

Limitando a Potência em Drivers e Alto-Falantes

O uso de crossovers eletrônicos em sistemas profissionais não constitui, hoje, nenhuma novidade, mas o emprego de processadores eletrônicos é algo que, somente agora, está se generalizando entre nós.

Para a proteção de drivers e tweeters, o uso dos limitadores eletrônicos, geralmente presentes nos processadores, é algo não só recomendável como, às vezes, até imprescindível para garantir a integridade dos transdutores que operam em frequências altas, uma vez que são de construção bastante delicada.

Para a programação dos limites adequados, é necessário conhecer os níveis de potência suportados pelos componentes. O que poderia ser resolvido com uma simples consulta à ficha técnica do produto complica-se, no caso de drivers ou tweeters, devido ao seguinte fato: os valores geralmente fornecidos foram medidos com crossovers passivos (conforme dita a norma ABNT 10303), mas, em muitas aplicações, usam-se crossovers ativos.

Nesta condição, a potência suportada é 40 % do valor especificado para crossovers passivos.

O presente trabalho tem por finalidade principal elucidar a este respeito e mostrar como os valores a serem aplicados nos limitadores podem ser calculados a partir das informações fornecidas pelos fabricantes. Esta característica é comum aos produtos de todos os fabricantes, indistintamente, não se aplicando aos alto-falantes, uma vez que estes, normalmente, são medidos sem o uso de redes divisoras de frequência.

Potência NBR 10303

A norma brasileira NBR 10303 especifica que a medição da potência suportada por um alto-falante deve ser feita durante duas horas, aplicando-se um sinal de ruído rosa, filtrado, conforme o diagrama de blocos mostrado na Fig. 1, sendo que a função de transferência do filtro, recomendado pela norma, pode ser vista na Fig. 2.

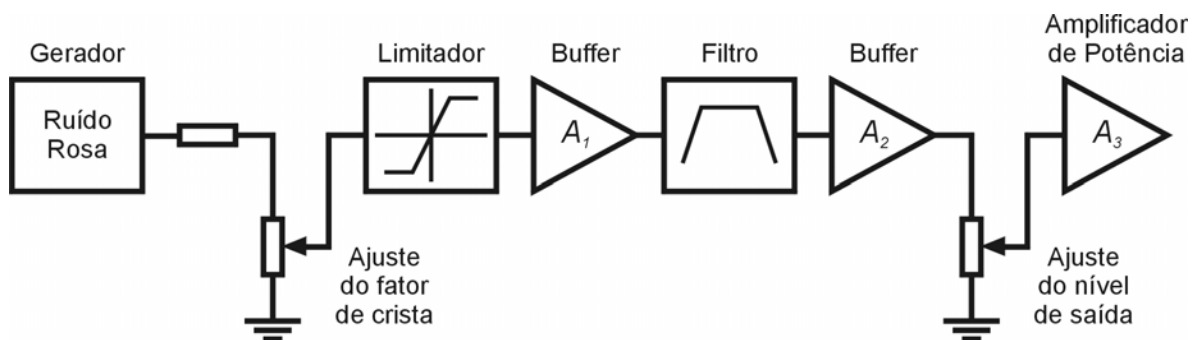


Fig. 1 - Diagrama de blocos do set up de medição, para aplicação da norma NBR 10303.

Este teste tem por objetivo determinar a capacidade do alto-falante suportar potência elétrica, sendo o comportamento térmico do transdutor um dos fatores determinantes principais do resultado.

As tensões são medidas com voltímetro do tipo valor eficaz verdadeiro (true RMS), e as potências calculadas através da relação $P = E^2 / R$, onde R costuma ser igual à impedância nominal do alto falante.

No caso de drivers e tweeters são utilizados circuitos de filtro, semelhantes ao mostrado na Fig. 3, que têm a finalidade de impedir a passagem dos sinais de baixa frequência para a bobina do driver.

Deste modo, a tensão usada para o cálculo da potencia é medida na saída do amplificador, ou seja, na entrada do filtro, e não sobre a bobina do driver, ou tweeter, em teste. Os valores assim medidos serão muito mais altos que os encontrados sobre a bobina do transdutor, uma vez que mesmo as componentes barradas pelo capacitor (e que não vão fornecer energia ao transdutor) serão computadas no cálculo da potência.

No caso de crossovers ativos, toda a tensão medida estará sendo aplicada diretamente na bobina e, conseqüentemente, produzirá potência no transdutor.

Por este motivo, a potência especificada para o caso de crossovers ativos está em torno de 40 % do valor especificado para crossovers passivos, segundo determina a experiência prática.

