conta um determinado valor do Q do conjunto denominado Q_{tc} . Semelhantemente ao alto-falante do valor do Q_{tc} depende o tipo de resposta. Um Q_{tc} da ordem de 0,7 resultará em uma caixa bastante amortecida, com ótima resposta a transientes e resposta de frequências plana. Um $Q_{tc} = 1,1$ propiciará uma resposta mais "encorpada", eficiência máxima e resposta a transientes ligeiramente degradada. Valores menores do que 0,7 ou maiores do que 1,1 são desaconselháveis



O cálculo do volume da caixa "closed" para um determinado alto-falante é extremamente simples o que faz com que este tipo de caixa seja bastante popular. Devemos em primeiro lugar escolher um Q_{tc} entre 0,7 e 1,1, de acordo com o resultado final desejado. Calcula-se então a relação de compliância.

$$a = (Q_{tc}^2 / Q_{ts}^2) - 1$$

Calcula-se então o volume da caixa acústica pela fórmula a seguir:

$$V_b = V_{as} / a$$

V_b = volume da caixa.

V_{as} = volume equivalente do alto-falante

a = relação de compliância

Calculam-se a seguir as frequências de ressonância da caixa (F_c) e a frequência de corte (F_3) de acordo com as fórmulas abaixo

$$F_c = Q_{tc} \times F_s / Q_{ts}$$

$$F_3 = F_c \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2\right)} + \sqrt{\left(\frac{1}{Q_{tc}^2} - 2\right)^2 + 4}$$

Se o Q_{tc} escolhido for 0,7 estas duas frequências serão iguais porém se o Q_{tc} for maior, a frequência de corte será inferior à frequência de ressonância e a resposta de graves será entendida (à custa de um menor amortecimento e a uma piora na resposta de transientes). É interessante notar que a escolha do Q_{tc} final vai determinar tanto o volume da caixa quanto a frequência de corte inferior (F_3). Valores baixos de Q_{tc} (perto de 0,7) demandam caixas com grande volume, porém apresentam valores de F_3 menores (a resposta de graves é mais estendida). Valores altos de Q_{tc} conduzem a caixas de menor volume, porém com resposta de graves menos estendida.

É prática comum revestir algumas ou todas as paredes internas da caixa acústica com material absorvente de som (geralmente lã de vidro ou espuma de poliuretano ou poliéster) com a finalidade de absorver as ondas sonoras geradas pela parte traseira do cone, que refletindo nas paredes da caixa podem interferir com os sons produzidos pelo alto-falante causando reforços e atenuações. Este material também ajuda a evitar a formação de ondas estacionárias entre as paredes paralelas da caixa.

O material absorvente, além dos efeitos acima, apresenta a propriedade de promover trocas térmicas entre as zonas de alta pressão e as de baixa pressão dentro da caixa, transformando as variações de pressão de adiabáticas em isotérmicas. Isto na prática equivale a aumentar o volume da caixa acústica até um máximo teórico de 40 % (para a caixa toda cheia de material absorvente). Este efeito deve ser levado em conta nos cálculos acima descritos.

CÁLCULO DAS DIMENSÕES DE UMA CAIXA ACÚSTICA

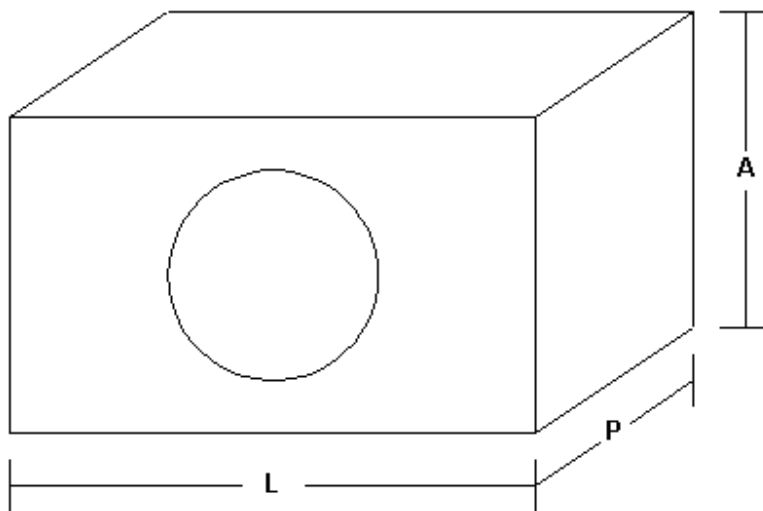
O cálculo das dimensões de uma caixa acústica é muito simples. Há vários formatos de caixa, sendo cada um deles utilizados em casos específicos. As mais comuns são as caixas:

- Retangular
- Trapezoidal
- Cilíndrica
- "Band-Pass"

Abaixo estão os formatos e suas respectivas fórmulas de cálculo.

