NÚMERO 9/21 (1221) SETEMBRO 2021

antenna

ELETRÔNICA - SOM - TELECOMUNICAÇÕES



Setembro Amarelo



NESTE NÚMERO:

ANTENNA – Uma História – Capítulo IX

O Amplificador CSR Lanner AL 9280

Radioamadorismo - Construa um Oscilador para Treinamento de CW!

Caixas Acústicas e Alto-Falantes

Recuperando um Amplificador da Década de 1970

Fundamentos da Eletrônica - Eletromagnetismo

Teste de Fator de Amortecimento em Amplificadores

Projeto de Pré-amplificadores e Equalizadores RIAA Para Toca-Discos







Aproveitando Fontes Antigas de PC >>>



antenna

Número 9/21 – setembro/2021 – Ref. 1221

NOTAS DA EDIÇÃO – Prezados leitores, setembro é o mês da cor amarela, para nos lembrar da prevenção ao suicídio, um ato de desespero, muitas vezes ligado à depressão, que é uma doença grave.

Neste link, há informação sobre esse ato.

As edições impressas de Antenna, a partir de janeiro de 2021, podem ser adquiridas na livraria virtual UICLAP (www.uiclap.com.br), bastante fazer a busca por Antenna no sítio da livraria.

Neste mês temos mais algumas montagens e uma adaptação, mostrada pelo professor Paulo Brites, em uma fonte ATX, que permite sua reciclagem, transformando-a em um equipamento útil para a bancada do experimentador e do técnico.

Lembramos, novamente, que o sucesso das montagens aqui descritas depende muito da capacidade do montador, e que estes e quaisquer outros circuitos em Antenna são protótipos, devidamente montados e testados, entretanto, os autores não podem se responsabilizar por seu sucesso, e, também, recomendamos **cuidado ao manipularem-se as tensões secundárias e da rede elétrica comercial. Pessoas sem a devida qualificação técnica não devem fazê-lo ou devem procurar ajuda qualificada.**

SUMÁRIO

3 - **ANTENNA** – Uma História – Capítulo IX.....
Jaime Gonçalves de Moraes Filho
6 - **CQ-RADIOAMADORES** – Oscilador para Treinamento de CW.....
Ademir – PT9HP
8 – Caixas Acústicas e Alto-Falantes - III.....
João Yazbek
11 - Projeto de Pré-amplificadores e Equalizadores RIAA Para Toca-Discos – Parte XIII.....
Álvaro Neiva
24 - **TVKX** – Simples Assim.....
Jaime Gonçalves de Moraes Filho
29 – **Não Jogue No Lixo –** Aproveitando Fontes ATX.....
Paulo Brites
38 – Fundamentos da Eletrônica – IX – Eletricidade e Magnetismo.....
Alfredo Manhães
45 – Recuperando um Amplificador da Década de 1970 – Parte II.....
Marcelo Yared
51 - Análise do Amplificador Integrado CSR Lanner 9280.....
Marcelo Yared
61 – Teste de Fator de Amortecimento em Amplificadores.....
Marcelo Yared

ANTENNA – Uma História - Capítulo IX

Jaime Gonçalves de Moraes Filho*

Surgem as revistas

Como as primeiras emissoras de rádio eram mantidas por “Sociedades” ou “Clubes”, havia a necessidade de se manter um contato permanente entre seus ouvintes e os administradores, pois o funcionamento das Estações dependia essencialmente do pagamento das mensalidades, uma vez que era proibido veicular propagandas comerciais através do Rádio.

A solução encontrada pela Rádio Sociedade do Rio de Janeiro foi usar um meio de comunicação auxiliar, este sim, autorizado a manter propagandas comerciais. Estava lançada a ideia de se publicar uma revista dirigida aos seus ouvintes. Além da programação da emissora, seriam apresentadas algumas informações técnicas e um espaço comercial.

A primeira publicação dedicada ao Rádio, a circular no Rio de Janeiro, editada pela Rádio Sociedade, foi a revista “***Radio – Revista de Divulgação Científica Geral***”. Lançada em outubro de 1923, circulou até 1926. Era uma publicação quinzenal com 48 páginas e continha textos técnicos e de cultura geral, além, é claro, da programação da emissora. O exemplar de número 16 , de junho de 1924, pode ser acessado através do link: http://www.fiocruz.br/radiosociedade/media/Radio_1(16).pdf

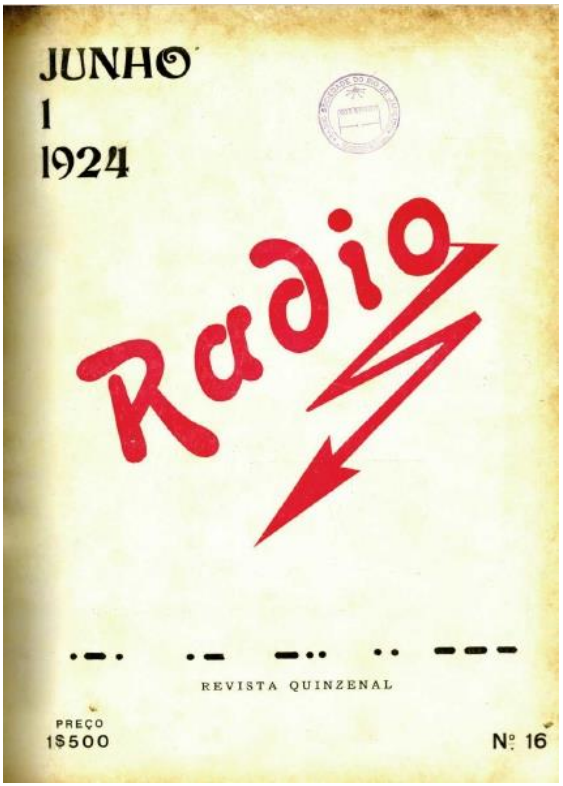


Figura 1 – Capa da revista Rádio – 1924

*** Professor de Física e Engenheiro de Eletrônica**

Em 1926, a Rádio Sociedade lançou uma nova revista, a "*Electron*", distribuída aos sócios da emissora. Tinha 16 páginas e tiragem quinzenal de cerca de três mil exemplares. Tal como sua antecessora, a "Rádio", tinha por objetivo divulgar a programação detalhada da Rádio Sociedade, o resumo de cursos e palestras transmitidos, notas sobre artistas e cantores, novas estações transmissoras e uma boa quantidade de artigos técnicos associados a radiotelefonia. O número 2 de "*Electron*" pode ser acessado através do link:

http://www.fiocruz.br/radiosociedade/media/Electron_1(02)_[bruto].pdf.

A nova revista tinha a mesma periodicidade, porém com um número bem menor de páginas e um preço mais acessível.

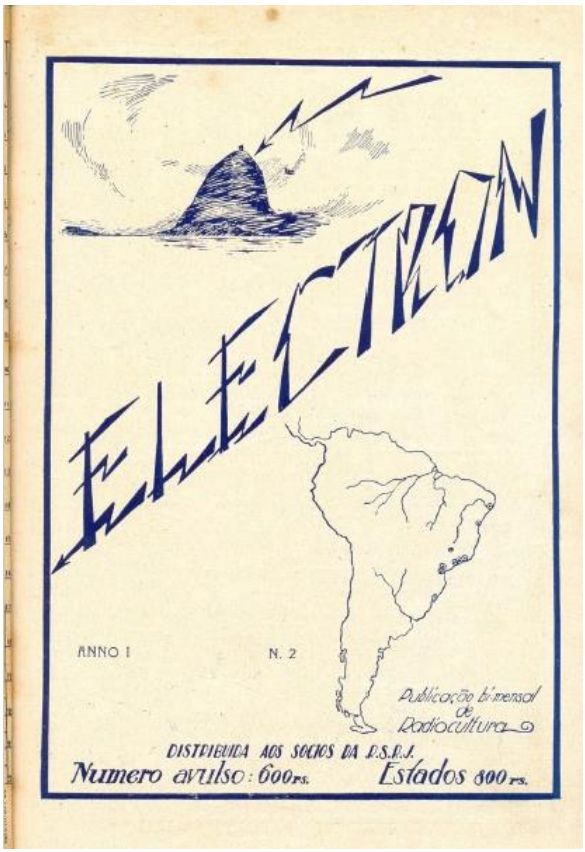
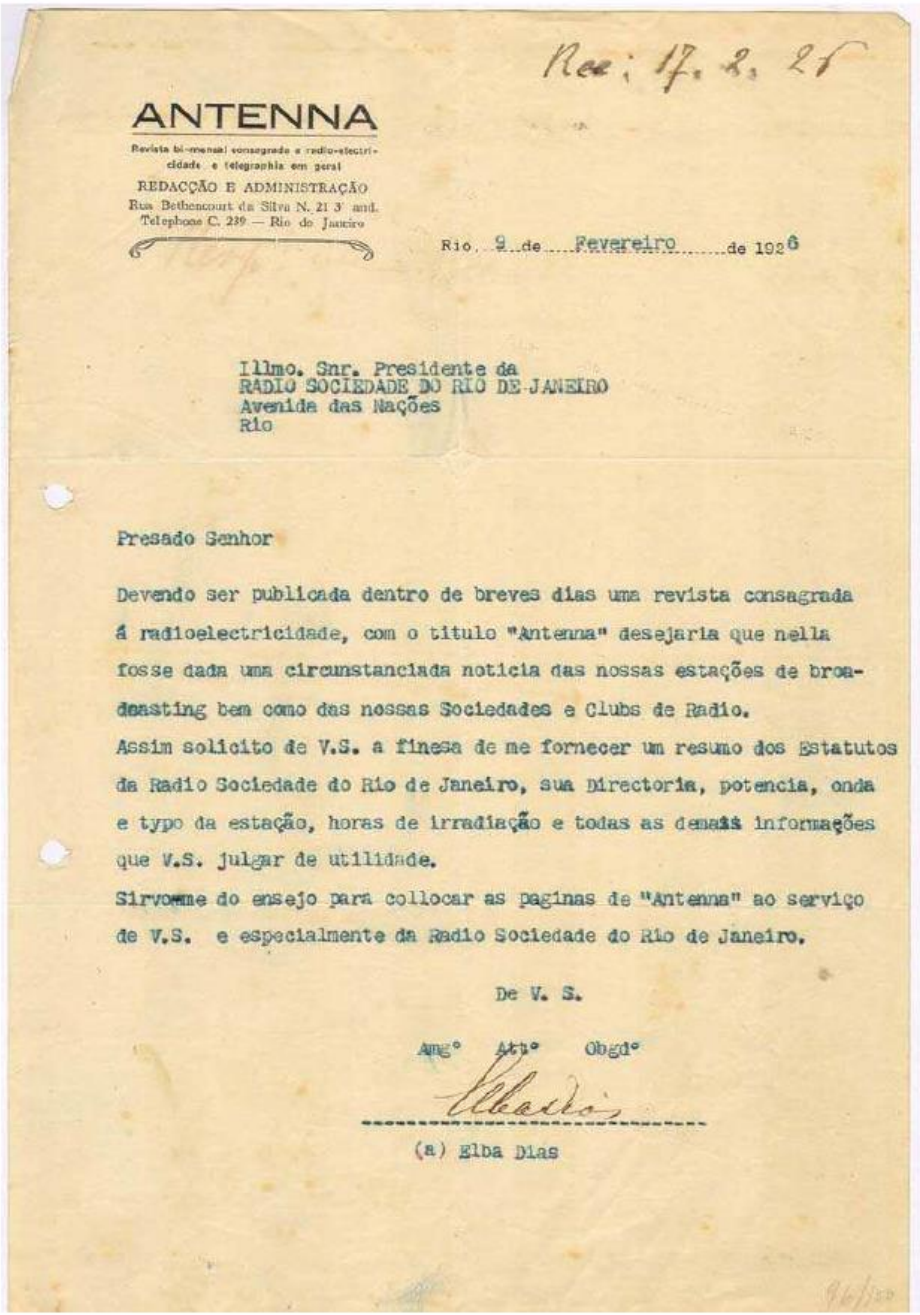


Figura 2 – Capa da revista Electron – 1926

Enfrentando problemas idênticos, o Rádio Clube do Brasil resolveu também editar uma publicação, utilizando um formato semelhante a "*Electron*". A referência mais antiga sobre a nova revista data de 9 de fevereiro de 1926, através de carta enviada por Elba

Dias à Direção da Rádio Sociedade, comunicando o lançamento, em breve, de uma nova revista, que levaria o nome de **Antenna**.