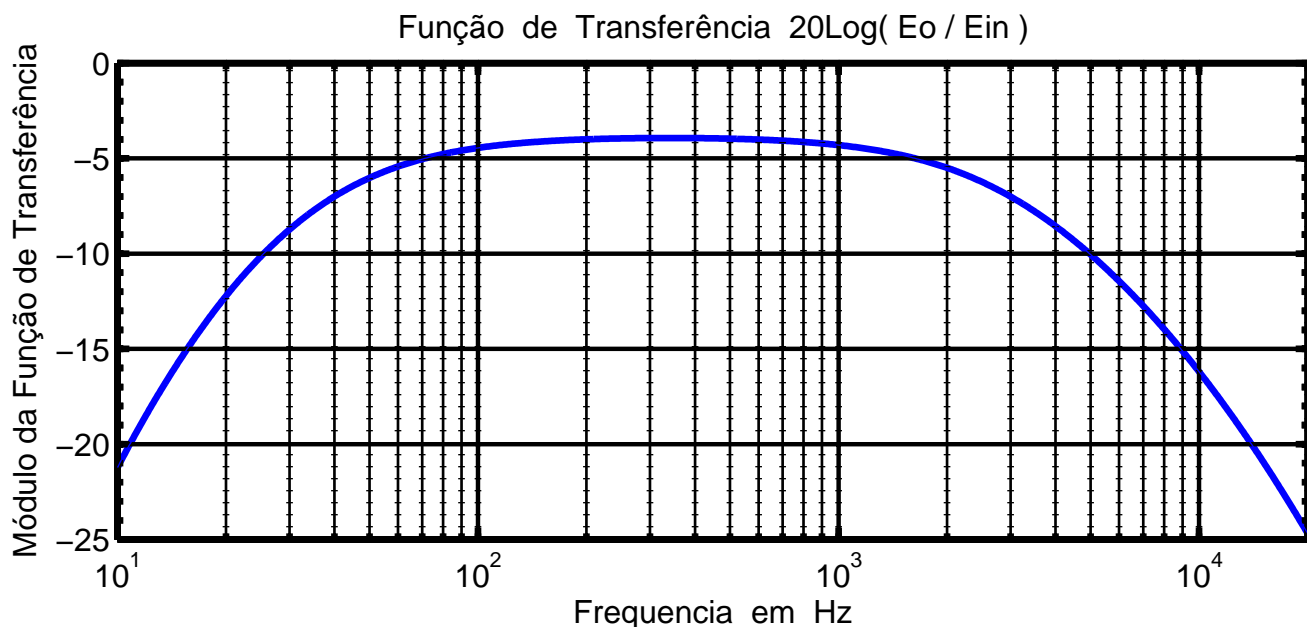


Fig. 2 – Função de transferência do filtro usado na norma NBR 10303.

Potência Musical

Programa Musical, conforme o próprio nome indica, refere-se a um sinal musical ou capaz de simular uma informação musical.

Por conveniência, normalmente, utiliza-se o ruído rosa para simular um programa musical.

O ruído rosa possui um fator de crista igual a 9 dB (ver Tabela 1), ou seja, a potência nos picos é igual a 8 vezes a potência média (erroneamente denominada potência RMS, conforme a referência ⁽¹⁾).

Como a norma americana (AES) recomenda ajustar o fator de crista em 6 dB (ver a Fig. 1), ou seja, uma relação entre a potência de pico e a potência média igual a 4 vezes, ajusta-se a amplitude de um sinal musical (ou ruído rosa) de modo que os picos máximos sejam iguais ao dobro da tensão RMS que definiu a potência média. Ao dobrarmos a tensão, a potência quadruplica.

Assim feito, a potência nos picos musicais será 4 vezes o valor da potência média do programa, o que corresponde a uma potência média senoidal igual ao dobro da original.

Esta potência, duas vezes maior que a potência média, denominada Potência de Programa Musical, pela Selenium, foi uma tentativa de evitar o uso de amplificadores tanto sub dimensionados quanto com o quádruplo da potência, como os transdutores são testados em programa musical. Esta “folga” de 3 dB visa evitar severas distorções nos picos, minimizando o risco de queima devido a valores médios excessivos. Com supervisão eletrônica, a “folga” (headroom) disponível deveria ser bem maior (ver a Tabela 1).

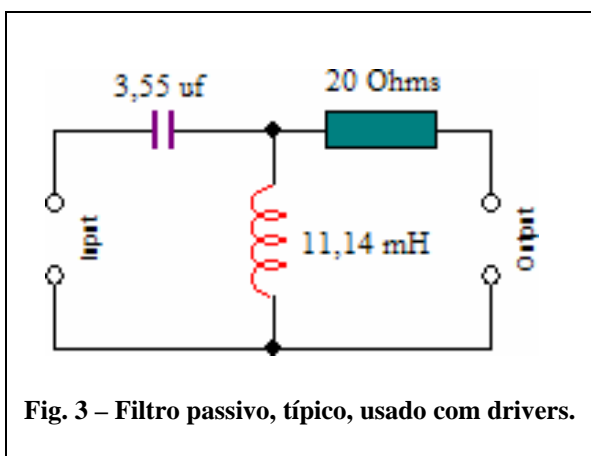


Fig. 3 – Filtro passivo, típico, usado com drivers.

Exemplo:

Um alto-falante de 8 Ohms suporta 50 Watts “RMS”.

Para esta potência são necessários 20 Volts RMS :

$$E_{RMS} = \sqrt{50 \cdot 8} = \sqrt{400} = 20 \text{ Volts ; então,}$$

$$20^2 / 8 = 400 / 8 = 50 \text{ Watts}$$

A potência nos picos de programa musical será igual a $4 \cdot 50 = 200$ Watts.

Em termos senoidais, isto equivale a 100 Watts médios (erroneamente chamados de RMS), ou seja: o dobro dos 50 Watts iniciais.

Por isso dizemos que a potência de programa musical equivale ao dobro da potência “RMS”, o que é verdadeiro sob

o ponto de vista de uma equivalência senoidal.

No entanto, nos picos máximos, a potência do sinal de programa musical será igual a 4 vezes a potência “RMS” original, pois estamos supondo um programa com 6 dB de fator de crista (4 vezes a potência média).