Caixa Retangular

Retangular é o formato mais conhecido e utilizado nos projetos de Caixas Acústicas. As dimensões podem ser calculadas da seguinte forma:



$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Alt} - (2 \times \text{Esp})] \times [\text{Larg} - (2 \times \text{Esp})] \times [\text{Prof} - (2 \times \text{Esp})]}{1000}$$

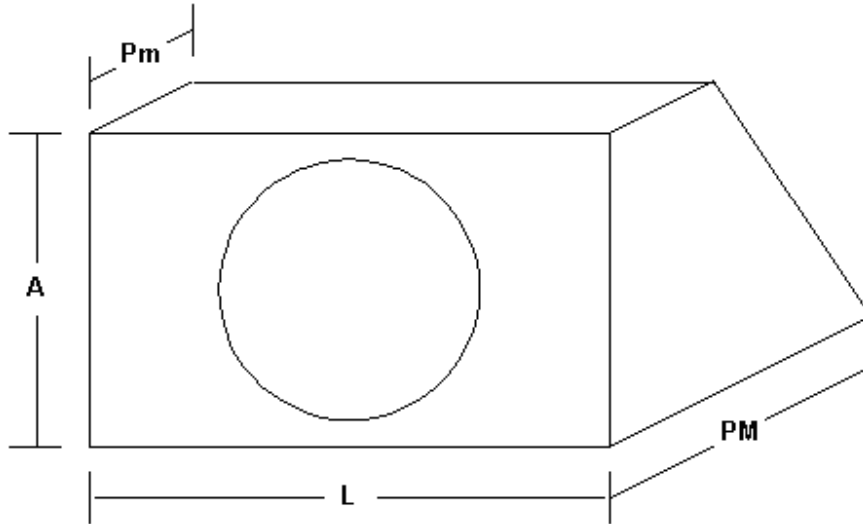
$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L} - (2 \times \text{E})] \times [\text{P} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

$$L = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{A} - (2 \times \text{E})] \times [\text{P} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

$$P = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L} - (2 \times \text{E})] \times [\text{A} - (2 \times \text{E})]} \right\} + (2 \times \text{E})$$

Caixa Trapezoidal

Trapezoidal é um formato muito conhecido por aqueles que trabalham com Som Automotivo, pois este tipo de caixa é muito utilizado nos carros, caminhonetes e vans. Este é similar ao formato retangular, exceto um lado que é inclinado. As dimensões podem ser calculadas da seguinte forma:



$$\text{Vol} = \frac{[A - (2 \times E)] \times [L - (2 \times E)] \times \{[(Pm - (2 \times E)) + (PM - (2 \times E))] / 2\}}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[L - (2 \times E)] \times \{[(Pm - (2 \times E)) + (PM - (2 \times E))] / 2\}} \right\} + (2 \times E)$$

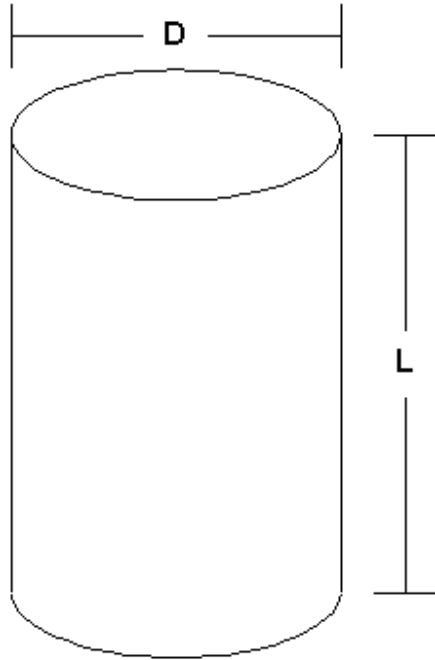
$$L = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[A - (2 \times E)] \times \{[(Pm - (2 \times E)) + (PM - (2 \times E))] / 2\}} \right\} + (2 \times E)$$

$$PM = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\{[A - (2 \times E)] \times [L - (2 \times E)]\} / 2} \right\} + [(4 \times E) - Pm]$$

$$Pm = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\{[A - (2 \times E)] \times [L - (2 \times E)]\} / 2} \right\} + [(4 \times E) - PM]$$