Rec: 17. 2. 25

ANTENNA

Revista bi-mensal consagrada a radio-electricidade e telegraphia em geral

REDACÇÃO E ADMINISTRAÇÃO
Rua Bethencourt da Silva N. 21 3º and.
Telephone C. 239 — Rio de Janeiro

Rio, 9 de Fevereiro de 1926

Illmo. Snr. Presidente da
RADIO SOCIEDADE DO RIO DE JANEIRO
Avenida das Nações
Rio

Presado Senhor

Devendo ser publicada dentro de breves dias uma revista consagrada á radioelectricidade, com o titulo "Antenna" desejaria que nella fosse dada uma circumstanciada noticia das nossas estações de broadcasting bem como das nossas Sociedades e Clubs de Radio.
Assim solicito de V.S. a finesa de me fornecer um resumo dos Estatutos da Radio Sociedade do Rio de Janeiro, sua Directoria, potencia, onda e typo da estação, horas de irradiação e todas as demais informações que V.S. julgar de utilidade.
Sirvome do ensejo para collocar as paginas de "Antenna" ao serviço de V.S. e especialmente da Radio Sociedade do Rio de Janeiro.

De V. S.

Amg° Attº Obgdº

(a) Elba Dias

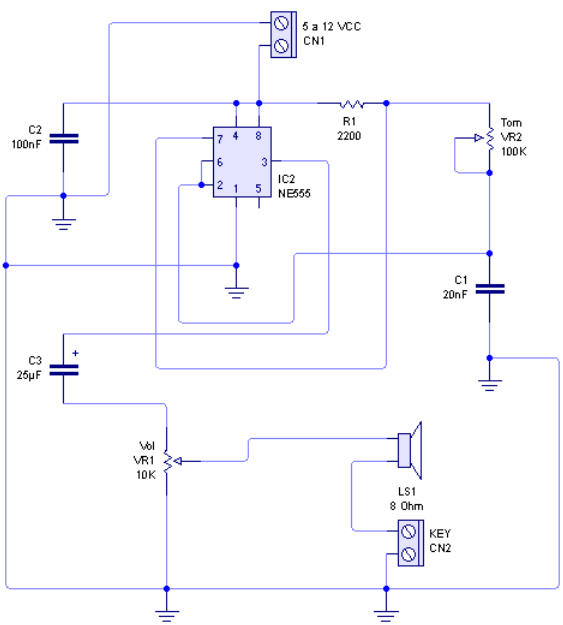
Figura 3 – Correspondência de Elba Dias comunicando o lançamento de Antenna

Oscilador para treinamento de CW
- testado e aprovado! –

Ademir Freitas Machado – PT9HP

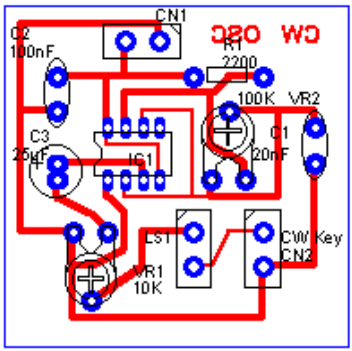
Este circuito foi "inspirado" em um antigo Radioamateur Handbook, de 1976 se não me engano. Trata-se de um esquema bem simples e muito similar aos muitos que estão pela internet. O bom é que esse oscilador de CW utiliza um comuníssimo LM555. O sufixo pode ser NE, mas o "555" é universal!

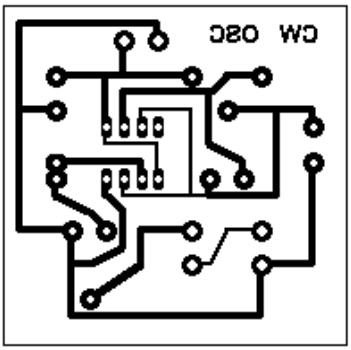
Se montado no capricho, será para seu clube ministrar aulas de CW. A placa mede 5x5 cm e pode até ser alojada dentro dessas caixinhas de som para computador. A maioria tem até um amplificador de áudio transistorizado ou integrado.



Nosso oscilador para CW tem controle de volume e tonalidade. Você pode usar dois trimpot mas o correto é colocar dois potenciômetros para facilitar os ajustes. Não recomendamos treinamento de CW com o áudio muito agudo e tampouco muito grave. O meio termo é bem melhor e mais agradável aos ouvidos.

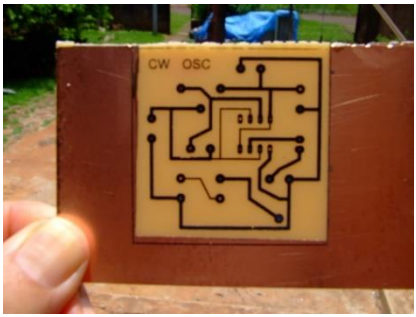
A propósito, aquele sistema do "di-dá-didi – vem-cá-Lili" é a pior coisa que inventaram. Quem usa este método, faz o cérebro trabalhar três vezes a mais e ninguém aprende.

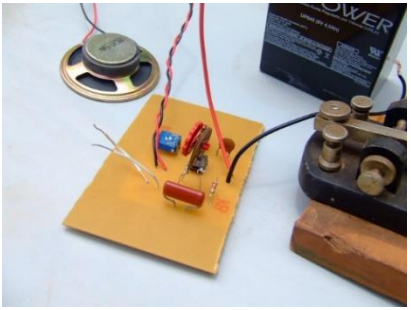




À esquerda, a PCI está do lado dos componentes, vendo-se as trilhas em "transparência"

À direita, a PCI é vista das trilhas pelo lado dos *componentes* em tamanho natural. Mede 5x5 cm. É só imprimir na laser e fazer a transferência pelo método térmico. Se você vai desenhar com carbono, terá que imprimir numa folha comum e riscar pelo outro lado. Se por algum milagre você produzir uma PCI invertida, é só soldar os componentes no lado do cobre.





À esquerda, nossa plaquinha corroída mas ainda não furada. Foi produzida pelo método de transferência térmica. Aliás, só tivemos sucesso neste método após usar toner original na impressora laser! A foto à direita mostra nosso circuito montado provisoriamente, pois, para os testes, utilizamos trimpots no lugar dos dois potenciômetros.

LISTA DE COMPONENTES:

LS1 - Alto-falante ou "buzzer". Utilizamos um retirado de computador obsoleto
KEY - Manipulador de CW ou algo improvisado.
VR1 - Potenciômetro de 10K
VR2 - Potenciômetro de 100K
C1 - Capacitor cerâmico de 22nF (22.000pF) – no corpo aparece 223
C2 - Capacitor cerâmico de 100nF (100.000pF) – no corpo aparece 104
C3 - Capacitor eletrolítico de 25uF por 16 ou 25V
R1 - Resistor de 2.200 ohms (2k2)
CN1 - Conector de tensão contínua – 9 a 12 volts.
CI1 - Circuito integrado NE/LM 555
Nota: os valores dos componentes não são críticos

Caixas Acústicas e Alto-Falantes - III

João Yazbek*

Mês passado falamos sobre a importância dos gabinetes e sobre os principais tipos de alinhamento das caixas acústicas, como a caixa dutada (ou refletora de graves), a caixa selada (ou suspensão acústica), a caixa utilizando o radiador passivo e a caixa do tipo defletor infinito, que é de onde vem o alinhamento obtido com arandelas de teto e alto-falantes para embutir em parede.

Ficaram faltando alguns alinhamentos menos usados, como a caixa em linha de transmissão, o tipo isobárico e os tipos band-pass.

O alinhamento do tipo linha de transmissão é o único desses que discutiremos um pouco mais. Neste caso, a onda sonora traseira do alto-falante é conectada a um duto (que pode ser também um labirinto), preenchido com material absorvente. O material absorvente tem por objetivo dissipar a onda traseira do alto-falante ao longo do duto ou labirinto.

Na prática, parte da onda que não é absorvida pode ou não ser usada para reforçar os graves. Devido ao fato de que o comprimento da linha de transmissão deve ser uma fração específica do comprimento de onda da frequência mais baixa que será reproduzida, linhas de transmissão para graves tendem a ser bastante longas.

No caso de drivers para médios e agudos o comprimento da linha é bastante reduzido. A carga apresentada pela caixa em linha de transmissão é mais uniforme, especialmente na região de ressonância, melhorando o amortecimento do alto-falante, com o benefício adicional de que a parte não dissipada na linha de transmissão pode ser utilizada para reforçar a onda frontal.

Caixas com esse alinhamento produzem graves que chegam a valores bastante baixos em frequência e também possuem bastante clareza e definição, além de baixa distorção. O grande problema da linha de transmissão é o custo e tamanho da caixa, que são maiores que os outros tipos. Isso limita o uso comercial desse alinhamento, que pode ser visto em produtos mais caros e onde o espaço ocupado não é uma preocupação.

Conforme comentamos em um de nossos artigos iniciais sobre alto-falantes e caixas acústicas, estas devem incorporar mais de um alto-falante para a correta reprodução do espectro sonoro audível pelo ouvido humano.

A quantidade de vias é dada pelo número de frequências que são separadas para excitar os alto-falantes do sistema, por um circuito interno da caixa chamado de *cross-over*, ou divisor de frequências.

***Mestre em Engenharia Eletrônica**

Vimos que uma caixa de boa qualidade possui uma combinação de alto-falantes dinâmicos de diversos tamanhos para conseguir responder desde os graves mais baixos até o extremo agudo do espectro de frequências audíveis.

Um woofer, que é um alto-falante de maior tamanho, é utilizado para reproduzir os sons graves. Um tweeter é utilizado para reproduzir as frequências médias e agudas. Em caixas mais sofisticadas utiliza-se um terceiro alto-falante para a reprodução dos sons médios, como a voz humana, de tamanho intermediário.

Uma caixa de duas vias possui então um alto-falante para graves e médios-graves e um tweeter para médios-agudos e agudos. O crossover divide o espectro de frequências do sinal de entrada em dois sinais separados, com uma frequência de transição usualmente em torno de 3-4 kHz. Logo, o woofer reproduzirá as frequências do grave mais baixo, em torno de 30-50 Hz até a frequência de transição, onde o tweeter começa a receber o sinal de áudio, indo de 3-4 kHz até o final do espectro audível, em torno de 20 kHz (algumas caixas de qualidade superior podem respondem até 30, 40 ou 50 kHz).

Já uma caixa de três vias tem um alto-falante para a reprodução dos tons médios, aqueles ao redor da voz humana. Esse alto-falante recebe sinais usualmente entre 1 kHz e 3-5 kHz. Fica-se então com o woofer respondendo de 30-50 Hz até 1 kHz, o médio com resposta de 1 kHz a 3-5 kHz e o tweeter indo de 3-5 kHz até o final do espectro audível. Claro que estes valores de frequência de transição são valores usuais e pode haver diferença considerável em certos produtos.

Eventualmente podem existir caixas mais sofisticadas que possuem quatro vias, onde a seção de frequências médias é dividida em duas partes, e cada uma delas excita um alto-falante dedicado, um maior para as frequências de médios-graves e outro menor para os médios-agudos. As frequências de corte nesse caso costumam ser em torno de 500 Hz, 2 kHz e 5 kHz. A complexidade do crossover se reflete no preço de um produto desses, de forma que caixas de quatro vias são menos vistas no mercado. Mas sua performance pode ser surpreendente.