Tipo de programa	Fator de Crista restrito / amplo		Potência média Obtida em um Amp. de 100W
	Em dB	Em vezes	
Onda Quadrada	0	1	200
Senoide pura	3	2	100
Onda Triangular	5	3	67
Ruído rosa	9	8	25
Aplauso ou Musica fortemente comprimida	9 / 10	8 / 10	25 / 20
Rock pesado (médio grave de guitarra)	10 / 12	10 / 16	20 / 12,5
Axé (graves)	10 / 14	10 / 25	20 / 8
Axé (médio grave)	12 / 15	16 / 32	12,5 / 6,5
Pop, Rock comum	12 / 15	16 / 32	12,5 / 6,5
Jazz,	15 / 20	32 / 100	6,5 / 2
Orquestra	10 / 30	10 / 1000	20 / 0,2
Voz humana falada	15 / 15	32 / 32	6,5 / 6,5

Tabela 1 – Fatores de Crista para Diversos Tipos de Sinal

Driver D408Ti

<ul style="list-style-type: none"> ▣ 8Ω Impedância ▣ 250 W Programa Musical (c/ xover 1.200 Hz 12 dB / oit) ▣ 125 W RMS (NBR 10.303) (c/ xover 1.200 Hz 12 dB / oit) ▣ 111 dB SPL Sensibilidade (c/ corneta HL4750-SLF) ▣ 400 a 20.000 Hz (-10 dB) ▣ 50 mm Diâmetro da Garganta ▣ Diafragma de titânio ▣ 100 mm Diâmetro da Bobina ▣ 2.540 g Peso do Ímã ▣ Tampa de Plástico
Tabela 2 – Driver D408TI

Utilizando os conceitos acima enunciados, vamos mostrar como determinar o limite de tensão a ser aplicado em um limitador eletrônico, para o driver de titânio D408TI, excitado por um amplificador marca Studio R, modelo Z1600. Os valores obtidos aplicam-se, igualmente, aos drivers D405TI e D4400TI.

Os tempos de ataque e release serão também fornecidos.

Limites de Potência

A potência NBR, com o corte em 1200 Hz, será igual a 125 Watts, conforme o catálogo do produto, disponível em www.selenium.com.br e resumido na Tabela 2.

A Potência Média (erroneamente denominada RMS), com xover eletrônico (usando o critério de 40% da potência média para crossover passivo, será dada por: $P_{ME} = 0,4 \cdot 125 = 50$ Watts

Potência de Programa Musical: $P_{MUS} = 2 \cdot 50 = 100$ Watts

Limites de Tensão

Tensão Eficaz necessária para produzir uma potência média igual a 50 Watts, em uma carga resistiva de 8 Ohms: $\sqrt{8 \cdot 50} = \sqrt{400} = 20$ Volts

Tensão de Pico = $1,414 \cdot 20 = 28,28$ Volts .

Tensão de Pico de Programa Musical = $\sqrt{(2 \cdot 50 \sqrt{2}) \cdot \sqrt{2} \cdot 8} = \sqrt{100 \cdot 2 \cdot 8} = \sqrt{1600} = 40$ Volts

Comprovação

Uma tensão eficaz (RMS) de 20 Volts, produzirá uma potência igual a 50 Watts médios, em uma carga resistiva de 8 Ohms.

$$P_{ME} = \frac{20^2}{8} = \frac{400}{8} = 50 \text{ Watts}$$

Potência em Watts	Tensões Eficazes em Volts		
	2 Ohms	4 Ohms	8 Ohms
25	7.07	10.00	14.14
50	10.00	14.14	20.00
75	12.25	17.32	24.49
100	14.14	20.00	28.28
125	15.81	22.36	31.62
150	17.32	24.49	34.64
175	18.71	26.46	37.42
200	20.00	28.28	40.00
250	22.36	31.62	44.72
300	24.49	34.64	48.99
350	26.46	37.42	52.92
400	28.28	40.00	56.57
450	30.00	42.43	60.00
500	31.62	44.72	63.25
550	33.17	46.90	66.33
600	34.64	48.99	69.28
650	36.06	50.99	72.11
700	37.42	52.92	74.83
750	38.73	54.77	77.46
800	40.00	56.57	80.00
850	41.23	58.31	82.46
900	42.43	60.00	84.85
950	43.59	61.64	87.18
1000	44.72	63.25	89.44
1100	46.90	66.33	93.81
1200	48.99	69.28	97.98
1300	50.99	72.11	101.98
1400	52.92	74.83	105.83
1500	54.77	77.46	109.54
1600	56.57	80.00	113.14
1700	58.31	82.46	116.62
1800	60.00	84.85	120.00
1900	61.64	87.18	123.29
2000	63.25	89.44	126.49
2200	66.33	93.81	132.66
2400	69.28	97.98	138.56
2600	72.11	101.98	144.22
2800	74.83	105.83	149.67
3000	77.46	109.54	154.92
3300	81.24	114.89	162.48
3500	83.67	118.32	167.33
4000	89.44	126.49	178.89
4500	94.87	134.16	189.74
5000	100.00	141.42	200.00
5500	104.88	148.32	209.76
6000	109.54	154.92	219.09

Tabela 3 – Tensões RMS em função da Potência Nominal.

