

UM NOVO FILTRO PARA A NORMA ABNT 10303

André L. Dalcastagnê¹, Homero S. Silva² e Sidnei Noceti Filho¹

1 - LINSE: Circuitos e Processamento de Sinais
Departamento de Engenharia Elétrica, UFSC
Campus Universitário, 88040-900 - Florianópolis SC - Brasil
Tel: (0xx48) 331-9504, Fax: (0xx48) 331-9091
sidnei@linse.ufsc.br andre@linse.ufsc.br

2 - Eletrônica Selenium S.A.
BR 386, Km 435, 92001-970 – Nova Santa Rita RS - Brasil
www.selenium.com.br homero@selenium.com.br

Resumo – Neste trabalho são apresentados os novos valores dos componentes do filtro da norma ABNT 10303, para conformação do ruído rosa. O projeto dos novos filtros foi baseado na modificação da resposta em frequência do filtro antigo e os valores dos componentes foram obtidos através de um processo numérico de otimização.

Abstract - In this paper new values of the ABNT 10303 standard filter components used for pink noise conformation are presented. The design of the new filters is based on the previous filter frequency response modified via a numerical optimization process.

I. INTRODUÇÃO

A norma 10303 da ABNT [1], que trata de assuntos relativos a especificações e testes de alto-falantes, já está em vigor há muitos anos e por este motivo necessita de atualização, pois em determinados pontos a ação do tempo já se fez sentir com intensidade.

Um exemplo é o teste de *drivers* e *tweeters* que a norma atual recomenda medir com um divisor de frequência passivo, o único tipo utilizado à época. Isso causa sérios inconvenientes, pois a potência suportada pelo transdutor é calculada através da tensão eficaz E sobre este, a partir da relação $E^2/8$, ou seja, a potência dissipada sobre a sua impedância nominal (no caso, $8\ \Omega$). Porém, a tensão E é medida antes do filtro passa-alta, o que eleva de forma incorreta o resultado, pois mesmo as componentes de baixa frequência, que virão a ser filtradas, influenciam na leitura do voltímetro.

Na prática, isto acarreta que um *tweeter* especificado para 50 W não suporta mais que 25 W quando alimentado por um divisor de frequência ativo!

No outro lado do espectro de frequência, ou seja, na região dos sub-graves, encontramos também a necessidade de atualização da norma, uma vez que a mesma não contempla o teste de *sub-woofer*, comumente utilizados, nos dias de hoje, em sistemas de som automotivo e de *home cinema*, bem como nos sistemas de som profissional.

Para preencher esta lacuna, a norma que deve suceder a atual 10303, necessita de um filtro para conformação do ruído rosa (já que este tipo de ruído é o que melhor simula um programa musical típico) com o corte inferior em 40 Hz

ou abaixo disso.

Procedimentos empíricos aplicados ao filtro atual, no sentido de modificá-lo para as novas necessidades, se mostraram totalmente inadequados pela seguinte razão: no caso de redes ativas de segunda ordem em cascata [2], é possível alterar algumas singularidades (pólos e zeros) mudando o valor dos componentes responsáveis por aquelas singularidades em particular. No entanto, em redes passivas e em redes ativas multirealimentadas não se têm estágios desacoplados. Assim, a modificação do valor de um ou mais componentes, com o intuito modificar a magnitude da resposta em frequência em uma faixa, afeta toda a curva pela simples razão de que os coeficientes da função de transferência (e conseqüentemente as singularidades) são formados por uma combinação de todos os elementos do circuito. A alteração do valor de um único componente afeta toda a resposta da rede. Existem exceções ao que foi dito: no caso de alguns filtros passa-faixa de segunda ordem, cujas frequências de corte inferior e superior estão afastadas de pelo menos uma década, o que não é o caso em questão. Desta forma, torna-se imperativo o uso de processos numéricos de otimização.

A partir de técnicas de otimização, utilizadas neste trabalho, são apresentadas três novas versões para o filtro da norma ABNT 10303, com frequências de corte inferior em 20, 30 e 40 Hz.

