

PROJETANDO CAIXAS TIPO REFLETOR DE GRAVES, COM FILTRO

Homero Sette

Veja como projetar caixas do tipo refletor de graves, com filtro de segunda ordem incorporado, através do método T-S, empregando tabelas

INTRODUÇÃO

A função transferência de um Refletor de Graves convencional, conforme demonstrado por Neville Thiele, corresponde à de um filtro passa-altas de quarta ordem e pode ser modificada, através da associação de filtros externos, sejam eles passivos (indutores, capacitores) ou ativos (transistores, circuitos integrados), de modo a que se obtenham respostas de ordem mais elevada, tais como as de quinta e sexta ordens, discutidas por Thiele em seu trabalho(1).

A Fig. 1 ilustra essa idéia e, na Fig. 2, vemos o procedimento para a obtenção de uma resposta de sexta ordem, através da associação de um filtro passa-altas de segunda ordem, com o Refletor de Graves convencional.

Em nossa análise, optamos pelos filtros do tipo ativo, com Amplificadores Operacionais, dada a grande facilidade, precisão e baixo custo com que são atualmente implementados e, dentre esses, devido a uma excelente relação custo/benefício, vamos dar preferência aos de segunda ordem, o que vai nos levar a sistemas com respostas de sexta ordem.

VANTAGENS DO USO DE FILTROS

O Refletor de Graves, como vimos em nosso artigo anterior, tem tendência

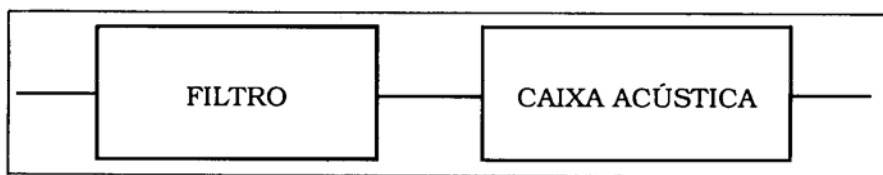


Fig. 1 – Filtro associado a uma caixa acústica.

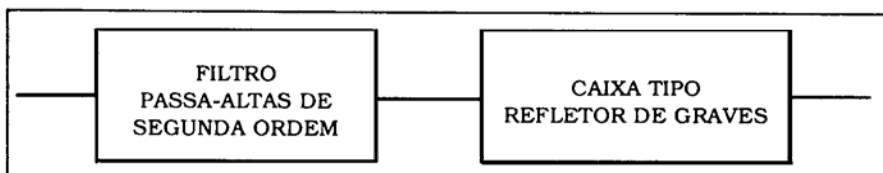


Fig. 2 – Associação de um Filtro PA de 2ª ordem a uma caixa RG, para obtenção de um sistema de 6ª ordem.

a apresentar grandes deslocamentos no cone para frequências abaixo de F_b (frequência de sintonia da caixa, obtida através do duto), o que pode acarretar distorção ou até danos ao falante. Só por esse fato, o uso de filtros passa-altas, com as frequências de corte localizadas em F_b (ou nas suas vizinhanças), é um procedimento prático bastante recomendável, de longa data conhecido como "filtro de rumble".

A principal diferença, entre essa abordagem tradicional e aquela proposta por Thiele, consiste em que a primeira traz apenas o benefício da eliminação das

baixas frequências, o que previne os excessivos deslocamentos do cone e o aquecimento inútil da bobina com sinais inaudíveis, enquanto a que vamos aqui abordar, além desse mesmo benefício, permite que a resposta do sistema (filtro+caixa+falante) seja otimizada, o que possibilita a obtenção dos mesmos graves, com caixas menores, ou de mais graves com o mesmo volume, o que amplia as possibilidades de projeto.

Ilustrando o que dissemos acima, temos a Fig. 13, onde vemos a comparação entre as respostas de frequência e do deslocamento relativo do cone, (nor-

malizadas em relação a $F_s=F_b$), para alinhamentos do tipo Butterworth, das seguintes ordens: 2ª, correspondendo ao Baffle Infinito (Caixa Fechada com $\alpha < 1$), 4ª, do Refletor de Graves convencional e 6ª, para o Refletor de Graves com filtro de segunda ordem associado.

Conforme podemos constatar na Fig. 3, para frequências acima de F_b , os deslocamentos do cone, nos três casos, tendem a se confundir, mas, de F_b para baixo, o que corresponde ao sistema de 6ª ordem tende para zero, enquanto os outros dois caminham em direção a 100%.

Quanto as vantagens na resposta de frequência/volume interno, vamos apresentar na Fig. 4, um exemplo proposto por D.B. Keele Jr, onde três caixas (Fechada, RG convencional e RG com filtro), todas com 57 litros de volume, foram projetadas para produzir respostas aproximadamente Butterworth, com frequências de corte de 30Hz e uma potência acústica de 0,2 Watts na banda passante.