Muitas vezes vemos caixas com três vias e quatro alto-falantes, onde geralmente dois alto-falantes de graves são conectados em paralelo. Essas caixas são conhecidas em sua especificação com três vias, quatro alto-falantes.

Mas qual dessas opções é a melhor? Tudo depende do uso, da categoria e, principalmente, do preço do produto em questão.

Uma caixa para som ambiente, sem pretensões maiores de qualidade pode eventualmente utilizar um único falante de 4 ou 5” do tipo full-range, que reproduz grande parte do espectro audível. Mas este tipo de falante não consegue reproduzir simultaneamente os graves mais baixos e os agudos mais altos, servindo tão somente para reproduzir música ambiente num espectro de frequências de aproximadamente 100-10 kHz, o que não chega a ser classificado como uma reprodução de qualidade.

Naturalmente, existem versões bastante sofisticadas desses alto-falantes full-range, que utilizam engenharia sofisticada e materiais especiais, que podem atingir níveis de resposta e qualidade sonora bastante satisfatórios, com a grande vantagem de se eliminar o circuito do crossover.

Já caixas bookshelves são usualmente construídas somente com duas vias. Essas caixas são geralmente construídas utilizando-se um woofer de 5, 6” ou no máximo 6.5” e um tweeter. Falantes maiores já exigem um alto-falante de médios por uma questão de diretividade, que é, em poucas palavras, a forma como o som se dispersa em função da frequência.

Ou seja, graves são sons omnidirecionais (não precisam estar direcionados para o ouvido do usuário para serem bem percebidos), enquanto agudos são sons que tendem a ser direcionais.

Por esse motivo, falantes grandes não podem ser conectados somente a um tweeter e precisam de um alto-falante intermediário para que não haja descontinuidade na diretividade.

Assim sendo, bookshelves, que são caixas pequenas, não utilizam falantes de 8”, pois, nesse caso, a caixa já necessitaria de 3 vias e deixaria de ser uma caixa pequena, pelo tamanho do woofer e da respectiva caixa e também pela necessidade de 3 alto-falantes. Logo, caixas com falantes de 8” ou maiores tendem a ser do tipo torre.

As caixas do tipo torre são apoiadas no chão e utilizam, normalmente, três vias, conforme discutimos acima. Geralmente elas possuem woofers, com tamanho igual ou maior do que 6”, um médio e um tweeter. Muitas dessas caixas possuem dois woofers de tamanho intermediário trabalhando em conjunto, de forma a terem uma resposta mais estendida e profunda nos graves.

Caixas do tipo bookshelf têm a grande vantagem de, ao serem complementadas com um subwoofer, apresentarem uma performance muito similar ou até superior à de caixas torre sem o complemento do subwoofer.

Já as caixas torre podem, eventualmente, dispensar o uso de subwoofer ativo, mas com certeza terão a desvantagem de necessitar utilizar amplificadores bastante potentes para excitá-las. Já se adicionarmos um subwoofer a uma caixa torre de boa qualidade teremos uma performance bastante superior.

E as arandelas? Basicamente temos o mesmo cenário; arandelas para som ambiente podem possuir um único alto-falante, ao passo que arandelas com falantes maiores possuem duas ou três vias, e tudo depende da qualidade desejada.

O autor já ouviu arandelas com qualidade muito boa, mas elas sempre precisam do auxílio de um subwoofer, pois a alinhamento utilizado (defletor infinito), tem naturalmente uma resposta mais pobre em graves que uma bookshelf ou torre de boa qualidade.

E sobre os divisores de frequência? Bom, isso é assunto para o próximo mês. Até lá!

Projeto de Pré-amplificadores e Equalizadores RIAA Para Toca-Discos – Parte XIII



Álvaro Neiva*

Circuitos de Equalização RIAA

Voltando ao PP3:

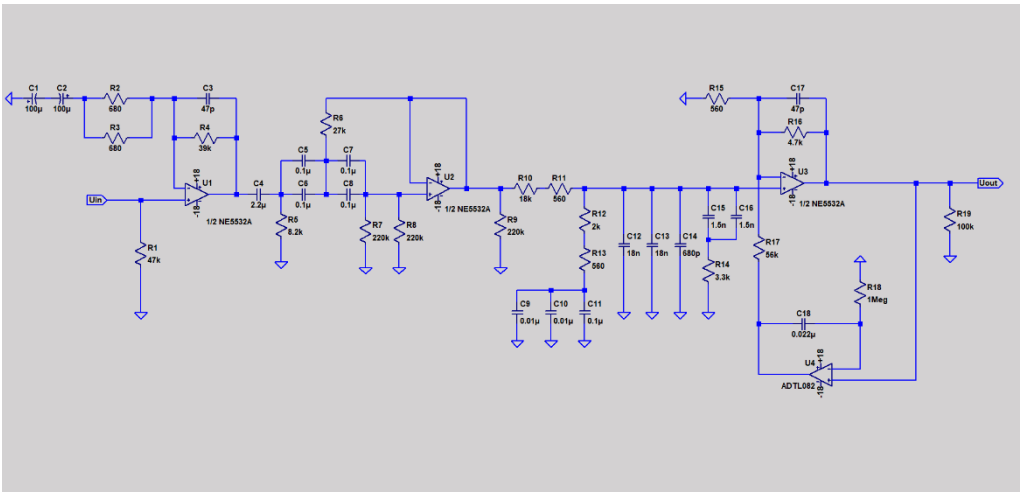


Fig. 1

Resultado da simulação do PP3, em relação à desvio na resposta em frequência especificada pelo padrão RIAA**, considerando resistores e capacitores com valores exatos:

***Vigente antes de 1976, entre 20Hz e 20kHz, segundo a ref. [1]. Entre 1976 e 2009 apareceu uma modificação no padrão que foi abandonada após 2009. A modificação introduzia um passa-altas de 1ª ordem em 20Hz... isso gerava um erro de 1dB a 40Hz e 3dB a 20Hz, já na resposta da rede, sem reduzir o ganho mais que 6dB a 10Hz. O resultado claramente não compensava.*

***Engenheiro Eletricista**

PP3 Simulado e ajustado, final

Ganho @1kHz	40,0	dB	(Objetivo)		
RIAA Padrão relativa			PP3 Simulado final		
Frequência(Hz)	Ganho relativo (dB)	Ganho (dB)	Frequência(Hz)	Ganho (dB)	Erro (dB)
20	19,3	59,3	20	59,2	-0,1
30	18,6	58,6	30	59,0	0,4
40	17,8	57,8	40	58,1	0,3
50	17,0	57,0	50	57,2	0,2
60	16,1	56,1	60	56,3	0,2
80	14,5	54,5	80	54,7	0,2
100	13,1	53,1	100	53,2	0,1
150	10,3	50,3	150	50,4	0,1
200	8,2	48,2	200	48,3	0,1
300	5,5	45,5	300	45,5	0,0
400	3,8	43,8	400	43,8	0,0
500	2,6	42,6	500	42,6	0,0
800	0,7	40,7	800	40,7	0,0
1000	0,0	40,0	1.000	40,0	0,0
1500	-1,4	38,6	1.500	38,6	0,0
2000	-2,6	37,4	2.000	37,4	0,0
3000	-4,8	35,2	3.000	35,4	0,2
4000	-6,6	33,4	4.000	33,6	0,2
5000	-8,2	31,8	5.000	32,0	0,2
6000	-9,6	30,4	6.000	30,6	0,2
8000	-11,9	28,1	8.000	28,3	0,2
10000	-13,7	26,3	10.000	26,5	0,2
15000	-17,2	22,8	15.000	23,0	0,2
20000	-19,6	20,4	20.000	20,2	-0,2
			Erro médio quadrático (dB)		**0,03**
			Erro "rms" (dB)*		**0,17**
			Erro médio (dB)		**0,11**
			*Raiz quadrada do Erro Médio Quadrático		

Tabela 1

$$Erro(f_i) = \left(Ganho\ padrão(f_i) - Ganho\ obtido(f_i)\right)$$

O erro será a diferença entre o ganho especificado no padrão e o ganho obtido pelo circuito. Pode assumir valores positivos ou negativos.

$$Erro\ médio\ (f_i) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(Ganho\ padrão(f_i) - Ganho\ obtido(f_i)\right)$$

$$Erro^2(f_i) = \left(Ganho\ padrão(f_i) - Ganho\ obtido(f_i)\right)^2$$

$$Erro\ médio\ quadrático\ (f_i) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(Ganho\ padrão(f_i) - Ganho\ obtido(f_i)\right)^2$$

$$"Erro\ rms" = \sqrt{\frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} \left(Ganho\ padrão(f_i) - Ganho\ obtido(f_i)\right)^2}$$

Minimizar o erro médio quadrático costuma ser uma estratégia de programas que fazem ajuste automático dos parâmetros de um circuito para atender a uma resposta especificada.

Observem como o valor da raiz quadrada positiva do valor médio quadrático (Root Mean Square) se aproxima mais do afastamento médio observado na maioria dos pontos. Interessante que o conceito possa ser usado num contexto fora da potência elétrica média...

No gráfico seguinte, podemos observar o resultado do PP3.

Vejam a rápida redução de subsônicas abaixo de 10Hz (-3dB a 15Hz, -10dB a 10Hz). Abaixo, a resposta em frequência resultante do equalizador mais filtro.

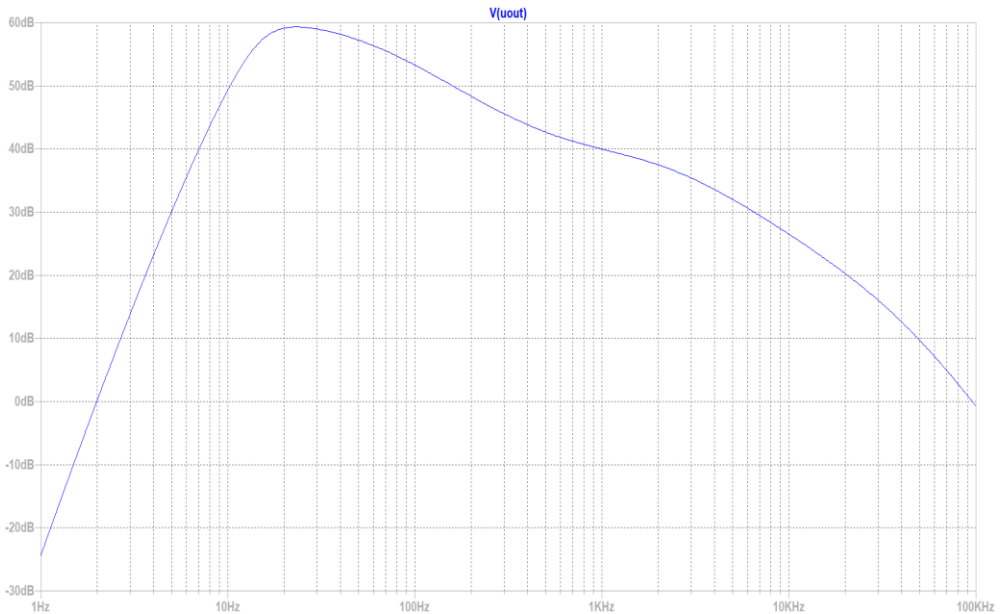


Fig. 2

Observem na Tabela 1 que 90% dos pontos ficaram dentro de 0,3dB do especificado, 41,7% dentro de 0,1dB, 75% dentro de 0,2dB e apenas 8,3% mais que 0,3dB afastados (2 pontos), com máximo de 0,4dB. O que mostra uma aproximação bem precisa da curva desejada conforme a figura 3 mostra.

Outro ponto a ser mencionado é que a ausência do capacitor de bloqueio para eventual tensão de offset na saída do pré-amplificador, torna a resposta em frequência independente da impedância de entrada do estágio seguinte.