Deste modo, de agora em diante todos os interessados poderão testar seus alto-falantes e caixas acústicas em baixas frequências, aplicando sinais com acentuado conteúdo de energia dentro da faixa de frequência na qual serão utilizados no dia a dia.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: na Seção II apresenta-se o circuito e respectivos valores dos componentes do filtro atual; na Seção III descreve-se o método utilizado para a determinação dos novos valores dos componentes; na Seção IV são mostrados os resultados obtidos e na Seção V apresentam-se as conclusões.

II. FILTRO ATUAL

O circuito do filtro utilizado para conformação do ruído rosa está mostrado na Figura 1.

Os filtros das normas ABNT 10303 e DIN 45573 [3] possuem a mesma topologia, diferindo apenas nos valores dos componentes, que estão mostrados na Tabela I.

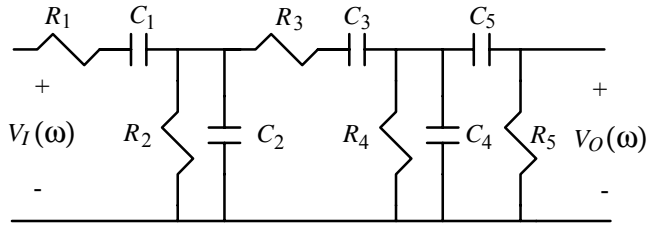


Figura 1 – Circuito do filtro utilizado para a conformação do ruído rosa.

TABELA I
Componentes dos Filtros Atuais

Componente	ABNT 10303	DIN 45573
R_1	330 Ω	4,3 k Ω
C_1	2,2 μ F	0,22 μ F
R_2	3,3 k Ω	33 k Ω
C_2	0,09 μ F	0,0091 μ F
R_3	330 Ω	3,3 k Ω
C_3	2,2 μ F	0,22 μ F
R_4	3,3 k Ω	33 k Ω
C_4	0,068 μ F	0,0068 μ F
R_5	10 k Ω	100 k Ω
C_5	0,47 μ F	0,047 μ F

A magnitude da resposta em frequência, $|H(f)|$, dos dois filtros é praticamente igual, como mostra a Figura 2. A principal diferença entre os dois está no valor de R_1 , que define a impedância de entrada do circuito em alta frequência. Como este resistor possui maior valor no filtro da norma DIN, este possui uma impedância de entrada maior. Uma alta impedância de entrada é interessante para tornar a resposta do circuito menos sensível à impedância de saída do gerador que alimentará a sua entrada.

III. DESCRIÇÃO DO MÉTODO UTILIZADO

Considerando a magnitude da resposta em frequência do filtro da norma DIN, Figura 2, deseja-se que a frequência de corte inferior original, $f_{3dB} \cong 64,8$ Hz, seja deslocada para uma nova frequência f'_{3dB} , sem que o formato da curva seja alterado. Além disso, a frequência de corte superior deve permanecer inalterada. Em resumo, deseja-se determinar os valores dos componentes de modo que $|H(f)|$ do novo filtro possua uma banda de passagem maior, uma frequência de corte inferior menor, a mesma frequência de corte superior e as mesmas inclinações nas bandas de rejeição.

O processo utilizado para tal fim foi um método numérico de otimização. Como passo inicial, foi criado um vetor de frequências $\mathbf{f} = [f_1, f_2, \dots, f_n]$, onde n é o número de amostras logaritmicamente espaçadas dentro de uma faixa de frequência $f_{inicial} \rightarrow f_{final}$ escolhida. Após a determinação deste vetor, utilizando a função de transferência do circuito da Figura 1 e os componentes do filtro da norma DIN, Tabela II, calcula-se a magnitude da resposta em frequência do

mesmo em cada uma das frequências do vetor \mathbf{f} . Com isso cria-se o vetor $|\mathbf{H}| = [|H|_1, |H|_2, \dots, |H|_n]$.