Analisando esse exemplo, vemos que a Caixa Fechada utilizou um woofer de 15", além do mid-range e do tweeter, necessitando de um amplificador de 120 Watts para cumprir os requisitos de potência acústica; no Refletor de Graves convencional, o diâmetro do falante de graves caiu para 10" e um amplificador com apenas 60 Watts foi suficiente; no Refletor de Graves, com filtro, as mudanças foram dramáticas: ao invés de três vias, bastaram duas, alimentadas por um amplificador de 25 Watts, tendo o

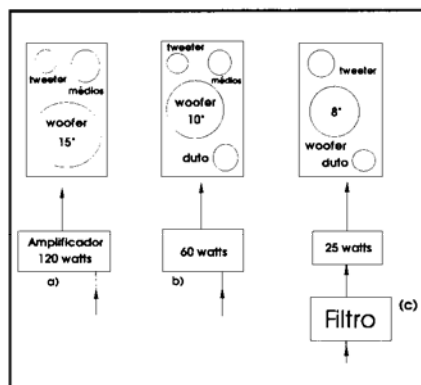


Fig. 4 – Três diferentes sistemas, com caixas de igual volume interno, mesma frequência de corte e idêntica potência acústica, do tipo:
a) Caixa Fechada
b) Refletor de Graves
c) Refletor de Graves, com Filtro de 2ª ordem

woofer apenas 8" de diâmetro.

A diminuição nos diâmetros dos falantes ocorreu devido aos volumes de ar, a serem deslocados por cada um deles, terem sofrido redução acentuada à medida que a ordem do sistema aumentava. No caso com filtro, o pequeno diâmetro necessário permitiu que a resposta de frequência do falante fosse estendida o suficiente de modo que um cruzamento adequado com o tweeter foi alcançado, sem a necessidade de um driver específico para a faixa média, o que originou um sistema a duas vias.

A progressiva redução na potência dos amplificadores, observada nos três projetos, deveu-se aos diferentes falantes exigidos, cujas características estão resumidas no Quadro 1. No caso da Caixa Fechada, para que o corte ocorresse em 30 Hz, foi necessário um falante com uma frequência de ressonância de somente 13 Hz, o que lhe confere um baixo rendimento (proporcional ao cubo de F_s). Nos outros dois casos, os falantes tiveram uma frequência de ressonância de 30 Hz, pois, nas respostas Butterworth, a caixa deverá ser sintonizada na frequência de ressonância do falante, produzindo uma idêntica frequência de corte (-3dB), ou seja, $F_s=F_b=F_3$. No entanto, na situação com filtro, o falante especificado tem um Q_{es} inferior e um V_{as} maior do que seus correspondentes valores no caso conven-

cional, o que implicou aumento no rendimento de referência, n_0 .

Um outro exemplo, onde podemos constatar o superior desempenho do sistema de 6ª ordem, está ilustrado na Fig. 5, que o compara com o Refletor de Graves convencional. A frequência de corte obtida no sistema com filtro é bem inferior à conseguida com o sistema de 4ª ordem, e o deslocamento do cone, no primeiro caso, atinge limites bem menores, para frequências abaixo de F_b .

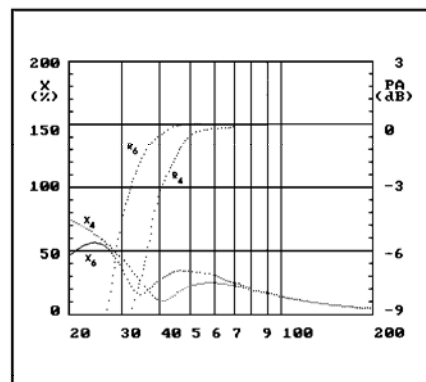


Fig. 5 – Curvas de Resposta (R) e Deslocamento do Cone (X), referentes a um falante de $F_s=40$ Hz, $Q_{ts}=0,4$ e $V_{as}=200$ litros, instalado em:
4) Caixa, RG com $V_b=180$ litros e $F_b=40,4$ Hz
6) RG, com Filtro, $V_b=176$, $F_b=34,2$, $Q_F=1,5$ e $F_F=30$ Hz

TIPOS DE ALINHAMENTO

Uma outra característica interessante do Refletor de Graves de 6ª ordem é que uma mesma resposta pode ser obtida através de três diferentes conjuntos de parâmetros (alinhamento). Para melhor esclarecer esse assunto, tomemos a resposta Butterworth como exemplo que, no sistema de 4ª ordem (sem filtro), só ocorre para um único Qts de 0,405 e α igual a 1,062; com a utilização de um filtro de 2ª ordem, a mesma resposta B6 pode ser obtida através de três diferentes conjuntos de Qts que são (para QL=7), 0,312, 0,434 e 0,559 e α iguais a 2,274, 0,670 ou 0,476, respectivamente.

Cada um desses três conjuntos de parâmetros foram fornecidos por três diferentes alinhamentos denominados (na mesma ordem) Tipos I, II e III, o que significa que uma mesma resposta pode ser obtida de três diferentes maneiras.