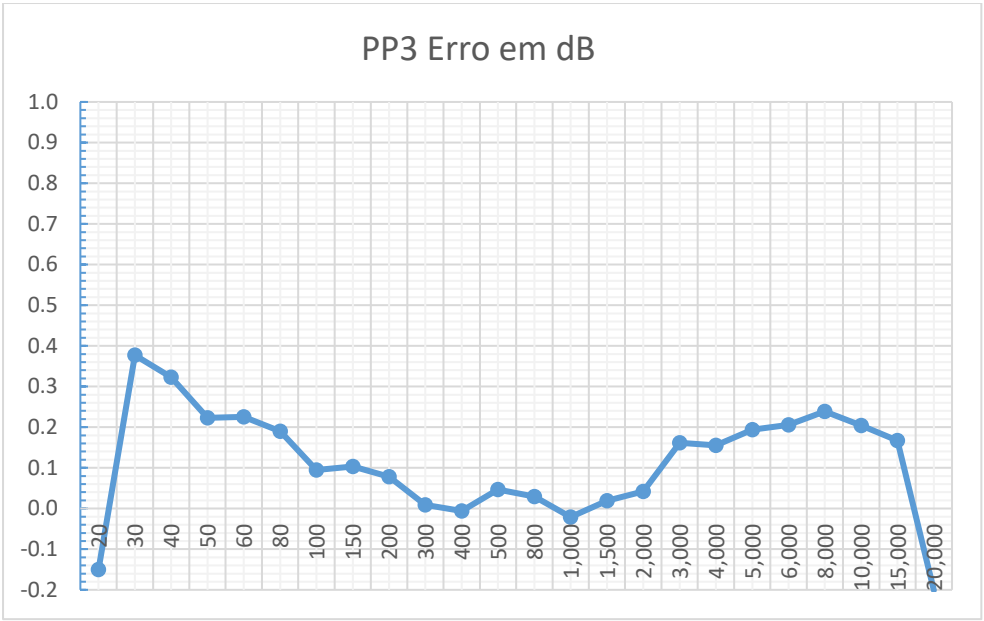


Fig. 3

Para comparação, o erro do PP2:

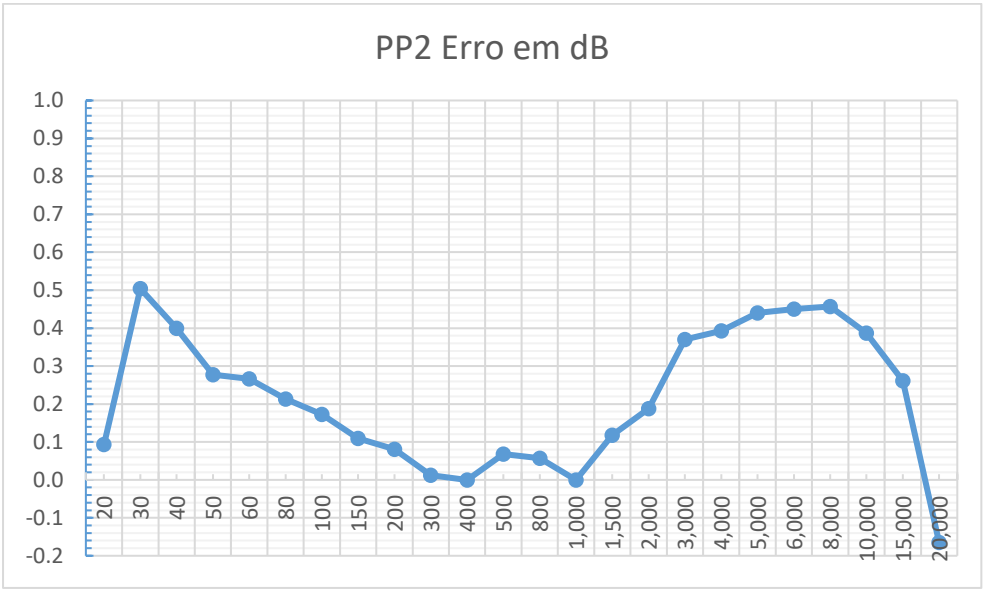


Fig. 4

Observem aqui que 62,5% dos pontos ficaram dentro de +-0,3dB, 37,5%com afastamento maior que 0,3dB, com máximo de 0,5db, 41,7% dentro de 0,2dB e 25% dentro de 0,1dB.

Outras realizações

Um exemplo extraído do site de Rod Elliott (P06):

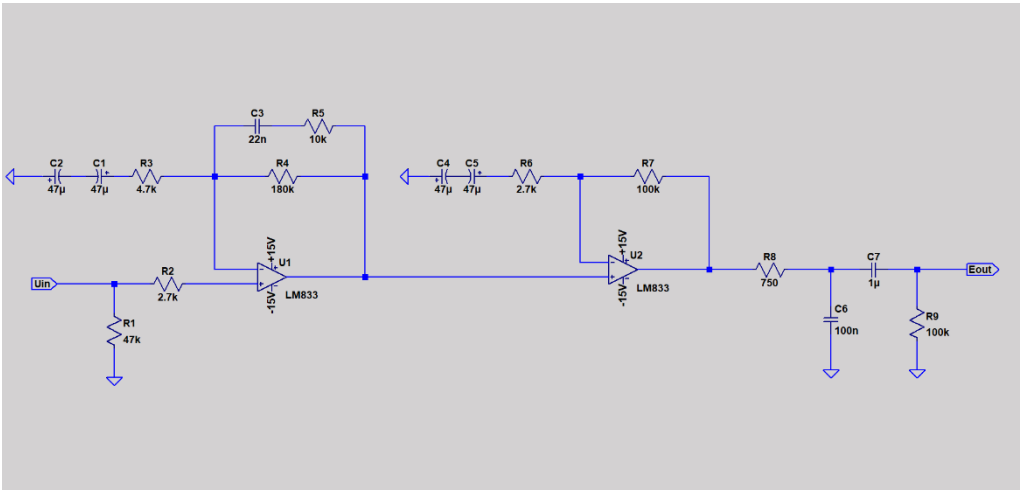


Fig. 5

Resultados da simulação do P06 acima, considerando resistores e capacitores com valores exatos e sem carga na saída (RL=R9=100kΩ):

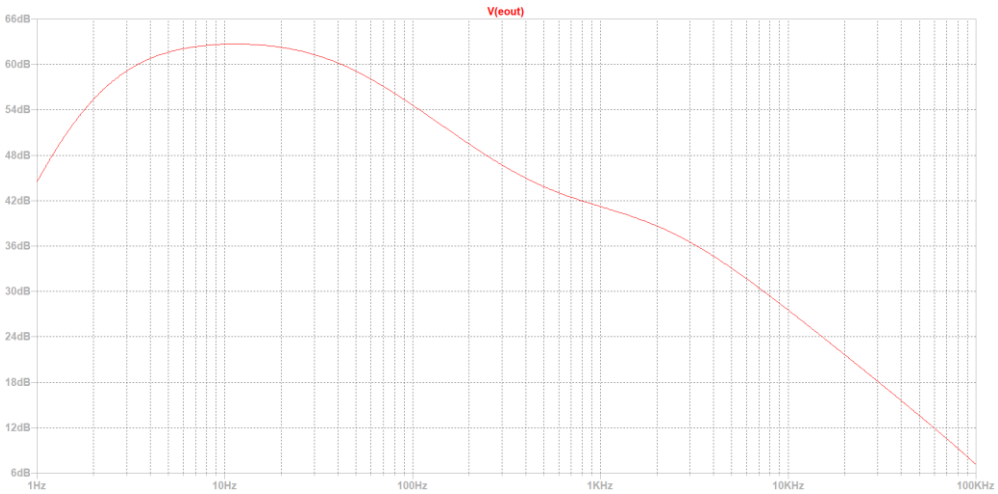


Fig. 6

Observem o ganho em excesso abaixo de 20Hz.

No gráfico abaixo, a resposta considerando o estágio seguinte com impedância de entrada de 10kΩ.

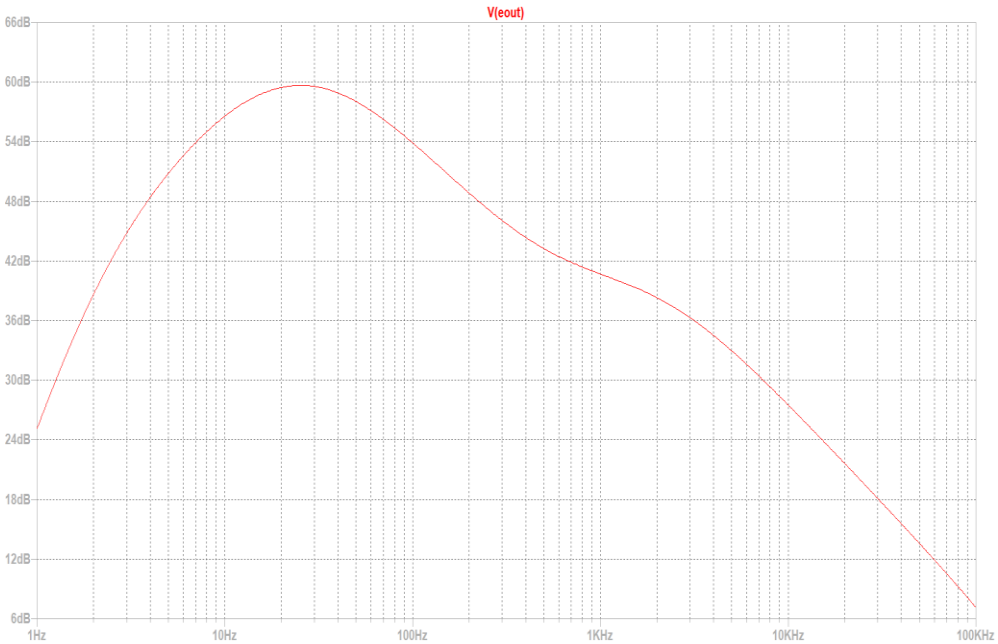


Fig. 7

A rejeição de frequências subsônicas aparece, mas de forma suave e ainda com muito ganho em excesso. Observem que a interação entre o capacitor de bloqueio CC (C7) e a resistência de carga, causa -3dB em 10Hz.

Uma limpeza com o filtro do PP3 seria bem-vinda... especialmente em sistemas com subwoofers.

Também não achei no artigo original uma justificativa para usar o resistor R2. Seu uso aumenta em 3dB, aproximadamente, o nível de ruído de fundo (hiss).

Na figura 8, a resposta simulada com a saída em aberto, resistência de carga igual a R9 (100kΩ).

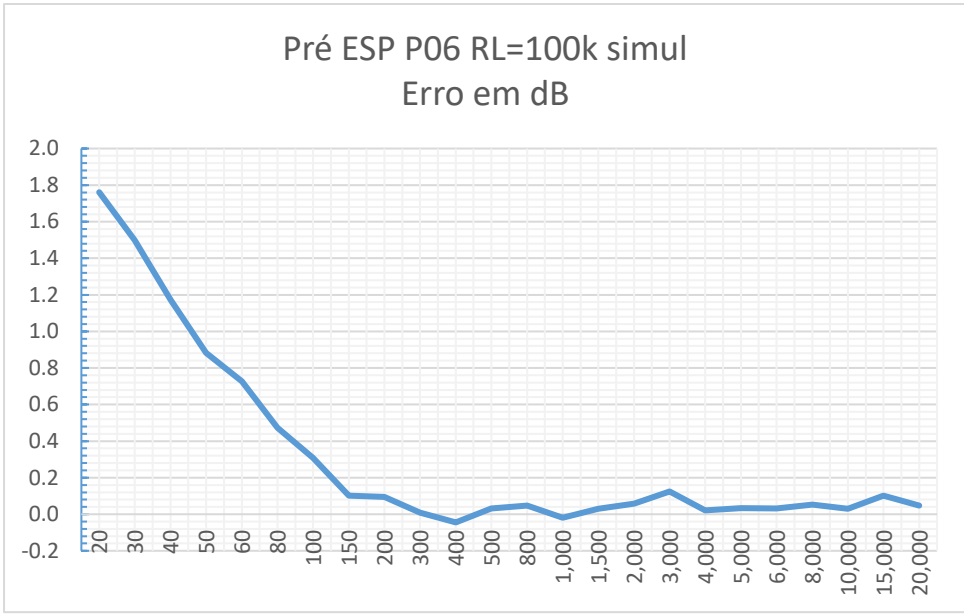


Fig. 8

Na figura 9 o erro na resposta, simulada com a saída carregada por 10k, um valor típico da impedância de entrada para estágios transistorizados (ou com opamps), que muitas vezes tem um controle de volume com esse valor diretamente ligado à entrada (fig. 9).