Cilíndrico (Tipo Bazooca)

Cilíndrico é um formato também muito conhecido e utilizado, devido a sua praticidade de manuseio e construção. É um formato bastante simples, pois apresenta apenas duas dimensões. As dimensões desta caixa podem ser calculadas da seguinte forma:



$$\text{Volume} = \frac{\pi \times \left[\frac{\text{Diâmetro} - (2 \times E)}{2} \right]^2 \times [\text{Altura} - (2 \times E)]}{1000}$$

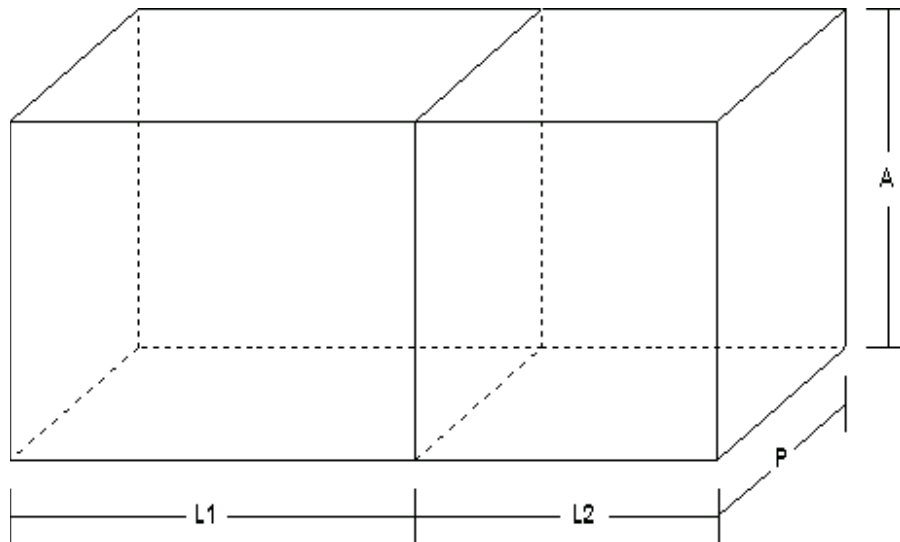
onde consideramos a constante (pi) = 3,1416

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\pi \times \left[\frac{D - (2 \times E)}{2} \right]^2} \right\} + (2 \times E)$$

$$D = \left\{ \sqrt{\frac{(\text{Vol} \times 1000)}{\pi \times [A - (2 \times E)]}} \right\} \times 2 + (2 \times E)$$

Band-Pass

Uma caixa Band-Pass possui dois volumes distintos, com o alto-falante montado na parede que os divide. O volume Vb1 corresponde a câmara traseira, esta que controla o limite inferior da resposta de frequência da caixa. O Vb2 corresponde a câmara frontal, a qual controla o limite superior da resposta de frequência da caixa. O duto estará sempre na câmara Vb2. Esta caixa pode ser calculada da seguinte forma:



Câmara Traseira

$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Altura} - (2 \times E)] \times [\text{Largura 1} - (2 \times E)] \times [\text{Profundidade} - (2 \times E)]}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[L1 - (2 \times E)] \times [P - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$L1 = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[A - (2 \times E)] \times [P - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$P = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[L1 - (2 \times E)] \times [A - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

Câmara Frontal

$$\text{Volume (litros)} = \frac{[\text{Altura} - (2 \times E)] \times [\text{Largura} - (2 \times E)] \times [\text{Profundidade} - (2 \times E)]}{1000}$$

$$A = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L2} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$\text{L2} = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{A} - (2 \times E)] \times [\text{P} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

$$\text{P} = \left\{ \frac{(\text{Vol} \times 1000)}{[\text{L2} - (2 \times E)] \times [\text{A} - (2 \times E)]} \right\} + (2 \times E)$$

DIVISOR DE FREQUÊNCIAS

A função de um divisor de frequência é separar o sinal em seções ou bandas de sinal, antes de enviá-lo aos alto falantes.

Isto assegura que cada alto falante receba somente as frequências para as quais foi designado.