Para entender a razão desse fato, devemos lembrar que a resposta de 4ª ordem correspondente ao Refletor de Graves sem filtro, pode ser dividida em dois blocos de 2ª ordem que, associados em cascata ao filtro de mesma ordem, compõem a resposta resultante, de 6ª. Como a ordem dos fatores não altera o produto, podemos fazer um "rodízio" com as 3 seções de 2ª ordem, o que levará a três composições diferentes, cada uma caracterizando um dos tipos de alinhamento citados, permitindo que os mesmos resultados sejam possíveis de serem obtidos com três diferentes falantes.

O CIRCUITO DE FILTRO

A função transferência do filtro de 2ª ordem, a ser associado com o Refletor de Graves convencional, é idêntica à que corresponde ao Baffle Infinito ou à Caixa Fechada, e pode ser obtida de várias maneiras, estando representado na Fig. 6 o circuito por nós escolhido para cumprir essa finalidade, que usa um amplificador operacional.

O quociente R_1/R_2 , ou seja, a razão entre os resistores, definirá o Fator de Amortecimento do filtro, representando por d (dumping) ou o seu inverso, o Fator de Qualidade do filtro, Q_F , conforme a equação 1: A frequência característica do filtro, F_F , e dada pela equação (2). Como os valores de R e C são, normalmente, as incógnitas, essas duas relações ficam mais práticas nas formas dadas por (3) e (4), sendo esta última válida para os valo-

res de R expressos em K Ω , C em μ F e F_F em Hz.

$$d = \frac{1}{Q_F} = 2\sqrt{\frac{R_1}{R_2}} \quad (1)$$

$$F_F = \frac{1}{(d \cdot \pi \cdot R_2 \cdot C)} = \frac{Q_F}{(\pi \cdot R_2 \cdot C)} \quad (2)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{d^2}{4} = \frac{0,25}{Q_F^2} \quad (3)$$

$$R_2 \cdot C = \frac{1000}{d \cdot \pi \cdot F_F} = 1000 \cdot \frac{Q_F}{\pi \cdot F_F} \quad (4)$$

(R em K Ω , e C em μ F)

Para facilitar a especificação de componentes que tenham valores comerciais, temos na Tabela 1 as séries de valores

padrão de resistores, de tolerância $\pm 5\%$, $\pm 2\%$ e $\pm 1\%$, em geral fabricados segundo a tecnologia metal-film e disponíveis em múltiplos de 10 daqueles valores.

Para os capacitores, podemos nos guiar pelos valores da série de $\pm 5\%$.

Fisicamente, no sistema, o filtro deve ser colocado antes do estágio de potência, em locais como a saída do pré, a entrada do crossover ativo ou saída da via dos graves. O melhor local vai depender da amplitude dos sinais, que devem ser compatíveis com a alimentação DC do amplificador operacional utilizado no filtro, sua figura de ruído, resposta de frequência e slew-rate. De um modo geral, devemos evitar pontos em que a amplitude do sinal seja muito baixa ou muito alta.

h

Par.	Caixa Fechada (2ª ordem)	Refletor de Graves (4ª ordem)	Refletor de Graves (6ª ordem)
F3	30 Hz	30	30
Vb	56,6 litros	56,6	56,6
Fs	13 Hz	30	30
Vas	280 litros	60	120
Qts	0,31	0,40	0,30
Qes	0,33	0,44	0,35
no	0,18%	0,36	0,90
V _D	539 cm ³	189	124
*MAX	0,635 cm	0,635	0,635
P _{AR}	0,2 W	0,2	0,2
P _{ER}	112 W	56	22,4

Quadro 1 – Parâmetros dos falantes adequados à obtenção de idênticas frequências de corte e potências acústicas, na banda passante, com caixas de mesmo volume, dos tipos Fechado, Refletor de Graves e Refletor de Graves com Filtro, segundo D. B. Keele Jr.

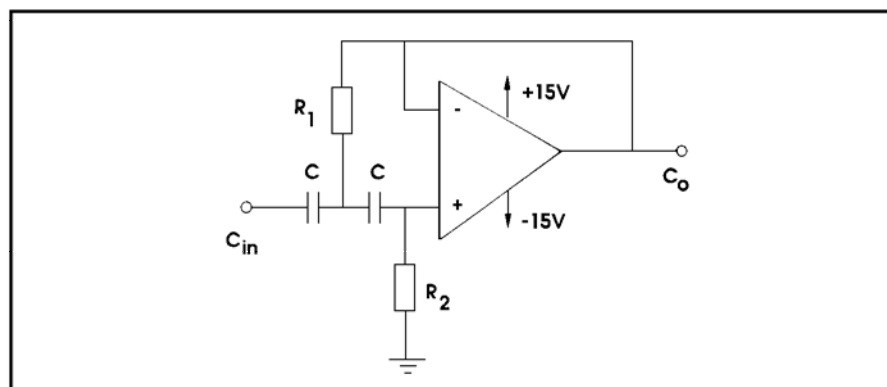


Fig. 6 - Filtros de Passa-Altas de 2º ordem.