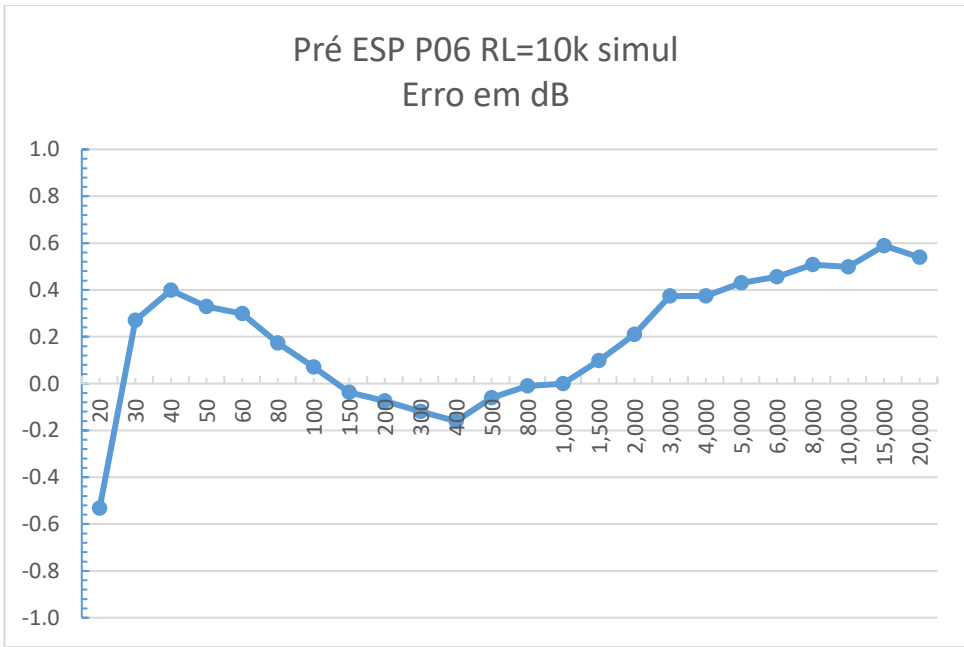


Fig. 9

Na figura 10, valores medidos (canais esquerdo e direito) numa versão em kit do ESP P06 que montei, com carga de 10kΩ:



Fig. 10

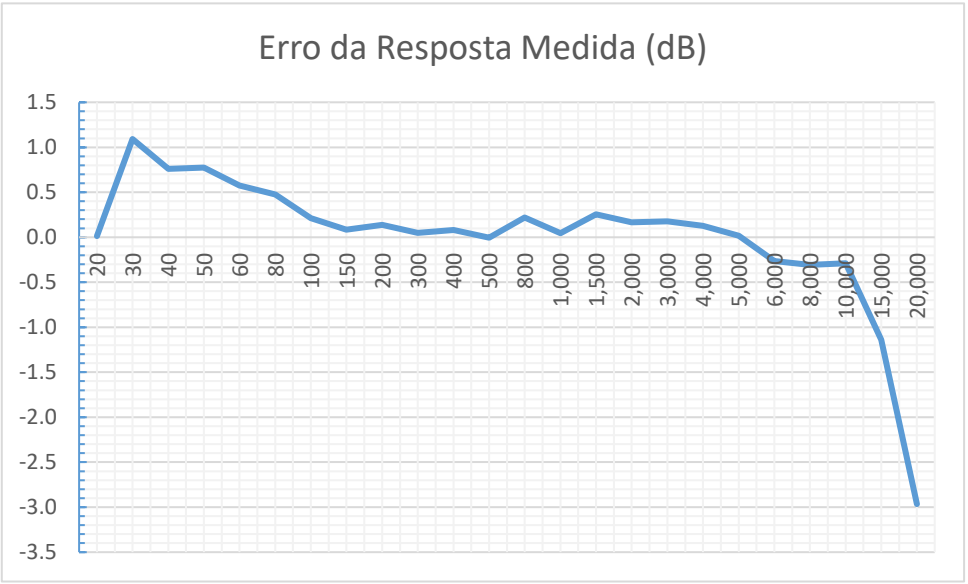


Fig. 11

Observem como a resposta medida se afastou da simulada de forma significativa nos extremos (mesmo considerando a dificuldade de medir o extremo de alta frequência devido à relação sinal a ruído).

Vou sugerir uma modificação simples usada na ref.[15]:

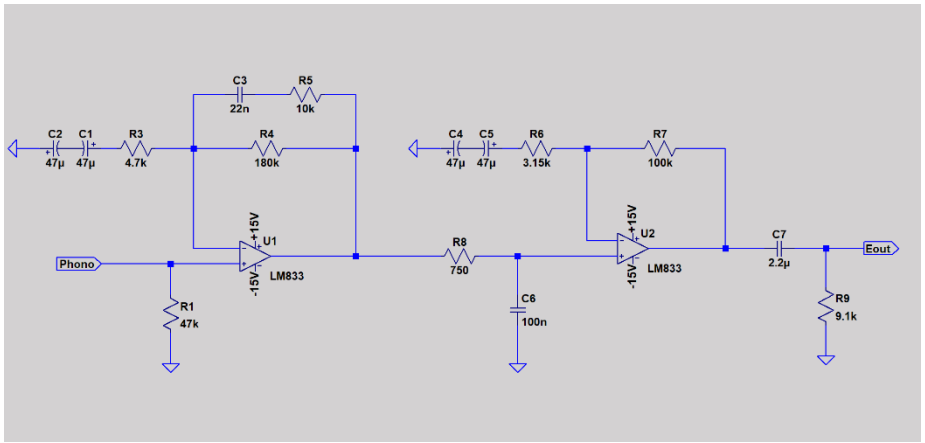


Fig. 12

Deslocando R8 e C6 para a entrada de U2, tornamos a resposta de alta frequência e o ganho para frequências médias independente da impedância de entrada do estágio seguinte, ficando a resposta para baixas frequências dentro de +-0,5dB para impedâncias de entrada do estágio seguinte de 10kΩ ou mais.

O resistor R6 foi alterado para ajustar o ganho a 1kHz para 40dB, mas quem quiser pode manter o valor original (do kit) de 2,7kΩ inalterado.

Pode ser usado um resistor de uns 100Ω ou 150Ω em série com a saída do pré, entre a junção de C7 e R9 e o jack de saída, para evitar problemas com cabos longos entre o pré-amplificador e a próxima etapa.

Resposta simulada com as alterações e resistência de carga com 10kΩ (fig. 13):

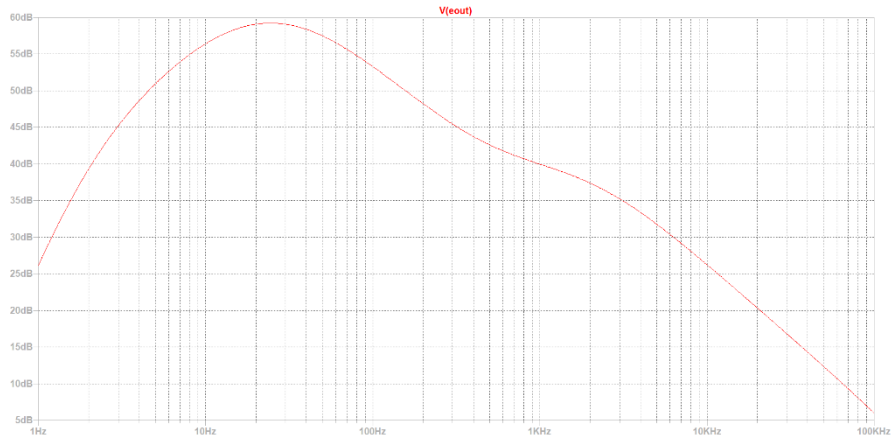


Fig. 13

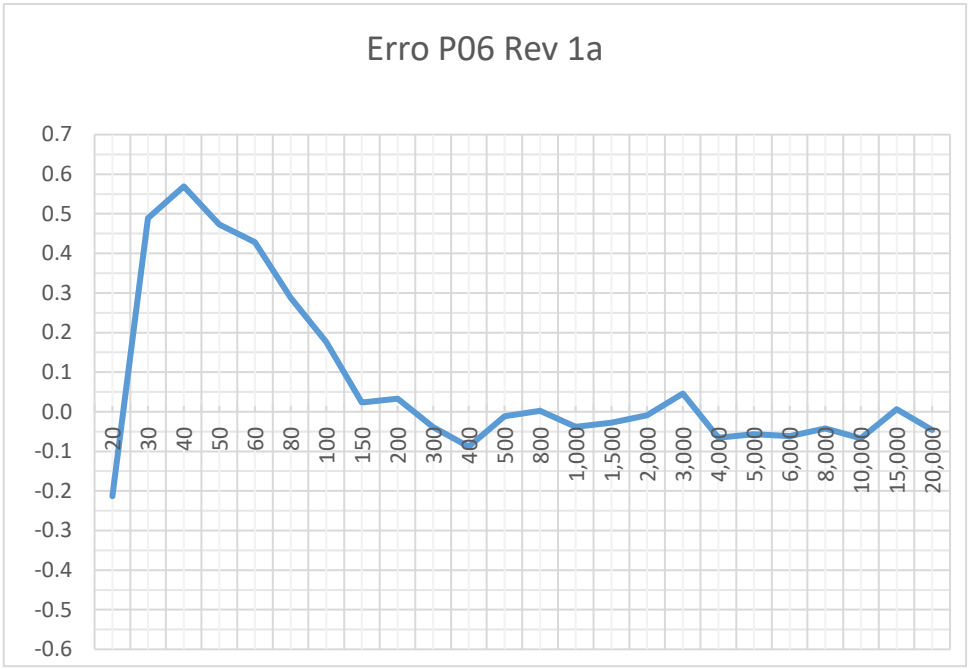


Fig. 14

Observem como o erro em alta frequência ficou muito melhor.