Uma tensão de pico igual a $20 \cdot \sqrt{2} = 28,28$ Volts, produzirá uma potência máxima (de pico) igual a 100 Watts.

$$P_p = \frac{(28,28)^2}{8} = \frac{(20 \cdot \sqrt{2})^2}{8} = \frac{400 \cdot 2}{8} = \frac{800}{8} = 100 \text{ Watts}$$

Potência de pico de programa musical:

$$P_{PPM} = \frac{40^2}{8} = \frac{1600}{8} = 200 \text{ Watts}$$

Potência de Programa Musical:

$$P_{PM} = \frac{P_{PPM}}{2} = \frac{200}{2} = 100 \text{ Watts}$$

STUDIO R
relação sinal / ruído melhor do que 105dBa
com distorção (THD) menor do que 0,05 %.
Resposta de frequência: 15Hz a 40kHz @ -3dB

1600 watts RMS 4 ohms	800 watts RMS por canal
1000 watts RMS 8 ohms	500 watts RMS por canal

Totalmente balanceado, com opto-limitador, sistemas de proteção, ventilação progressiva e high-pass filter.

Fig. 4 – Potências nominais, em 4 e 8 Ohms, do Z 1600.

Sensibilidade do Amplificador

Segundo o manual do amplificador marca Studio R, modelo Z1600 (disponível na home page www.studior.com.br), sua sensibilidade é igual a 0,775 V RMS. Assim sendo, esta tensão deve ser aplicada, na entrada, para a obtenção da potência nominal, na saída.

Na Fig. 4, também obtida no site do fabricante, vemos as potências nominais correspondentes a cargas de 4 e 8 Ohms, por canal, 800 e 500 Watts, respectivamente.

No caso de operação em 4 Ohms, a tensão RMS, disponível na saída do amplificador será igual a :

$$\sqrt{800 \cdot 4} = \sqrt{3200} = 56,6 \text{ Volts. Para uma carga de 8 Ohms, a tensão RMS na saída será : } \sqrt{500 \cdot 8} = \sqrt{4000} = 63,3 \text{ Volts.}$$

A Tabela 3 permite que esses valores sejam facilmente obtidos. Vamos supor que o amplificador esteja operando em 4 Ohms, ou seja, com dois drivers ligados em paralelo. Neste caso, com 0,775 Volts na entrada teremos 56 Volts RMS na saída, o que corresponde ao máximo valor eficaz de saída, sem distorção significativa.

Calculando os valores de pico correspondentes, para as tensões na entrada e na saída, teremos:

$$0,775 \cdot 1,414 = 1,096 \approx 1,1 \text{ Volts (entrada) e}$$

$$56 \cdot 1,414 = 79 \text{ Volts (saída).}$$

Assim, com 1,1 Volts de pico, na entrada, teremos 79 Volts de pico, na saída, aproximadamente.

Como desejamos limitar a saída em 40 V de pico, deveremos aplicar, na entrada, uma tensão de pico, máxima, igual a:

$$\frac{1,1 \cdot 40}{79} = 0,557 \text{ Volts (Que deverá ser o valor aplicado no limiter)}$$

$$\text{Em dBU: } 20 \cdot \text{Log}\left(0,557 / \sqrt{0,6}\right) = - 2,87$$

$$\text{Em dBV: } 20 \cdot \text{Log}(0,557) = - 5,08$$

Tempos de Attack e Release

Consultando o manual do XTA modelo DP226 (disponível em www.xta.co.uk), vemos que o tempo de ataque sugerido para uma frequência de corte de 1200 Hz é de 0,5 ms, sendo o tempo de release 16 vezes maior, ou seja, 8 ms. Para cortes acima de 2000 Hz poderíamos usar um tempo de attack de 0,3 ms, ficando o tempo de release em 4,8 ms.

Tempos de ataque reduzidos protegem o transdutor de forma mais eficiente.

No entanto, o resultado auditivo pode ficar comprometido, o que obriga o emprego de uma solução de compromisso. Os valores constantes na Tabela 4 são sugestões que devem ser experimentadas para que os valores mais adequados sejam obtidos.

Equação para Cálculo

A tensão a ser aplicada no limitador pode ser obtida, rapidamente, através da seguinte equação:

$$E_L = E_S \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{P_D}{P_A} \cdot \frac{Z_D}{Z_A}}$$

Onde:

E_L = Tensão a ser aplicada no limitador.

E_S = Tensão eficaz de sensibilidade do amplificador (consultar o manual do fabricante).

P_D = Potência no driver (para crossover passivo).

Z_D = Impedância nominal do driver.

P_A = Potência nominal do amplificador.

Z_A = Impedância nominal do amplificador.

Recalculando o exemplo anterior, teremos :

$$E_L = 0,775 \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{125}{800} \cdot \frac{8}{4}} = 0,775 \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{1000}{3200}} = 0,775 \cdot \sqrt{0,5} = 0,548 \text{ Volts}$$

O valor agora obtido, igual a 0,548 Volts, difere do anterior, igual a 0,557 em 1,6 %, sendo esta diferença devida ao erro propagado, muito menor na equação acima.

Os níveis em dBU e dBV poderão ser calculados pelas equações abaixo:

$$N_{\text{dB U}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_S \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{P_D}{P_A} \cdot \frac{Z_D}{Z_A}} \right) \quad ; \quad N_{\text{dB V}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_S \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{P_D}{P_A} \cdot \frac{Z_D}{Z_A}} \right)$$

Freq. de Corte Passa-Altas (Hz)	Tempo de Attack (ms)	Tempo de Release (16x) (ms)
10 – 31	45	720
31 – 63	16	256
63 – 125	8	128
125 – 250	4	64
250 – 500	2	32
500 – 1000	1	16
1000 – 2000	0,5	8
2000 – 22000	0,3	4,8

Tabela 4 – Tempos de Attack e Release, em função da Frequência de Corte, sugeridos pela XTA.