$\pm 5\%$	$\pm 2\%$	$\pm 1\%$			
10	10	100	178	316	562
	11	102	182	324	576
12	12	105	187	332	590
	13	107	191	340	604
15	15	110	196	348	619
	16	113	200	357	634
18	18	115	205	365	649
	20	118	210	374	665
22	22	121	215	383	681
	24	124	221	392	698
27	27	127	226	402	715
	30	130	232	412	732
33	33	133	237	422	750
	36	137	243	432	768
39	39	140	249	442	787
	43	143	255	453	806
47	47	147	261	464	825
	51	150	267	475	845
56	56	154	274	487	866
	62	158	280	499	887
68	68	162	287	511	909
	75	165	294	532	931
82	82	169	301	536	953
	91	174	309	549	976

Tabela 1 – Valores padrão de resistores de fabricação nacional

Som Profissional Made in Brazil



A Made in Brazil oferece a você uma linha de sonorização profissional e uma variedade de instrumentos musicais de última geração. Você não precisa mais pesquisar, venha direto a Made in Brazil. O melhor em sonorização profissional. Venha conhecer os últimos lançamentos em nosso show-room.

Micrologic
Advance
Cygnus

Staner
Novik
Chorus

Oliver
Selenium
Korg

Leson
Boss
JBL

Zildjan
Fender

Atendemos também vendas por atacado.

Rua Santa Ifigênia, 186 - São Paulo - SP - tels.: (011) 229-8148 / 229-7500 - Disque Grátis 0800-117500

PROJETANDO CAIXAS

TIPO REFLETOR DE GRAVES,

COM FILTRO

Final

Homero Sette

O projeto de sistemas de 6ª ordem fica bastante facilitado com o uso das Tabelas 2 a 10, desenvolvidas para esse fim por R.M.Bullock(4), e aqui reproduzidas em parte.

Devemos notar que, nas referidas tabelas, todas as frequências estão normalizadas em relação a F_s , que é a Frequência de Ressonância do alto-falante. A coluna R (ripple) exprime, em dB, a amplitude dos eventuais picos na resposta, presentes, apenas, nos alinhamentos C6 (Chebichev de 6ª ordem).

Exemplo 1:

Suponhamos um falante com $F_s=40\text{Hz}$. $Q_{ts}=.75$ e $V_{as}=200$ litros, com o qual desejamos obter uma resposta de 6ª ordem, do Tipo III.

Admitindo que as perdas na caixa serão, predominantemente, por vazamento, escolhemos $Q_L=7$ (valor típico).

Entrando na Tabela 9, obtemos:

a) $F_b/F_s=0.9139$ Logo, $F_b=40.0,9139=36,5\text{Hz}$

b) $V_{as}/V_b=0,2001$ Logo, $V_b=200/0,2001=1000$ Litros

c) $F_i/F_s=1.2477$ Logo, $F_i=40.1,2477=49,908\text{Hz}$

d) $d=1,8651$ Logo, $Q_f=1/1,8651=0,536$

e) $F_3/F_s=0,8753$ Logo, $F_3=40.0,8753=35\text{Hz}$

f) R é desprezível

g) $R_2.C=1000/(1,8651.3,1416.49,908)=3,420$ (equação 4) por tentativa, na Tabela 1, vem: $R_2=49,9\text{K}$ e $C=.068\mu\text{F}$

h) $R_1/R_2=1,8651^2/4=0,870$ (equação 3) por tentativa, na Tabela 1, vem $R_1=43,2\text{K}$

Na figura 7 vemos as curvas de resposta (R6) e do deslocamento relativo do cone (X6) para o exemplo 1, bem como a curva do filtro utilizado (F), além daquelas de 4ª ordem, R4 e X4, para a caixa projetada, atuando sem o circuito de filtro.

Já na figura 8, temos a comparação das curvas de resposta R6, e do deslocamento X6, com as respectivas R4 e X4, também de um Refletor de Graves, sem filtro, mas de projeto otimizado para essa condição (no caso anterior, a caixa havia sido dimensionada para funcionar acoplada ao filtro). Como podemos ver, o filtro possibilitou a obtenção de uma resposta plana, com acentuada redução no deslocamento do cone, mas com uma frequência de corte mais elevada.

Tabelas 2, 3 e 4: Alinhamento Tipo I para Q_L igual a 5, 7 e 10, respectivamente.