Resposta simulada com as alterações e resistência de carga com 100kΩ (fig. 15):

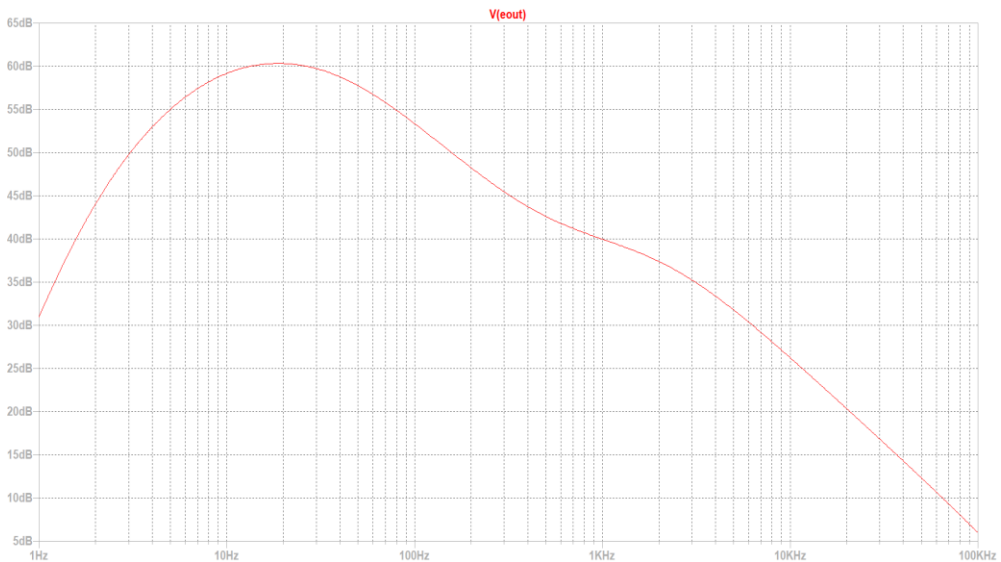


Fig.15

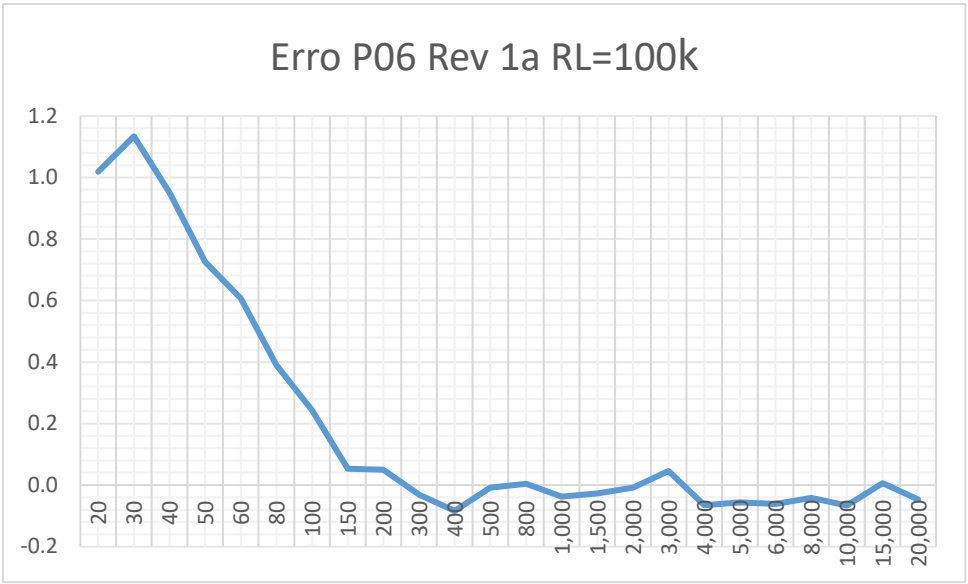


Fig. 16

O erro nas baixas frequências também se reduziu em relação à mesma condição de carga (100kΩ).

Podemos acrescentar o filtro passa altas de 3ª ordem para completar o projeto. Incluímos o filtro antes da segunda etapa de amplificação para não consumir headroom da etapa com sinais subsônicos.

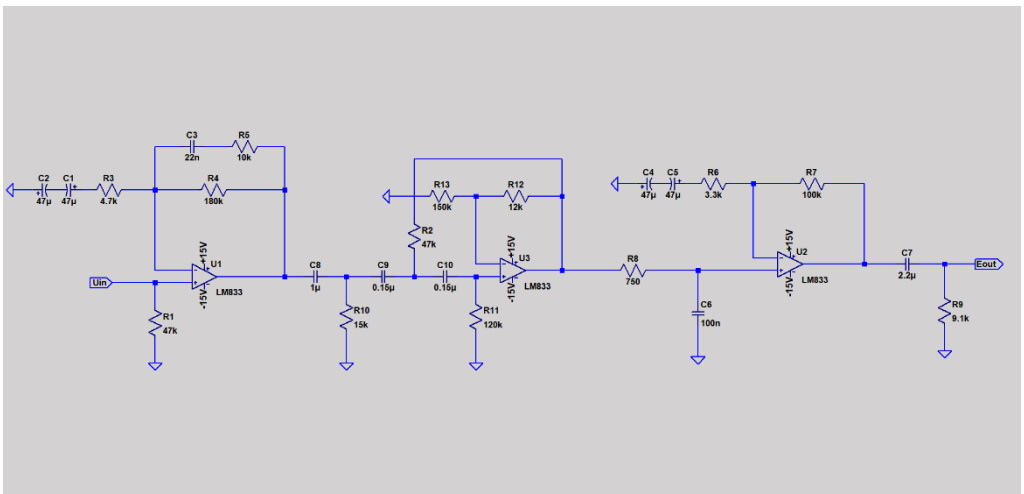


Fig. 17

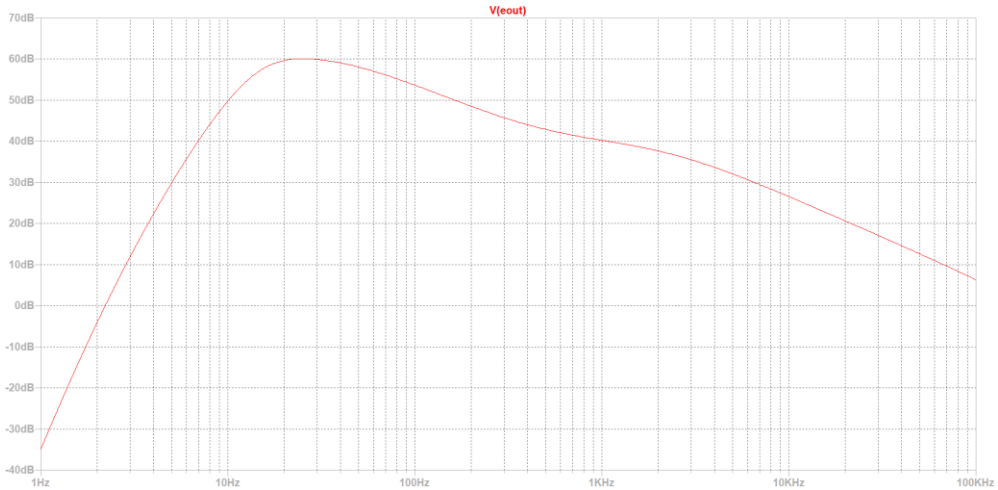


Fig. 18

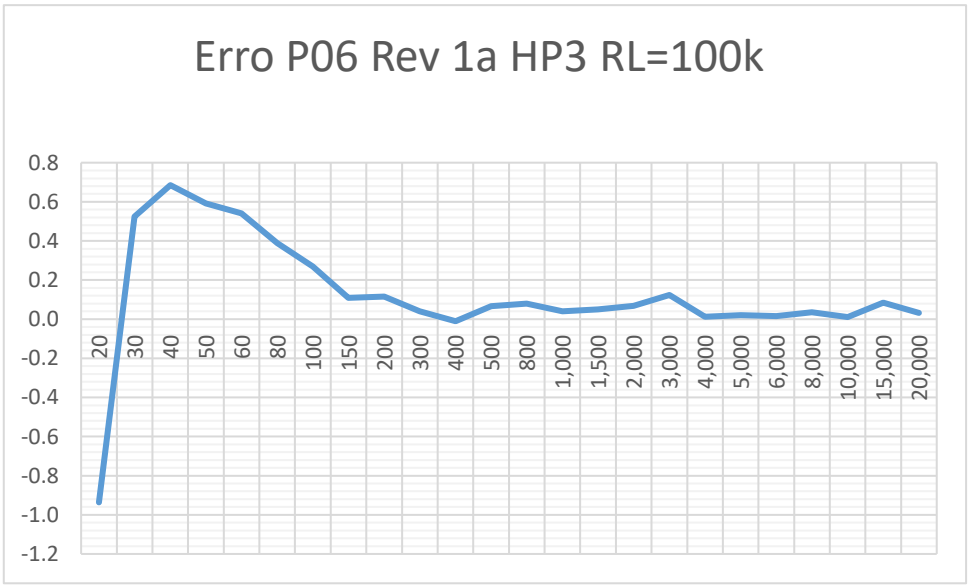


Fig.19

E temos um resultado muito bom com um circuito razoavelmente simples.

Até a próxima edição!

Referências:

1. Bohn, Dennis, editor. **AUDIO HANDBOOK** 1st ed. National Semiconductor Corporation; 1976.
2. Holman, Tomlinson. **AUDIO**, “Dynamic Range Requirements of Phonographic Preamplifiers”, July 1977.
3. Tomer, Robert B. ; **Getting The Most Out of Vacuum Tubes**, 1st ed. Howard W. Sams & Co. Inc.; 1960.
4. Gray, Paul E.; Searle, Campbell L.; **Princípios de Eletrônica**, vol. 3, Circuitos Eletrônicos II; 1ª edição, Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.; 1974.
5. Zobel, O.J. (1923), **Theory and Design of Uniform and Composite Electric Wave-filters**. Bell System Technical Journal, 2: 1-46. doi:10.1002/j.1538-7305.1923.tb00001.x (internet).
6. Cauer, W, "**Die Verwirklichung der Wechselstromwiderstände vorgeschriebener Frequenzabhängigkeit**", *Archiv für Elektrotechnik*, **vol 17**, pp355–388, 1926. **The realisation of impedances of prescribed frequency dependence (in German),** (internet).
7. Maloberti, Franco; Davies, Anthony C.; **A Short History of Circuits and Systems**. River Publishers, 2016.© IEEE 2016.
8. Kuo, Frank F., **Network Analysis and Synthesis**, John Wiley & Sons, 1966.
9. Daryanani, Gobind, **Principles of Active Network Synthesis and Design**, Bell Laboratories, John Wiley & Sons, 1976.
10. Van Valkenburg, M. E., **Introduction to Modern Network Synthesis**, John Wiley & Sons, 1960.
11. Tedeschi, Frank P.; **The Active Filter Handbook**, Tab Books, 1979.
12. Stephenson, Frederick William; et al, **RC Active Filter Handbook**, John Wiley & Sons, 1985.
13. Close, Charles M.; **Circuitos Lineares**, (*The Analysis of Linear Circuits*); tradução: Ana Lucia Serio de Almeida, José Abel Royo dos Santos e José Carlos Goulart de Siqueira (Escola Federal de Engenharia de Itajubá); Copyright © 1966 by Harcourt, Brace Jovanovitch, Inc.; Copyright © 1975 by LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.
14. Desoer, Charles A.; Kuh, Ernest S.; **Teoria Básica de Circuitos** (*Basic Circuit Theory*); tradução: Carlos Peres Quevedo; Copyright © 1969 by McGraw-Hill, Inc.; Copyright © 1979 Ed. Guanabara Dois.
15. **AN-346, High-Performance Audio Applications of The LM833**, Texas Instruments, agosto de 1985, revisado em maio de 2013.



Simples assim...

Mais uma vez vamos encontrar nossos conhecidos no balcão da Padaria do Mário, trocando algumas opiniões enquanto não é chegada a hora de abrir a oficina.

- Continuo achando que o problema maior dos televisores modernos é a qualidade do áudio!

- Concordo em parte, Zé Maria. Mas, por aí não teria uma pontinha de saudosismo?

- Pode até ser, Carlito, mas pense bem: Lembro que no início dos anos 60 tivemos as Philips com um belo alto-falante de 8 polegadas em um circuito sem transformador, o que no final das contas nos dava um áudio de altíssima qualidade.

- Não falei? Lá vem você com os saudosismos...

- Toninho: Você fala só porque não se lembra do que era qualidade de som! É certo que alguns fabricantes não estavam nem aí para isto, porém sempre existiram equipamentos, digamos... de segunda linha!

*** Professor de Física e Engenheiro de Eletrônica**

- Em compensação, talvez por pura falta de espaço, temos imagens perfeitas, porém um áudio sem graves e pouco volume, obrigando ao usuário a ter de usar um “sound-bar” ou um “home theater”.