Existem dois tipos de divisores, o passivo e o ativo. O passivo é composto de capacitores e bobinas, já o ativo através de um circuito eletrônico.

Os divisores de frequências são utilizados para separar as frequências que interessam a um determinado tipo de alto-falante, ou seja, um médio-grave deve receber apenas frequências compreendidas na faixa de 80 a 5.000 Hz, neste caso temos de utilizar um divisor de frequências que limite em 80 e 5.000 Hz a resposta em frequência.

Para isto são utilizados os filtros. Os filtros podem ser ativos ou passivos.

- **Ativos** - são compostos de circuitos eletrônicos
- **Passivos** - são compostos de capacitores e indutores

A vantagem do divisor ativo é que ele não acarreta perdas. Isto ocorre pelo simples fato de que o corte é sempre feito antes do amplificador, ou seja, não existe nenhum componente que faz com que a tensão de saída do amplificador seja dividida.

Já no caso do passivo existem perdas. Isto se deve ao fato de o capacitor e o indutor possuírem reatâncias e, como são utilizados após a saída do amplificador e antes do alto-falante, eles acabam fazendo com que a tensão de saída do amplificador seja dividida entre capacitor, indutor e alto-falante.

Os divisores de frequências são utilizados também como uma espécie de proteção para alguns alto-falantes, como o caso dos tweeters, médios, médio-graves, drivers, etc.

Isto porque muitos destes alto-falantes não podem ser submetidos a baixas frequências, pois isto acarretaria um excesso de excursão, o que com certeza poderia causar uma possível distorção sonora e até mesmo um rompimento da suspensão.

Um divisor de frequências possui sempre uma taxa de atenuação, que varia de acordo com os componentes que são utilizados. Por exemplo:

1 capacitor - 6 dB

1 indutor - 6 dB

1 capacitor + 1 indutor - 12 dB

2 capacitores + 1 indutor - 18 dB

2 indutores + 1 capacitor - 18 dB

Como podemos ver, a medida que aumentamos a quantidade de componentes, aumentamos também a taxa de atenuação do divisor. Esta taxa é exatamente o quanto o corte será preciso. Isto podemos observar conforme a figura 3:

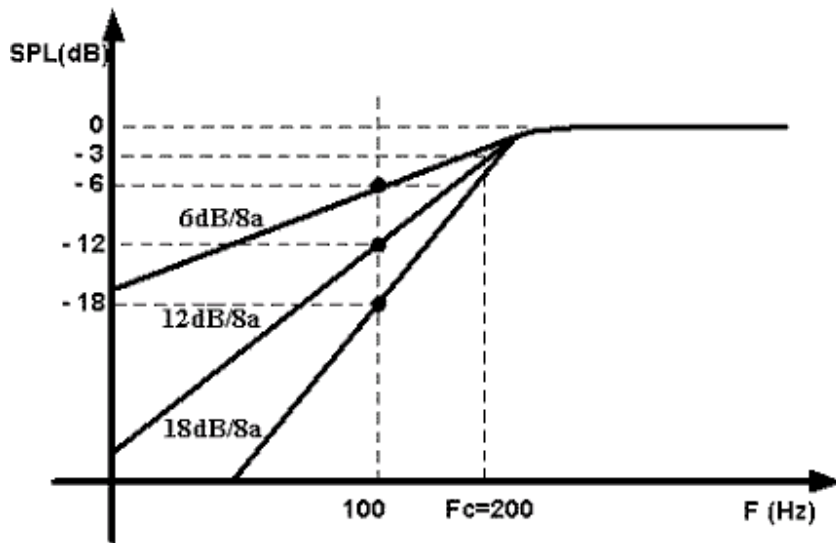


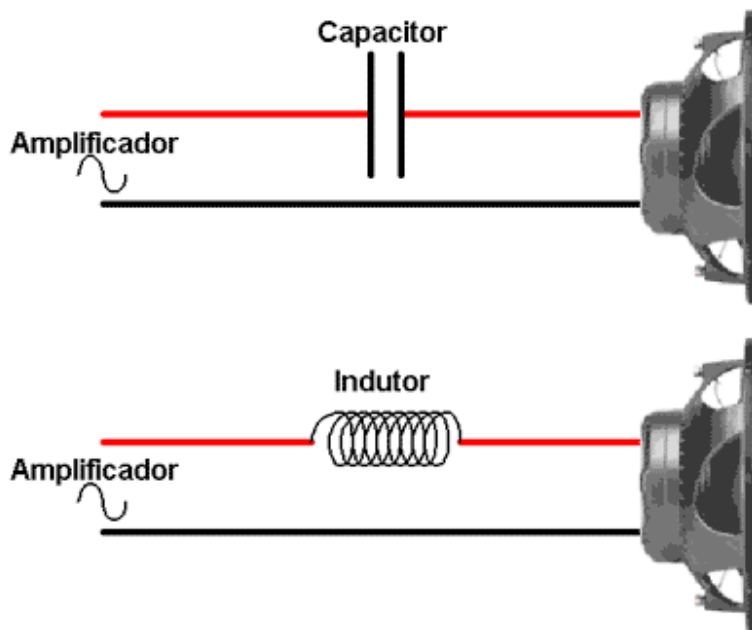
Figura 3

Os valores de corte dos divisores de frequências passivos são calculados de acordo com as seguintes fórmulas:

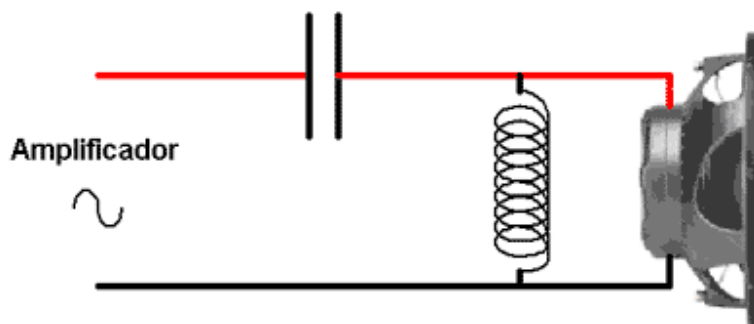
Passa Alta $F_c = \frac{1}{6,28 \times Z \times C}$

Passa Baixa $F_c = \frac{Z}{6,28 \times L}$

Os divisores com atenuação de 6 dB/oitava devem ser ligados conforme esquema abaixo:



Já os divisores com atenuação de 12dB/oitava devem ser ligados desta forma:



O divisor de freqüências com atenuação de 12 dB/oitava é composto de dois componentes, onde suas posições são alteradas de acordo com o tipo de corte, se passa alta ou passa baixa. No esquema acima temos um passa alta.

Para facilitar, abaixo há duas tabelas com os principais valores utilizados:

Tabela para Cortes de Freqüências 6 dB/Oitava						
Freqüência	2 Ohms		4 Ohms		8 Ohms	
(Hz)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)
80	1000	4.1	500	8.2	250	16
100	800	3.1	400	6.2	200	12
130	600	2.4	300	4.7	150	10
200	400	1.6	200	3.3	100	6.8
260	300	1.2	150	2.4	75	4.7
400	200	0.8	100	1.6	50	3.3
600	133	0.5	68	1.0	33	2.0
800	100	0.41	50	0.82	25	1.6
1000	78	0.31	39	0.62	20	1.2
1200	68	0.25	33	0.51	15	1.0
1800	47	0.16	22	0.33	10	0.68
4000	22	0.08	10	0.16	5	0.33
6000	15	0.05	6.8	0.10	3.3	0.20
9000	10	0.03	4.7	0.07	2.2	0.15
12000	6.8	0.02	3.3	0.05	1.6	0.10

Tabela para Cortes de Frequências 12 dB/Oitava						
Frequência	2 Ohms		4 Ohms		8 Ohms	
(Hz)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)	Capacitor (µF)	Indutor (mH)
80	700	5,6	330	11	180	22
100	500	4,5	270	9,1	150	18
130	470	3,5	200	6,8	100	15
200	330	2,3	150	4,7	75	9,1
260	220	1,7	100	3,6	50	6,8
400	140	1,1	68	2,2	33	4,7
600	100	0,75	47	1,5	26	3,0
800	68	0,56	33	1,0	15	2,0
1000	55	0,45	27	0,91	13	1,8
1200	47	0,38	22	0,75	11	1,5
1800	33	0,25	15	0,50	6,8	1,0
4000	15	0,11	6,8	0,22	3,3	0,47
6000	10	0,075	4,7	0,15	2,2	0,33
9000	6	0,050	3,3	0,10	1,5	0,20
12000	4,7	0,038	2,2	0,07	1,0	0,15