Tabela 2
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS I
 $Q_L = 5$

Q_r	F_b/F_s	V_{as}/V_b	f_i/f_s	F_i/F_s	d	R
.20	1.3625	6.6952	1.9201	1.9195	.6159	
.21	1.3081	5.9843	1.8179	1.8170	.6153	
.22	1.2595	5.3684	1.7237	1.7227	.6144	
.23	1.2161	4.8314	1.6365	1.6352	.6133	
.24	1.1772	4.3605	1.5551	1.5536	.6118	
.25	1.1425	3.9453	1.4786	1.4767	.6097	
.26	1.1117	3.5776	1.4061	1.4038	.6069	
.27	1.0843	3.2506	1.3367	1.3339	.6029	
.28	1.0604	2.9587	1.2694	1.2660	.5972	
.29	1.0397	2.6974	1.2029	1.1990	.5896	
.30	1.0223	2.4631	1.1356	1.1313	.5749	
.31	1.0083	2.2527	1.0640	1.0605	.5512	
.32	.9980	2.0640	.9814	.9830	.5057	*
.33	.9872	1.8906	.9051	.9123	.4563	*
.34	.9741	1.7304	.8426	.8533	.4154	*
.35	.9591	1.5838	.7900	.8030	.3808	*
.36	.9427	1.4507	.7451	.7594	.3512	*
.37	.9253	1.3310	.7061	.7213	.3257	*
.38	.9074	1.2239	.6720	.6877	.3034	.01
.39	.8892	1.1288	.6421	.6581	.2839	.01
.40	.8712	1.0445	.6155	.6317	.2667	.02
.41	.8536	.9700	.5920	.6082	.2515	.04
.42	.8364	.9043	.5710	.5872	.2380	.05
.43	.8200	.8463	.5522	.5684	.2259	.08
.44	.8043	.7950	.5354	.5515	.2151	.10
.45	.7893	.7496	.5202	.5362	.2054	.13
.46	.7752	.7093	.5065	.5224	.1965	.17
.47	.7618	.6733	.4940	.5099	.1885	.21
.48	.7491	.6412	.4827	.4985	.1812	.25
.49	.7372	.6123	.4724	.4881	.1746	.30
.50	.7260	.5862	.4630	.4786	.1685	.34

Tabela 3
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS I
 $Q_L = 7$

Q_r	F_b/F_s	V_{as}/V_b	f_i/f_s	F_i/F_s	d	R
.20	1.3391	6.8392	1.8878	1.8871	.6158	
.21	1.2864	6.1148	1.7865	1.7856	.6151	
.22	1.2394	5.4872	1.6931	1.6920	.6141	
.23	1.1974	4.9401	1.6065	1.6051	.6129	
.24	1.1600	4.4604	1.5254	1.5238	.6111	
.25	1.1267	4.0376	1.4491	1.4471	.6088	
.26	1.0972	3.6632	1.3764	1.3739	.6055	
.27	1.0713	3.3304	1.3065	1.3034	.6007	
.28	1.0488	3.0336	1.2380	1.2344	.5937	
.29	1.0297	2.7682	1.1696	1.1655	.5827	
.30	1.0140	2.5305	1.0987	1.0945	.5642	
.31	1.0021	2.3178	1.0196	1.0181	.5294	
.32	.9922	2.1256	.9341	.9394	.4751	*
.33	.9799	1.9474	.8645	.8741	.4295	*
.34	.9656	1.7838	.8068	.8192	.3915	*
.35	.9496	1.6350	.7581	.7720	.3592	*
.36	.9325	1.5008	.7162	.7312	.3315	*
.37	.9148	1.3807	.6798	.6955	.3076	.01
.38	.8967	1.2740	.6480	.6640	.2867	.01
.39	.8787	1.1795	.6201	.6363	.2684	.02
.40	.8610	1.0962	.5954	.6117	.2523	.04
.41	.8439	1.0228	.5735	.5898	.2380	.05
.42	.8275	.9582	.5541	.5703	.2253	.08
.43	.8119	.9013	.5367	.5529	.2139	.11
.44	.7971	.8511	.5211	.5372	.2038	.14
.45	.7832	.8066	.5071	.5231	.1946	.18
.46	.7701	.7671	.4945	.5104	.1863	.22
.47	.7577	.7320	.4830	.4989	.1788	.27
.48	.7461	.7005	.4726	.4884	.1719	.32
.49	.7352	.6723	.4632	.4789	.1656	.37
.50	.7250	.6468	.4545	.4702	.1598	.43