- Que aliás estão custando tanto quanto ou até um pouco mais do que o próprio televisor!

- E que estão cada vez mais finos e frágeis...

- Vão querer mais alguma coisa, Toninho?

- Não, obrigado, Seu Mario. Pode fechar a conta, acrescentando mais uma cavaca de milho, que vou levar para a oficina!

- Viu só, Carlito? O tal “pozinho amarelo” que você ontem achou sobre a sua bancada não saiu de nenhum gabinete... Foi do bolso de seu amigo aí! Farelo de milho... Nada mais.

- Vamos andando, gente! Quase nove horas!

Já na oficina, cada um tratou de verificar as pendências do dia:

- Carlito! Preciso de uma mãozinha aqui. Veja o problema: Temos dois televisores com defeito de tela, com tudo o mais funcionando corretamente e por outro lado temos na sucata dois televisores com defeito na Placa principal, a que você teima em chamar de “main”, porém com as telas perfeitas. Estou pensando em retirar as duas telas e salvar esses televisores daqui.

- Lá vem encrenca... Já vi tudo! Olhe bem para os televisores, Toninho.

- Já percebi isso também, Carlito: Toninho está querendo é usar telas de mesmo tamanho, porém de televisores de marcas diferentes! Aposto que vai dar “zebra”....

- Calma gente! É só para tentar... Vou fazer melhor: Vou trocar a placa principal desta Philips 32PFL3606 pela esta outra, retirada de uma outra Philips, uma 40PFL3606.

- Vá em frente, Toninho... Vai bem uma meia hora de trabalho pela frente.

Passado algum tempo, O semblante de Toninho expressava algum desânimo.

- Veja no que deu, Carlito: Tudo funcionando, porém olhe só para esta imagem:



- Já esperava por algo assim, Toninho. E tenho uma explicação: Os sinais LVDS podem ser enviados para a tela em dois formatos diferentes: VESA ou JEIDA. Cada fabricante utiliza aquele que mais lhe convier. Temos de saber agora como mudar na placa TCON o formato do processamento. Acho que não é coisa de nos assustar.

- Entendi Carlito! A placa principal, ou seja: a “main” e a TCon devem estar configuradas para um mesmo padrão, seja ele o JEIDA ou o VESA.

- Isso mesmo! Simples assim...

- Ei! Não vá saindo de fininho! Altero o formato de quem? Da Main ou da TCon?
- E se simplesmente trocarmos a NAND?

- Calma gente! Vamos raciocinar: Nosso problema é simples: Dois circuitos com configurações distintas, não é mesmo?



MAIN



T-CON

- Até aí entendi bem. O que quero saber é onde atuar para resolver o problema.

- Querem uma resposta direta? Não sei ainda! Se ... apenas SE tivéssemos acesso ao menu de serviço, creio que a coisa seria bem fácil. Era só alterar a configuração da “main” e pronto! Mas como não temos disponível esse recurso, a solução vai ser uma alteração a nível de componente, ou seja: “na unha”...

- Faça o seguinte, Toninho: Pegue o Notebook do Zé Maria e faça uma pesquisa na Internet para ver se localiza o manual dessa TCON.

-Deixe que eu mesmo vejo... o modelo dela é o 6870C-0318B, correto?

Dali a alguns instantes Zé Maria dava a notícia:

- Achar ela, não achei... Mas na maioria dos modelos que pesquisei, a configuração é feita através da mudança de nível dos pinos sete ou nove. Veja esse modelo da LG, por exemplo:



FIGURA 3

- Vou medir o pino 7 para ver o que tenho por lá. Passe as pontas de prova, Toninho!

- Vamos lá... Quanto temos aí?

- Praticamente zero Volt.

- E como saber se é mesmo o pino 7 que deve ter o nível alterado?

-Porque estou acompanhando a trilha e estou vendo um resistor SMD ligando-o à Terra, ora...

- Deixe que eu me encarrego do serviço daqui por diante. Bem que Carlito falou que era coisa simples.

Mas não foi... O televisor continuava com o mesmo padrão de cores alteradas
- Fez o que eu sugeri, Toninho?

- Sim... sim...Como disse, no pino 7 tinha um resistor em uma trilha que vai para este CI. Então eu retirei o resistor, mas aí não alterou nada.

- Serviço incompleto, Toninho!

- É absolutamente necessário que seja alterado o nível no pino 7. Ao simplesmente retirar o resistor, ele deve ter permanecido no mesmo nível, no caso L , então não admiro que a imagem tenha permanecido a mesma. Faça o seguinte: Veja onde fica a alimentação do CI: os 3,3,Volts. Ligue com um resistor de 1K o pino 7 aos 3,3V do CI que aí a coisa funciona!

Não demorou um minuto para efetuar a modificação e religar o televisor, agora com a imagem normal,

- Mais um recuperado, Carlito!

- Não disse? As coisas geralmente são simples assim...

Agradecimentos aos colegas do Fórum Tecnet: Dili e Ramoseldo 2015,

NÃO JOGUE NO LIXO

Construindo uma fonte de bancada com uma fonte ATX

Paulo Brites*

Parte I

Continuando a minha série **NÃO JOQUE NO LIXO**, este mês vou começar a mostrar como construir uma fonte de bancada com uma fonte ATX.

O leitor poderá argumentar que este não é um assunto inédito e que a Internet está cheia de vídeos sobre ele.

Concordo, mas minha proposta não é dar uma "receita de bolo" e mostrar apenas como fazer as modificações necessárias para se conseguir as principais tensões que se usam numa bancada, a partir de uma fonte ATX "abandonada" e evitar que, um dia, ela vá parar no fundo de um rio.

Pretendo dar algumas dicas que considero importantes e, em geral, não são analisadas nos vídeos do Youtube.

Escolhendo a fonte para ser "franquestenizada"

O primeiro passo é escolher a "melhor" fonte ATX para ser "franquestenizada" e aproveitada como uma fonte para a bancada do técnico, seja ele reparador ou hobista. O ideal seria começar por analisar as especificações de corrente para cada tensão que aparece na etiqueta da fonte.

Sim, isto seria o ideal, se pudéssemos acreditar que o que fabricante escreveu ali é verdade. Na maioria das vezes tem algumas "pegadinhas", para não dizer mentirinhas, no que está escrito ali.

Então, eu começo a analisar se vale a penas usar uma determinada fonte para o "projeto" lembrando de um sabonete da minha infância: - vale quanto pesa!

Embora, fontes não sejam sabonetes e "peso não seja documento", eu já descarto aquelas fontes "levíssimas" porque, neste caso, não devemos "fazer regime" de calorias, ou melhor, de ampères e watts.

***Professor de Matemática e Técnico em Eletrônica**

Se a fonte for do tipo PFC ativo, há uma boa chance de se poder acreditar nas especificações da etiqueta, até porque são mais caras.

Como saber se é PFC ativo?

A maneira mais fácil é examinando a etiqueta. Quando é PFC ativo, o fabricante costuma colocar essa informação em destaque até por uma questão de marketing. Você também pode confirmar se é PFC ativo ou não verificando se ela tem chave seletora de voltagem “110/220”. Fontes com PFC ativo funcionam entre 100 e 240V de modo “automático”, portanto, sem a “maldita” chave seletora de voltagem.

Cuidado com a chave 110/220V ou como não explodir a fonte

Reparou que eu escrevi acima, “maldita” chave?

Esta configuração **JAMAIS** deveria ser utilizada em fontes chaveadas e infelizmente, não só as fontes ATX a utilizam, mas também alguns aparelhos domésticos como pode ser comprovado ao ler no meu blog o artigo **Análise da fonte do mini system Philips NTRX-500 Parte I.** Vejamos por quê.

Você sempre ouviu dizer que se não sabe se a rede elétrica é 127V ou 220V o melhor é comutar a chave para 220V antes ligar, correto? Esquece! Isso era no tempo das fontes lineares com um transformador pesadão na entrada.

No caso das fontes ATX, em particular, se você fizer isso, ou seja, colocar a chave em 220V e ligá-la em 127V (ou 110V, 115V, 120V depende do “gosto” do fabricante) prepare-se para a explosão que, certamente, virá. Vamos entender o porquê examinando o circuito da fig.1, que é encontrado nas fontes ATX “110/220”.

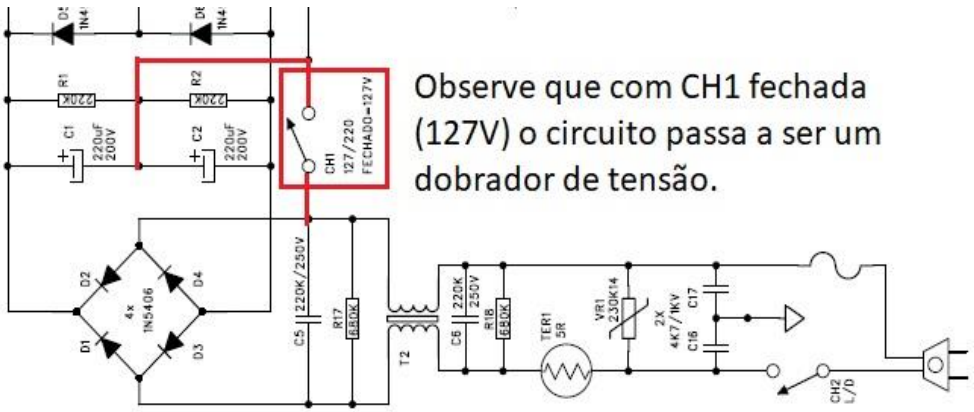


Fig. 1 – Circuito de entrada de uma fonte ATX “110/220V”

O circuito de entrada da fonte pode ser mais elaborado ou menos, dependendo da sua qualidade (ou falta de qualidade), no que diz respeito ao filtro anti-interferências da rede elétrica ou, no popular, o “filtro de linha”.

Mas, não é isso que me interessa tratar aqui, e sim, dos quatro diodos em configuração que “lembra” uma ponte retificadora (D1 a D4), a “maldita” chave CH1 e os dois capacitores eletrolíticos C1 e C2.

Parafraseando a canção do filme Mogli, vou refazer a fig.1 e “usar o necessário, somente o necessário”, embora, neste caso, “o extraordinário” não seja demais. Para ficar mais fácil de entender acompanhe a fig.2.

Com a chave CH1 fechada – 127V

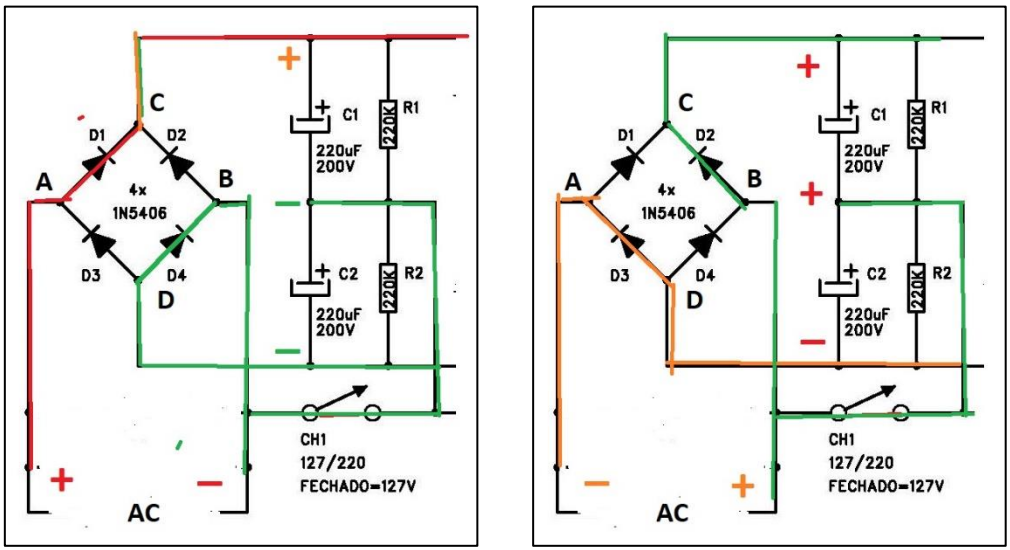


Fig. 2 – Circuito de entrada simplificado da fonte ATX “110/220V”

Vou dividir a análise em duas etapas.