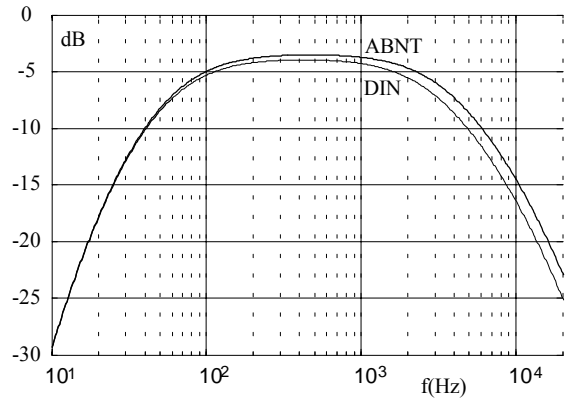


Figura 2 – Magnitude da resposta em frequência dos filtros das normas ABNT 10303 e DIN 45573.

A técnica utilizada consiste em deslocar de um valor D , em uma escala logarítmica, todas as frequências abaixo de um determinado valor f_{lim} , conforme mostra a Figura 3.

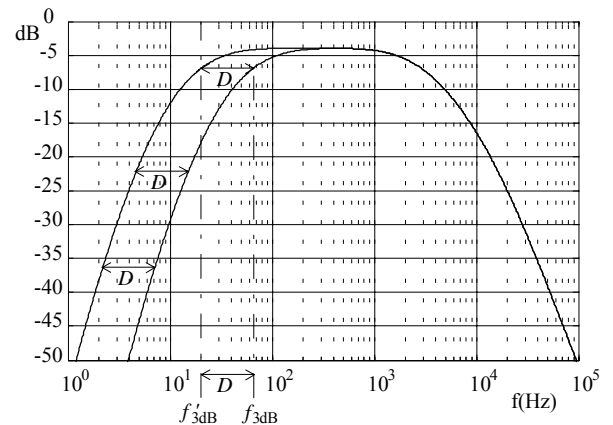


Figura 3 – Curva original e a deslocada de um valor D .

A determinação de D é baseada na diferença entre as frequências de corte f_{3dB} e f'_{3dB} :

$$D = \log(f_{3dB}) - \log(f'_{3dB}) \quad (1)$$

Após o cálculo de D , utiliza-se a seguinte expressão:

$$f'_i = \begin{cases} 10^{(\log f_i - D)} & ; f_i < f_{lim} \\ f_i & ; f_i \geq f_{lim} \end{cases} \quad (2)$$

e define-se o novo vetor de frequências como $\mathbf{f}' = [f'_1, f'_2, \dots, f'_n]$. A frequência f_{lim} deve ser escolhida em uma região onde a magnitude da resposta em frequência do filtro esteja na faixa plana, no caso entre aproximadamente 80 e 900 Hz, Figura 3.

Como o vetor $|\mathbf{H}|$ permanece inalterado, a magnitude da resposta em frequência plotada em função do novo vetor de

freqüências f' apresenta duas regiões: uma inalterada, nas freqüências acima de f_{lim} e a outra deslocada de D , conforme mostra a Figura 4.

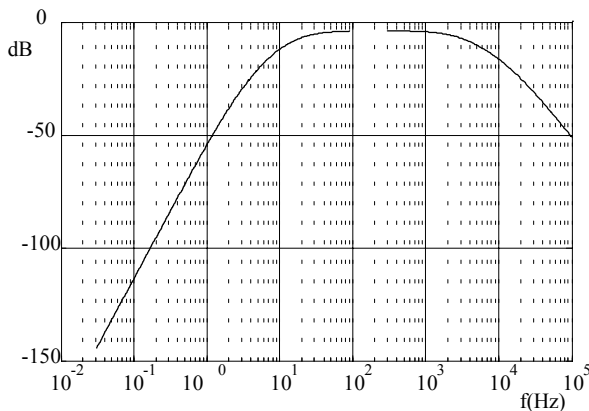


Figura 4 - Magnitude da resposta em freqüência modificada.

A próxima etapa é descobrir os novos valores dos componentes, de modo a minimizar uma função erro, através de um método numérico, dada por:

$$erro(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n \left[|H_i| - |G(f_i, \mathbf{x})| \right]^2 \quad (3)$$

onde $\mathbf{x} = [R_1, C_1, R_2, C_2, \dots, R_5, C_5]$ é o vetor com os valores dos componentes do novo filtro e $|G(f_i, \mathbf{x})|$ é a magnitude da resposta em freqüência do mesmo a cada iteração. Após a minimização de $erro(\mathbf{x})$, obtém-se os valores dos componentes necessários para que o filtro apresente a resposta em freqüência desejada, mostrada na Figura 4.