Aplicando os valores do exemplo nas equações acima, teremos:

$$N_{\text{dBu}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_s \cdot \sqrt{\frac{1,6 \cdot P_D \cdot Z_D}{0,6 \cdot P_A \cdot Z_A}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(0,775 \cdot \sqrt{\frac{1,6 \cdot 125 \cdot 8}{0,6 \cdot 800 \cdot 4}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(0,775 \cdot \sqrt{\frac{0,5}{0,6}} \right)$$

$$N_{\text{dBu}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (0,7075) = -3,01$$

$$N_{\text{dBu}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_s \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{P_D}{P_A} \cdot \frac{Z_D}{Z_A}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(0,775 \cdot \sqrt{1,6 \cdot \frac{125}{800} \cdot \frac{8}{4}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} (0,775 \cdot \sqrt{0,5})$$

$$N_{\text{dBu}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} (0,5480) = -5,22$$

Os valores assim obtidos beneficiaram-se, também, de um menor erro propagado, tendo sido os anteriormente calculados iguais a $-2,87$ e $-5,07$, respectivamente.

Limitando Falantes

Para calcular os valores de tensão adequados para falantes, podemos utilizar o mesmo procedimento anterior, com uma única diferença: a potência do falante **não** será multiplicada por 0,4.

As seguintes equações podem ser usadas:

$$E_L = E_s \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{P_F}{P_A} \cdot \frac{Z_F}{Z_A}}$$

$$N_{\text{dBu}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_s \cdot \sqrt{\frac{4 \cdot P_F \cdot Z_F}{0,6 \cdot P_A \cdot Z_A}} \right)$$

$$N_{\text{dBV}} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_s \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{P_F}{P_A} \cdot \frac{Z_F}{Z_A}} \right)$$

Onde:

E_L = Tensão a ser aplicada no limitador.

E_s = Tensão eficaz de sensibilidade do amplificador.

P_F = Potência no falante.

Z_F = Impedância nominal do falante.

P_A = Potência nominal do amplificador.

Z_A = Impedância nominal do amplificador.

Exemplo :

Suponhamos um sistema utilizando o alto-falante 12MB2P na via de médio-graves, com a frequência de corte em 200 Hz, conforme ocorre na maioria dos projetos fornecidos pela Selenium.

Admitindo um fator de crista de 6 dB, teríamos uma potência nos picos máximos igual a 1600 Watts, ou seja, 4 vezes o valor da potência média fornecida no catálogo que vale 400 Watts.

12MB2P Mid-Bass



- ▣ 305 mm (12") Diâmetro
- ▣ 8 Ω Impedância
- ▣ 800 W Programa Musical
- ▣ 400 W RMS (NBR 10.303)
- ▣ 101 dB SPL Sensibilidade
- ▣ 100 a 5.000 Hz (-10 dB)
- ▣ 63 Hz Frequência de Ressonância
- ▣ Compressão de Potência
 - @ 0 dB (Pot. Nom) = 3,9 dB
 - @ -3 dB (Pot. Nom)/2 = 2,6 dB
 - @ -10 dB (Pot. Nom)/10 = 0,6 dB
- ▣ Cone de Celulose Fibra Longa
- ▣ 100 mm Diâmetro da Bobina
- ▣ 2.640 g Peso do Ímã
- ▣ Carcaça de Alumínio

Tabela 5 –Resumo das Características do 12MB2P

Supondo 4 falantes por canal, o amplificador deveria ser especificado como sendo capaz de fornecer 6400 Watts por canal, em dois Ohms, o que daria uma potência total de 12800 Watts, nos dois canais ! Embora não exista nada de errado com os valores acima, e nos testes de potência, efetuados na Selenium, os falantes de 400 Watts sejam submetidos, por duas horas, a picos de programa de 1600 Watts com 400 watts de potência média, ou seja, com um fator de crista de 6 dB, este amplificador seria caro, volumoso e difícil de ser encontrado.

Compressão de Potência

Outro aspecto que deve ser considerado é a compressão de potência.

Este parâmetro retrata a redução na eficiência, que ocorre no transdutor, à medida que maiores valores de potência elétrica são aplicados.

Uma das razões que leva a isso está no aumento da resistência da bobina, com a elevação da temperatura, provocada pela potência aplicada.

Nos catálogos dos produtos Selenium são fornecidos valores da compressão de potência para 3 diferentes níveis: potência máxima (0 dB), metade da potência (-3 dB) e um décimo da potência (-10 dB). Conforme vemos na Tabela 5, com 400 Watts de potência média a compressão de potência será igual a 3,9 dB. Isto significa que efetivamente teremos um nível de SPL quase 4 dB abaixo do esperado, se a compressão de potência não existisse.

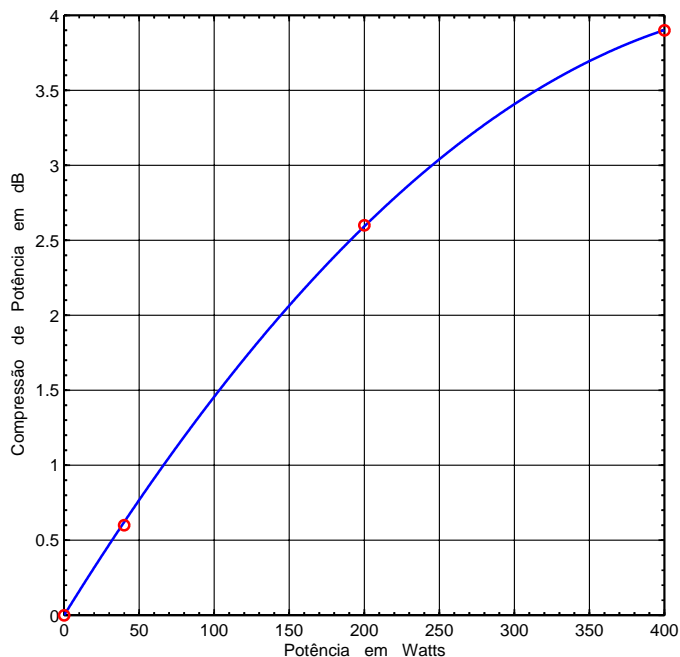


Fig. 5 – Compressão de Potência.