Tabela 4
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS I
 $Q_L = 10$

Q_r	F_b/F_s	V_{as}/V_b	f_i/f_s	F_i/F_s	d	R
.20	1.3225	6.9456	1.8642	1.8634	.6157	
.21	1.2709	6.2113	1.7635	1.7626	.6149	
.22	1.2250	5.5753	1.6707	1.6695	.6139	
.23	1.1842	5.0208	1.5844	1.5830	.6125	
.24	1.1478	4.5347	1.5036	1.5018	.6106	
.25	1.1156	4.1063	1.4272	1.4250	.6080	
.26	1.0871	3.7272	1.3543	1.3516	.6043	
.27	1.0623	3.3903	1.2837	1.2805	.5988	
.28	1.0409	3.0900	1.2142	1.2104	.5905	
.29	1.0230	2.8217	1.1439	1.1396	.5771	
.30	1.0087	2.5819	1.0691	1.0655	.5534	
.31	.9982	2.3678	.9821	.9837	.5061	*
.32	.9874	2.1715	.9016	.9091	.4537	*
.33	.9741	1.9902	.8363	.8473	.4107	*
.34	.9590	1.8244	.7818	.7951	.3746	*
.35	.9424	1.6743	.7356	.7502	.3439	*
.36	.9249	1.5396	.6959	.7113	.3176	*
.37	.9069	1.4196	.6614	.6773	.2947	.01
.38	.8889	1.3134	.6312	.6474	.2748	.02
.39	.8711	1.2197	.6047	.6210	.2574	.03
.40	.8539	1.1373	.5814	.5977	.2420	.05
.41	.8373	1.0648	.5607	.5770	.2284	.07
.42	.8215	1.0012	.5423	.5586	.2163	.10
.43	.8066	.9451	.5259	.5421	.2054	.13
.44	.7925	.8957	.5113	.5274	.1957	.17
.45	.7793	.8520	.4981	.5141	.1870	.22
.46	.7670	.8132	.4862	.5022	.1790	.26
.47	.7554	.7786	.4755	.4914	.1718	.32
.48	.7446	.7477	.4658	.4816	.1652	.37
.49	.7345	.7199	.4569	.4727	.1592	.43
.50	.7251	.6949	.4488	.4645	.1536	.50

Tabelas 5, 6 e 7: Alinhamento Tipo II para Q_L igual a 5, 7 e 10, respectivamente.

Tabela 5
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS II
 $Q_L = 5$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.30	1.8132	2.6146	2.0653	2.0566	1.6142	
.31	1.7465	2.3840	1.9801	1.9700	1.6134	
.32	1.6832	2.1746	1.8989	1.8873	1.6124	
.33	1.6230	1.9837	1.8213	1.8079	1.6112	
.34	1.5655	1.8092	1.7467	1.7313	1.6096	
.35	1.5102	1.6492	1.6748	1.6570	1.6077	
.36	1.4568	1.5019	1.6049	1.5844	1.6051	
.37	1.4049	1.3658	1.5368	1.5130	1.6018	
.38	1.3540	1.2396	1.4696	1.4422	1.5974	
.39	1.3036	1.1219	1.4028	1.3711	1.5912	
.40	1.2529	1.0112	1.3354	1.2988	1.5822	
.41	1.2007	.9060	1.2659	1.2244	1.5682	
.42	1.1453	.8038	1.1922	1.1473	1.5450	
.43	1.0849	.7010	1.1123	1.0713	1.5040	
.44	1.0249	.5963	1.0320	1.0144	1.4424	
.45	.9728	.4980	.9644	.9859	1.3819	*
.46	.9218	.4139	.9016	.9272	1.3212	*
.47	.8708	.3436	.8427	.9256	1.2598	*
.48	.8215	.2858	.7887	.8927	1.1991	*
.49	.7751	.2384	.7399	.8595	1.1408	*
.50	.7322	.1995	.6965	.8272	1.0857	*

Tabela 6
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS II
 $Q_L = 7$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.30	1.7333	2.7672	1.9902	1.9808	1.6138	
.31	1.6699	2.5234	1.9070	1.8961	1.6128	
.32	1.6097	2.3018	1.8276	1.8149	1.6116	
.33	1.5523	2.0998	1.7515	1.7368	1.6101	
.34	1.4974	1.9150	1.6782	1.6612	1.6082	
.35	1.4445	1.7453	1.6071	1.5875	1.6058	
.36	1.3932	1.5890	1.5379	1.5150	1.6026	
.37	1.3430	1.4442	1.4698	1.4432	1.5982	
.38	1.2934	1.3094	1.4022	1.3712	1.5921	
.39	1.2436	1.1830	1.3339	1.2979	1.5831	
.40	1.1923	1.0630	1.2635	1.2224	1.5690	
.41	1.1379	.9464	1.1886	1.1438	1.5452	
.42	1.0783	.8294	1.1070	1.0665	1.5021	
.43	1.0184	.7109	1.0253	1.0108	1.4370	
.44	.9677	.6014	.9566	.9831	1.3738	*
.45	.9165	.5080	.8921	.9537	1.3094	*
.46	.8653	.4301	.8319	.9212	1.2440	*
.47	.8159	.3663	.7768	.8872	1.1795	*
.48	.7696	.3145	.7273	.8531	1.1175	*
.49	.7270	.2725	.6836	.8200	1.0592	*
.50	.6887	.2384	.6452	.7888	1.0053	.01