O método numérico utilizado neste trabalho foi o *Sequential Quadratic Programming* [4], que é um método de programação não-linear. Porém, qualquer outro pode ser utilizado, desde que a solução convirja para um mínimo global.

Uma questão que pode ser levantada é quanto ao “espaço vazio” que aparece no vetor f' , que é visto com clareza na Figura 4. A falta de informação nesta região não influi de forma significativa no processo de otimização. Se \mathbf{x} é calculado de forma correta, a função $|H(f)|$ resultante se ajusta nas bandas de rejeição e de passagem do filtro, e na região vazia ela possui o comportamento desejado, ou seja, apresenta um valor aproximadamente constante.

IV. RESULTADOS OBTIDOS

O processo de otimização foi realizado considerando $n = 1000$, $f_{inicial} = 0,1$ Hz, $f_{final} = 100$ kHz, $f_{lim} = 300$ Hz e três valores para a nova freqüência de corte: $f'_{3dB} = 20$ Hz, $f'_{3dB} = 30$ Hz e $f'_{3dB} = 40$ Hz. As três novas curvas da magnitude da resposta em freqüência do filtro, juntamente com a anterior, estão mostradas na Figura 5 e os respectivos valores dos componentes estão na Tabela II, já aproximados para os valores comerciais. Os resistores utilizados são da

Série E96 e os capacitores da série E12 [2]. Os componentes foram escalados em impedância de forma que $R_1 = 4,32$ k Ω , valor mais próximo de $R_1 = 4,3$ k Ω na série E96.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, utilizando técnicas numéricas de otimização, foram determinados os componentes de três novos filtros para a norma ABNT 10303. Os filtros obtidos têm praticamente a mesma magnitude da resposta em freqüência da rede original em médias e altas freqüências, porém apresentam novas freqüências de corte inferior, conforme a necessidade atual dos fabricantes e projetistas de alto-falantes e caixas acústicas. Os valores dos resistores e capacitores apresentados são comerciais, estando disponíveis nas séries E96 e E12, respectivamente.

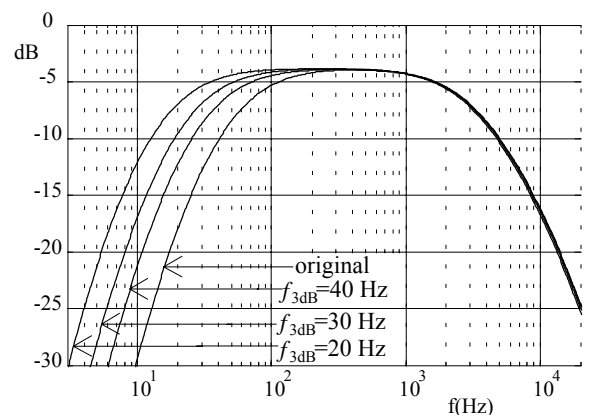


Figura 5 – Magnitude da resposta em freqüência do filtro original e dos filtros modificados.

TABELA II
Valores dos Componentes dos Novos Filtros

Componente	$f_{3dB} = 40$ Hz	$f_{3dB} = 30$ Hz	$f_{3dB} = 20$ Hz
R_1 (k Ω)	4,32	4,32	4,32
C_1 (nF)	100 + 4,7	390	680
R_2 (k Ω)	76,8	24,3	23,2
C_2 (nF)	2,7	15	12 + 1,2
R_3 (k Ω)	88,7	6,49	4,42
C_3 (nF)	27	470 + 56	560 + 22
R_4 (k Ω)	523	54,9	37,4
C_4 (nF)	0,82	2,2	3,3
R_5 (k Ω)	402	110	121
C_5 (nF)	22	82 + 10	150 + 15

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10303. 1988.
- [2] S. Noceti Filho, “Filtros Seletores de Sinais”. Florianópolis: Editora da UFSC, 1998.
- [3] Deutsches Institut für Normung e.V. DIN 45573.
- [4] T. Coleman; M.A. Branch and A. Grace, “Optimization Toolbox”, 1999, 1 CD-ROM.