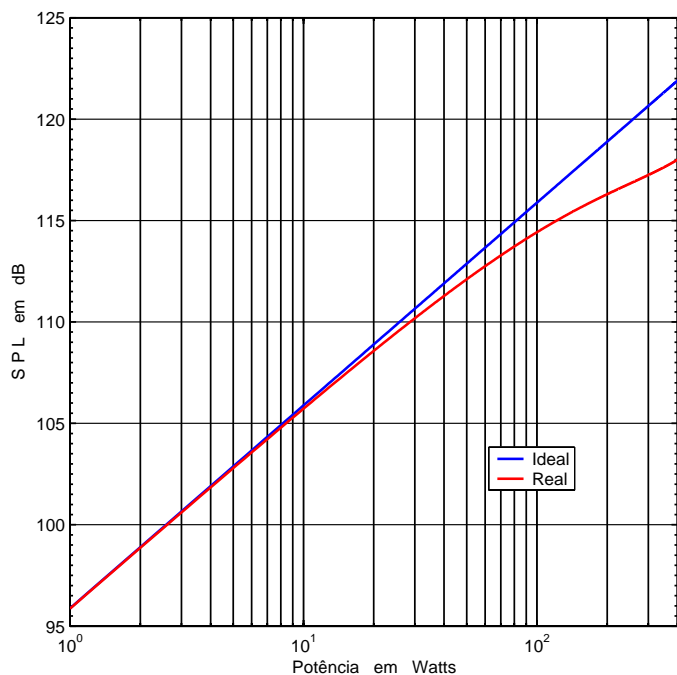


Fig. 6 – SPL sem e com a Compressão de Potência.

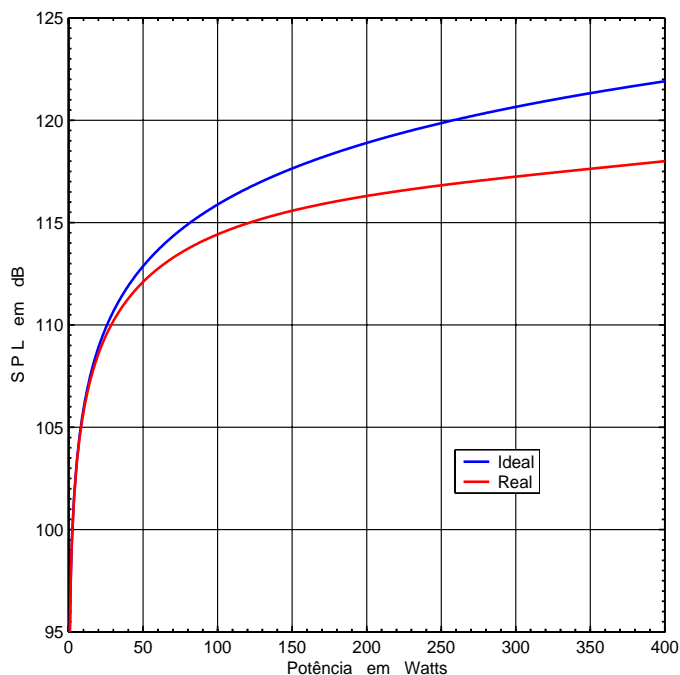


Fig. 7 – O mesmo que a Fig. 6 mas em escala linear.

A Fig. 5 foi obtida a partir dos dados de compressão de potência, fornecidos no catálogo, ajustados por um polinômio do segundo grau, o que nos permite obter a compressão de potência para quaisquer valores de potência, até a máxima admissível.

Através das curvas na Fig. 6 podemos visualizar claramente o fenômeno: a curva em azul (*ideal*), mostra como deveria crescer o nível da pressão acústica com a potência aplicada, enquanto que a curva vermelha (*real*) indica o crescimento realmente obtido. As diferenças de nível entre as duas curvas correspondem à compressão de potência, mostrada na Fig. 5.

Na curva da Fig. 7, em escala linear, podemos ver o “joelho” causado pela compressão de potência.

Z 2400 relação sinal / ruído melhor do que 105dBa
 com distorção (THD) menor do que 0,05 %.
 Resposta de frequência: 15Hz a 40kHz @ -3dB

2400 watts RMS 4 ohms	1200 watts RMS por canal
1650 watts RMS 8 ohms	825 watts RMS por canal

Totalmente balanceado, com opto-limitador, sistemas de proteção, ventilação progressiva e high-pass filter.

Tabela 6 – Amplificador Studio R Z 2400.

alem de menor distorção e menor variação nos parâmetros do transdutor.

Na Fig. 5 vemos que operando o falante com uma potência média de 150 Watts teremos uma compressão de potência aproximadamente igual a 2 dB, ao invés dos 3,9 dB, com 400 Watts.