Tabela 7
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS II
 $Q_L = 10$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.30	1.6791	2.8705	1.9377	1.9277	1.6133	
.31	1.6179	2.6177	1.8557	1.8441	1.6123	
.32	1.5598	2.3879	1.7774	1.7639	1.6109	
.33	1.5043	2.1782	1.7022	1.6865	1.6092	
.34	1.4510	1.9863	1.6296	1.6113	1.6070	
.35	1.3996	1.8099	1.5590	1.5377	1.6041	
.36	1.3496	1.6471	1.4899	1.4650	1.6001	
.37	1.3004	1.4960	1.4214	1.3923	1.5947	
.38	1.2513	1.3549	1.3527	1.3187	1.5867	
.39	1.2012	1.2215	1.2824	1.2430	1.5744	
.40	1.1484	1.0932	1.2082	1.1642	1.5537	
.41	1.0908	.9656	1.1273	1.0842	1.5159	
.42	1.0302	.8358	1.0425	1.0197	1.4527	
.43	.9783	.7133	.9698	.9888	1.3860	*
.44	.9272	.6078	.9030	.9598	1.3192	*
.45	.8756	.5194	.8404	.9273	1.2509	*
.46	.8254	.4470	.7829	.8927	1.1829	*
.47	.7781	.3885	.7313	.8578	1.1173	*
.48	.7347	.3415	.6857	.8237	1.0555	*
.49	.6957	.3037	.6459	.7916	.9984	.01
.50	.6609	.2731	.6114	.7618	.9462	.01

Tabelas 8, 9 e 10: Alinhamento Tipo III para Q_L igual a 5, 7 e 10, respectivamente.

Tabela 8
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS III
 $Q_L = 5$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.50	1.0091	.5674	1.0150	.6352	2.1915	
.51	1.0162	.5425	1.0261	.7601	2.0466	
.52	1.0197	.5190	1.0313	.8340	1.9951	
.53	1.0201	.4958	1.0319	.8846	1.9697	
.54	1.0183	.4725	1.0291	.9217	1.9550	
.55	1.0148	.4492	1.0237	.9499	1.9456	
.56	1.0102	.4259	1.0163	.9719	1.9392	
.57	1.0046	.4027	1.0074	.9894	1.9345	
.58	.9984	.3798	.9985	1.0034	1.9377	*
.59	.9921	.3582	.9886	1.0165	1.9344	*
.60	.9861	.3383	.9792	1.0294	1.9310	*
.61	.9803	.3198	.9704	1.0421	1.9277	*
.62	.9747	.3026	.9621	1.0547	1.9242	*
.63	.9693	.2867	.9542	1.0672	1.9208	*
.64	.9641	.2718	.9467	1.0795	1.9173	*
.65	.9590	.2580	.9396	1.0917	1.9138	*
.66	.9542	.2451	.9329	1.1038	1.9103	*
.67	.9495	.2330	.9265	1.1157	1.9068	*
.68	.9449	.2218	.9204	1.1274	1.9032	*
.69	.9405	.2112	.9146	1.1391	1.8996	*
.70	.9362	.2013	.9090	1.1506	1.8960	*
.71	.9321	.1920	.9038	1.1619	1.8923	*
.72	.9281	.1832	.8987	1.1732	1.8887	*
.73	.9242	.1750	.8939	1.1843	1.8850	*
.74	.9204	.1672	.8892	1.1952	1.8814	*
.75	.9168	.1599	.8848	1.2061	1.8777	*

Tabela 9
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS III
 $Q_L = 7$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.50	1.0171	.6354	1.0286	.7983	2.0172	
.51	1.0189	.6086	1.0315	.8625	1.9798	
.52	1.0180	.5817	1.0300	.9073	1.9602	
.53	1.0151	.5546	1.0253	.9405	1.9485	
.54	1.0108	.5275	1.0182	.9659	1.9408	
.55	1.0054	.5005	1.0092	.9858	1.9354	
.56	.9994	.4738	1.0000	1.0015	1.9382	*
.57	.9932	.4483	.9896	1.0157	1.9346	*
.58	.9872	.4248	.9798	1.0297	1.9311	*
.59	.9815	.4031	.9706	1.0437	1.9275	*
.60	.9759	.3829	.9620	1.0574	1.9238	*
.61	.9706	.3642	.9538	1.0711	1.9201	*
.62	.9655	.3468	.9461	1.0846	1.9164	*
.63	.9606	.3306	.9388	1.0979	1.9126	*
.64	.9559	.3155	.9319	1.1111	1.9088	*
.65	.9513	.3014	.9254	1.1242	1.9049	*
.66	.9470	.2882	.9192	1.1372	1.9011	*
.67	.9427	.2758	.9133	1.1500	1.8972	*
.68	.9387	.2642	.9077	1.1626	1.8932	*
.69	.9348	.2533	.9024	1.1752	1.8893	*
.70	.9310	.2431	.8973	1.1876	1.8853	*
.71	.9273	.2335	.8925	1.1999	1.8813	*
.72	.9238	.2244	.8879	1.2120	1.8773	*
.73	.9204	.2158	.8835	1.2241	1.8732	*
.74	.9171	.2078	.8793	1.2360	1.8692	*
.75	.9139	.2001	.8753	1.2477	1.8651	*