Neste caso, trabalhando com 2 falantes por canal (4 Ohms) e um fator de crista de 6 dB, precisaremos de um amplificador capaz de fornecer $4 \cdot 150 \cdot 2 = 1200$ Watts por canal.

O amplificador modelo Z 2400, da Studio R, atende a esses requisitos, conforme a Tabela 6.

A sensibilidade deste amplificador é igual a 0,775 Volts e a tensão a ser aplicada no limitador será:

$$E_L = E_S \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{P_F}{P_A} \cdot \frac{Z_F}{Z_A}} = 0,775 \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{150}{1200} \cdot \frac{8}{4}} = 0,775 \text{ Volts}$$

Calculando em dBu e dBV, teremos:

$$N_{dBu} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_S \cdot \sqrt{\frac{4}{0,6} \cdot \frac{P_F}{P_A} \cdot \frac{Z_F}{Z_A}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(0,775 \cdot \sqrt{\frac{4}{0,6} \cdot \frac{150}{1200} \cdot \frac{8}{4}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10}(1) = 0$$

$$N_{dBV} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E_S \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{P_F}{P_A} \cdot \frac{Z_F}{Z_A}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(0,775 \cdot \sqrt{4 \cdot \frac{150}{1200} \cdot \frac{8}{4}} \right) = 20 \cdot \text{Log}_{10}(0,775) = -2,22$$

No caso deste exemplo, o circuito de proteção (limiter) do próprio amplificador já impediria que tensões acima de 0,775 Volts na entrada produzissem tensões na saída acima de 69,28 Volts, o que corresponde a uma potência de 1200 watts em 4 Ohms, conforme a Tabela 3.

Deste modo, o uso de um limitador externo ao amplificador seria desnecessário.

No entanto, tal não acontece devido ao tempo de attack do limitador do amplificador, que está ajustado para graves, não ser rápido o suficiente para limitar a frequência mais alta presentes na via de médio-graves, como acontece neste exemplo.

Tempo de Attack

Conforme a Tabela 4, deveremos usar um tempo de attack igual a 4 ms e um tempo de release de 64 ms.

É importante ressaltar que o circuito limitador não será sensível à potência média mas, sim, aos picos de tensão que, em sua maioria, não produzirão aumento significativo na tensão de saída quando ultrapassarem o limiar de 0,775 V (exceção para os sinais com um crescimento muito rápido). No entanto, um programa muito comprimido, com um fator de crista muito baixo, poderia exceder o limite da potência média, danificando os falantes.

Continuando com o Exemplo :

Em função da compressão de potência, parece sensato trabalhar com o falante em níveis de potência média inferiores ao máximo. Com isso, a temperatura na bobina será reduzida, trazendo uma série de benefícios, que vão desde a confiabilidade, até um melhor aproveitamento da potência no amplificador (menor compressão de potência),

$$N_{(\text{dBu})} = 20 \cdot \text{Log}_{10} \left(E / \sqrt{0,6} \right)$$

$$0 \text{ dBu} \Leftrightarrow \sqrt{0,6} \approx 0,7746 \text{ Volts}$$

Volts	dBu	Volts	dBu	Volts	dBu	Volts	dBu
1	2.2185	0.7	-0.8796	0.4	-5.7403	0.1	-17.7815
0.99	2.1312	0.69	-1.0045	0.39	-5.9602	0.09	-18.6967
0.98	2.0430	0.68	-1.1313	0.38	-6.1858	0.0872	-18.9671
0.97	1.9539	0.67	-1.2600	0.37	-6.4175	0.0845	-19.2462
0.96	1.8639	0.66	-1.3906	0.36	-6.6555	0.0817	-19.5345
0.95	1.7730	0.65	-1.5232	0.35	-6.9002	0.0790	-19.8328
0.94	1.6810	0.64	-1.6579	0.34	-7.1519	0.0762	-20.1416
0.93	1.5881	0.63	-1.7947	0.33	-7.4112	0.0734	-20.4619
0.92	1.4942	0.62	-1.9337	0.32	-7.6785	0.0707	-20.7944
0.91	1.3993	0.61	-2.0749	0.31	-7.9543	0.0679	-21.1401
0.9	1.3033	0.6	-2.2185	0.3	-8.2391	0.0652	-21.5002
0.89	1.2063	0.59	-2.3645	0.29	-8.5336	0.0624	-21.8759
0.88	1.1081	0.58	-2.5130	0.28	-8.8384	0.0597	-22.2686
0.87	1.0089	0.57	-2.6640	0.27	-9.1542	0.0569	-22.6798
0.86	0.9085	0.56	-2.8178	0.26	-9.4820	0.0541	-23.1115
0.85	0.8069	0.55	-2.9743	0.25	-9.8227	0.0514	-23.5657
0.84	0.7041	0.54	-3.1336	0.24	-10.1773	0.0486	-24.0451
0.83	0.6000	0.53	-3.2960	0.23	-10.5470	0.0459	-24.5524
0.82	0.4948	0.52	-3.4614	0.22	-10.9331	0.0431	-25.0913
0.81	0.3882	0.51	-3.6301	0.21	-11.3371	0.0403	-25.6658
0.8	0.2803	0.5	-3.8021	0.2	-11.7609	0.0376	-26.2809
0.79	0.1710	0.49	-3.9776	0.19	-12.2064	0.0348	-26.9430
0.78	0.0604	0.48	-4.1567	0.18	-12.6761	0.0321	-27.6598
0.77	-0.0517	0.47	-4.3396	0.17	-13.1725	0.0293	-28.4411
0.76	-0.1652	0.46	-4.5264	0.16	-13.6991	0.0266	-29.2997
0.75	-0.2803	0.45	-4.7173	0.15	-14.2597	0.0238	-30.2525
0.74	-0.3969	0.44	-4.9125	0.14	-14.8590	0.0210	-31.3229
0.73	-0.5151	0.43	-5.1121	0.13	-15.5026	0.0183	-32.5440
0.72	-0.6349	0.42	-5.3165	0.12	-16.1979	0.0155	-33.9652
0.71	-0.7563	0.41	-5.5258	0.11	-16.9537	0.0128	-35.6654
0.7	-0.8796	0.4	-5.7403	0.1	-17.7815	0.01	-37.7815

Tabela 7 - Correspondências entre Tensões em Volts e dBu

$$N_{(\text{dBV})} = 20 \cdot \text{Log}_{10}(E)$$

$$0 \text{ dBU} \Leftrightarrow 1 \text{ Volt}$$

Volts	dBV	Volts	dBV	Volts	dBV	Volts	dBV
1	0	0.7	-3.0980	0.4	-7.9588	0.1	-20
0.99	-0.0873	0.69	-3.2230	0.39	-8.1787	0.09	-20.9151
0.98	-0.1755	0.68	-3.3498	0.38	-8.4043	0.0872	-21.1855
0.97	-0.2646	0.67	-3.4785	0.37	-8.6360	0.0845	-21.4646
0.96	-0.3546	0.66	-3.6091	0.36	-8.8739	0.0817	-21.7530
0.95	-0.4455	0.65	-3.7417	0.35	-9.1186	0.0790	-22.0513
0.94	-0.5374	0.64	-3.8764	0.34	-9.3704	0.0762	-22.3601
0.93	-0.6303	0.63	-4.0132	0.33	-9.6297	0.0734	-22.6804
0.92	-0.7242	0.62	-4.1522	0.32	-9.8970	0.0707	-23.0129
0.91	-0.8192	0.61	-4.2934	0.31	-10.1728	0.0679	-23.3586
0.9	-0.9151	0.6	-4.4370	0.3	-10.4576	0.0652	-23.7187
0.89	-1.0122	0.59	-4.5830	0.29	-10.7520	0.0624	-24.0944
0.88	-1.1103	0.58	-4.7314	0.28	-11.0568	0.0597	-24.4870
0.87	-1.2096	0.57	-4.8825	0.27	-11.3727	0.0569	-24.8983
0.86	-1.3100	0.56	-5.0362	0.26	-11.7005	0.0541	-25.3300
0.85	-1.4116	0.55	-5.1927	0.25	-12.0412	0.0514	-25.7842
0.84	-1.5144	0.54	-5.3521	0.24	-12.3958	0.0486	-26.2636
0.83	-1.6184	0.53	-5.5145	0.23	-12.7654	0.0459	-26.7709
0.82	-1.7237	0.52	-5.6799	0.22	-13.1515	0.0431	-27.3098
0.81	-1.8303	0.51	-5.8486	0.21	-13.5556	0.0403	-27.8842
0.8	-1.9382	0.5	-6.0206	0.2	-13.9794	0.0376	-28.4994
0.79	-2.0475	0.49	-6.1961	0.1900	-14.4249	0.0348	-29.1615
0.78	-2.1581	0.48	-6.3752	0.1800	-14.8945	0.0321	-29.8783
0.77	-2.2702	0.47	-6.5580	0.1700	-15.3910	0.0293	-30.6596
0.76	-2.3837	0.46	-6.7448	0.1600	-15.9176	0.0266	-31.5181
0.75	-2.4988	0.45	-6.9357	0.1500	-16.4782	0.0238	-32.4710
0.74	-2.6154	0.44	-7.1309	0.1400	-17.0774	0.0210	-33.5414
0.73	-2.7335	0.43	-7.3306	0.1300	-17.7211	0.0183	-34.7624
0.72	-2.8534	0.42	-7.5350	0.1200	-18.4164	0.0155	-36.1837
0.71	-2.9748	0.41	-7.7443	0.1100	-19.1721	0.0128	-37.8839
0.7	-3.0980	0.4	-7.9588	0.1000	-20.0000	0.0100	-40.0000

Tabela 8 - Correspondências entre Tensões em Volts e dBV

Bibliografia

1 - Interface Amplificador Falante em Regime de Potência
Ruy Monteiro
Disponível em www.studior.com.br

2 – Potência “RMS” ou Potência Média ?
Homero Sette Silva
Disponível em www.selenium.com.br

3 – Tabela Comparativa de Drivers
Homero Sette Silva
Disponível em www.selenium.com.br

4 – Tabela Comparativa de Alto-Falantes
Homero Sette Silva
Disponível em www.selenium.com.br

Agradecimentos

O Autor agradece:

A Tadeslau Antonio da Silva Souza, Coordenador de Produto Automotivo e Gustavo Pigatto Bohn, Analista de Produto, ambos da Selenium, pelas inúmeras e profícuas discussões a respeito do tema aqui abordado;

Ao Sound Engineer Vavá Furquim pelas valiosas informações prestadas, fruto da sua vasta experiência;

Ao Ruy Monteiro, da Studio R, pela cuidadosa revisão do texto;

Ao Eng. Rosalfonso Bortoni, MsC, pelos comentários e sugestões ao texto;

À Eletrônica Selenium S. A. pelos recursos colocados à disposição do Autor, que a exime de quaisquer responsabilidades quanto às informações aqui veiculadas, da inteira responsabilidade do Autor.