Tabela 10
QB, AND C, ALIGNMENTS—CLASS III
 $Q_L = 10$

Q_r	F_d/F_s	V_{as}/V_b	f_d/f_s	F_d/F_s	d	R
.50	1.0181	.6886	1.0311	.8670	1.9774	
.51	1.0169	.6567	1.0291	.9122	1.9582	
.52	1.0137	.6266	1.0238	.9454	1.9468	
.53	1.0092	.5964	1.0160	.9707	1.9394	
.54	1.0036	.5664	1.0064	.9904	1.9342	
.55	.9974	.5369	.9966	1.0062	1.9370	*
.56	.9913	.5093	.9861	1.0212	1.9333	*
.57	.9855	.4838	.9762	1.0361	1.9295	*
.58	.9799	.4602	.9669	1.0509	1.9257	*
.59	.9745	.4383	.9583	1.0655	1.9218	*
.60	.9694	.4180	.9501	1.0799	1.9179	*
.61	.9644	.3991	.9424	1.0943	1.9139	*
.62	.9597	.3815	.9351	1.1085	1.9099	*
.63	.9551	.3650	.9283	1.1225	1.9059	*
.64	.9508	.3497	.9218	1.1365	1.9018	*
.65	.9466	.3354	.9157	1.1503	1.8977	*
.66	.9426	.3219	.9099	1.1639	1.8935	*
.67	.9387	.3093	.9044	1.1775	1.8893	*
.68	.9350	.2975	.8991	1.1909	1.8851	*
.69	.9314	.2864	.8942	1.2041	1.8809	*
.70	.9280	.2759	.8894	1.2173	1.8766	*
.71	.9247	.2660	.8849	1.2303	1.8723	*
.72	.9215	.2567	.8806	1.2432	1.8680	*
.73	.9184	.2479	.8765	1.2559	1.8636	*
.74	.9154	.2396	.8726	1.2686	1.8592	*
.75	.9126	.2317	.8689	1.2811	1.8548	*

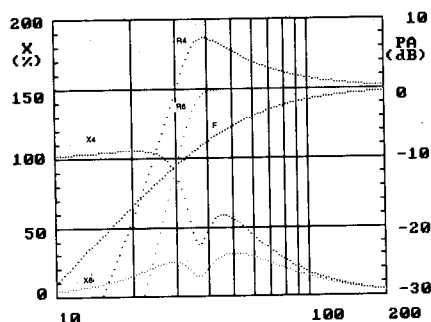


Fig.7: Curvas de Resposta (R), deslocamento do Cone (X), e do Filtro (F) referentes a um falante de $F_s=40$ Hz, $Q_{ts}=0,75$ e $V_{as}=200$ litros, instalado em: 6) Caixa, RG, com Filtro, $V_b=1000$ e $F_b=36,5$ Hz; 4) Na mesma caixa, sem o Filtro.

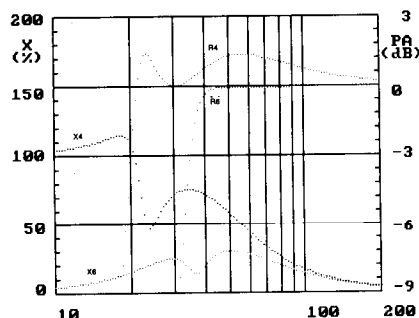


Fig.8: Curvas de Resposta (R) e deslocamento do Cone (X), para o falante da fig.7, instalado: 6) Na caixa, RG, com Filtro, da fig.7; 4) Em caixa RG, sem Filtro, onde $V_b=1200$ e $F_b=23,5$ Hz.

REFERÊNCIAS

- 1-LOUDSPEAKER IN VENTED-BOXES:PART 1
A.N.Thiele
JAES Vol.19 nº5 Mai/71
- 2-DIRECT LOW-FREQUENCY DRIVER SYNTHESIS FROM SYSTEM SPECIFICATIONS
D.B.Keele, Jr.
JAES Vol.30 nº11 Nov/82
- 3-THE NEW AUDIO CICLOPEDIA
Howard W. Sams, página 440
- 4-THIELE, SMALL & VENTED LOUDSPEAKER DESIGN PART V: SIXTH ORDER ALIGNMENTS
Robert M. Bullock III
SPEAKER BUILDER, 1/82
- 5-ALIGNMENT OF FILTER-ASSISTED VENTED-BOX LOUDSPEAKER SYSTEM WITH ENCLOSURE LOSSES
R.A.R.Bywater e H.J.Wiebell
JAES Vol.30 nº5 Mai/82
- 6-ACTIVE FILTER COOKBOOK
Don Lancaster
Howard W. Sams
- 7-THE DESIGN OF ACTIVE FILTERS, WITH EXPERIMENTS
Howard M. Berlin
E&L INSTRUMENTS, INC.