Na figura à esquerda, considere o semiciclo da onda senoidal de entrada em que o ponto A da ponte (que, neste momento, não é ponte) está positivo enquanto o ponto B está negativo.

Repare que C1 vai se carregar com a polaridade mostrada, enquanto C2 não será carregado porque seus dois terminais estarão negativos.

A tensão máxima sobre os terminais de C1 será o valor de pico da rede elétrica.
Se a rede está com 127V, o pico será aproximadamente 180V.

Como a tensão de trabalho do capacitor é 200V ele vai aguentar.

E se a rede estiver com 220V, qual será a tensão sobre C1?

Neste caso teremos 310V de pico, mas o capacitor só aguenta 200V. O que você acha que vai acontecer?

Agora, passemos para a figura à direita quando estamos no semiciclo negativo da rede. Repare que agora C2 se carrega com a polaridade mostrada, enquanto C1 mantém a carga do semiciclo anterior.

Assim, a tensão entre o terminal positivo de C1 e o negativo de C2 será aproximadamente igual a 180V + 180V = 360V, se a rede for 127V. Este circuito funciona como um dobrador de tensão e a “ponte retificadora” não funciona como ponte.

Passemos a condição da chave CH1 aberta que corresponde a rede de 220V.

Neste caso, agora sim, a ponte retificadora funciona como ponte e como os dois capacitores estão em série podemos aplicar 310V entre o terminal positivo de C1 e o negativo de C2, ficando cada capacitor com a metade da tensão entre os seus terminais, ou seja, 155V eles vão suportar “numa boa”.

Percebeu por que este circuito é ruim? Qualquer bobeada com a “maldita” chave CH1 e você poderá virar um terrorista, *explodidor* de fontes de PC!

Tem mais e muito mais, como dizem nas propagandas da tv.

Suponha que a sua rede elétrica está um pouquinho “forte” e entregando 140V em vez do valor “oficial” que é 127V. Neste caso, o pico vai para 197V e os capacitores irão trabalhar no limite mesmo com a chave fechada.

Com a chave CH1 aberta – 220V

Acompanhe a fig.3. Neste caso a ponte retificadora “assume” definitivamente a função de ponte, C1 fica em série com C2 (a capacitância total cai para metade).

A tensão entre o ponto A e o ponto B será 310V no pico e cada capacitor recebe metade, ou seja, 155V. Isso, supondo que os dois capacitores estão exatamente com a mesma capacitância o que nem sempre é verdade. Se um deles diminuir de capacitância ele ficará com uma tensão maior entre seus terminais (isso mesmo, **MAIOR**) e o outro como uma tensão menor (isso mesmo **MENOR**).

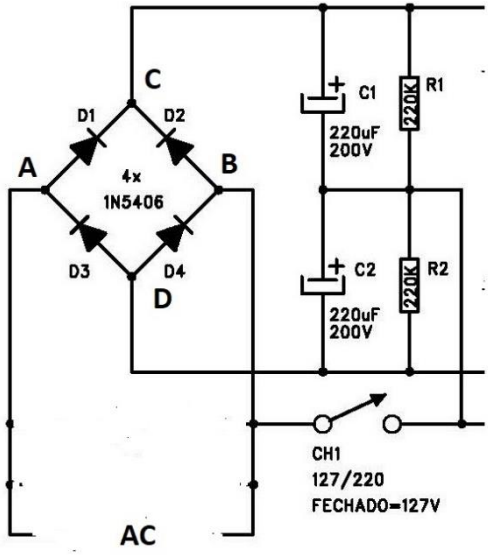


Fig. 3 – Chave aberta Fonte em 220V

Voltando à escolha da fonte para o nosso projeto

Depois desta "rápida" digressão do tema principal, volto à escolha da fonte. A "melhor-zinha" que eu tinha por aqui era a Huntkey LB-6550, que não é PFC ativo, mas se "só tem tu, vai tu mesmo". Irei utilizá-la apenas como referência. Vamos dar uma olhada nas especificações na etiqueta que está na fig.4.

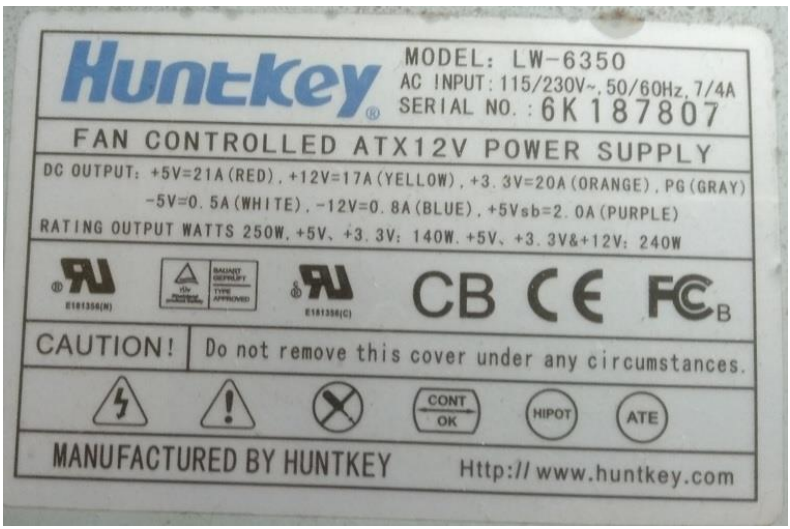


Fig. 4 – Especificações da fonte ATX Huntkey LW-6350.

Se formos analisar estas especificações a fundo, o que não farei aqui, veremos que há algumas ciladas nelas e, se “puxarmos” todas aquelas correntes, em todas as tensões, ao mesmo tempo, a coitadinha vai abrir o bico.

Certamente você não irá precisar “isso tudo e muito mais”, então vou trabalhar com esta fonte mesmo e fazer alguns testes de carga mais à frente.

Planejamento projeto

Uma vez escolhida a fonte ATX para o projeto da fonte de bancada devemos listar o que queremos obter e que materiais iremos precisar, para evitar os improvisos e as consequentes perdas de tempo e, o que é pior, ter que refazer o que já estava feito.

Todas as fontes ATX entregam três tensões que nos interessam no conector de 20 (mais antigas) ou de 24 pinos que vai ligado à placa mãe, como vemos na fig.5.

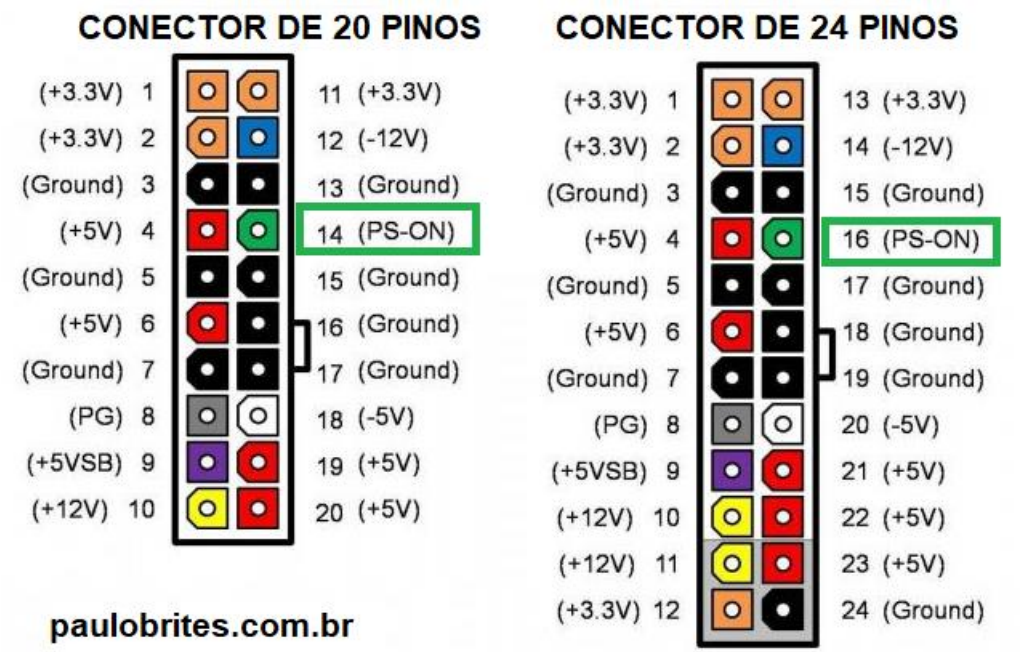


Fig.5 – Conectores de fontes ATX

São elas: 3,3V, +5V e +12V, cujos fios têm cores universalmente padronizadas como laranja, vermelho e amarelo respectivamente.

No conector há ainda um fio azul para uma tensão de -12V e outro branco para -5V para baixa corrente. Vou descartá-los.

Temos o fio verde denominado PS-ON e um fio cinza identificado como PG que significa Power Good (falarei deles mais tarde) e, obviamente, os fios pretos que corresponde ao negativo (GND) comum a todas as tensões.

Seria conveniente que pudéssemos ter também uma tensão ajustável.

Existem várias maneiras de obter essa tensão ajustável a partir da fonte ATX. Na Internet encontramos sugestões para fazer isso manipulando-se os componentes associados ao CI responsável pelo PWM.

Se seguirmos a “receita de bolo” para uma determinada fonte pode até funcionar, mas a questão é que, provavelmente, não teremos em mãos aquele modelo de fonte e, por isso, descartei esta ideia.

Quero trabalhar com algo mais geral e vou utilizar um conversor DC-DC para obter a fonte ajustável a partir de uma linha de 5V ou 12V dependo do conversor que for escolhido. Isso será tratado na parte 2 deste artigo.

Seria muito útil que cada linha de alimentação tivesse seu medidor de tensão e corrente, então iremos precisar de quatro instrumento como estes da fig.6.



Fig.6 – Voltímetro/amperímetro DC – 0 a 100V – 10A

Estes instrumentos ficaram muito baratos se comprarmos direto da China no Ali Express, por exemplo.

Com tanta coisa para colocar no painel da fonte, iremos precisar de uma caixa para acomodar tudo. Se você for habilidoso pode fazer uma de madeira ou usar uma caixa de MDF para artesanato. Isto pode ficar para o final.

Começando o "esquartejamento" da fonte ATX

Minha primeira sugestão é que seja eliminada a chave "110/220". Se a sua rede elétrica for de 127V, como no meu caso, faça uma ligação direta na PCI da fonte (veja fig.7). Se a rede for 220V, simplesmente elimine a chave, mas lembre-se que a fonte **NÃO PODERÁ MAIS SER LIGADA EM 127V**.



Fig. 7 – Ligação direta para fonte em 127V

O próximo passo será colocar um suporte de fusível para que se possa ter acesso fácil ao mesmo; retire o fusível da PCI e solde dois fios no lugar, que serão ligados no suporte de fusível que ficará no painel ou na parte de trás da caixa que abrigará a fonte. Fica a seu critério. Eu prefiro no painel próximo a chave liga/desliga.

Falando nela, coloque uma na entrada da rede, preferencialmente, de dois polos de modo a desligar simultaneamente fase e neutro. Se usar uma chave de um polo apenas, cuide para que interrupção seja feita na fase e jamais no neutro.

Use uma tomada de três pinos, padrão brasileiro, mesmo que não esteja usando aterramento. Isso garantirá que fase e neutro estarão sempre ligados corretamente supondo que a você tem uma instalação elétrica “decente” na sua bancada.

Veja o meu artigo **HDMI – O *serial killer* dos televisores, notebooks & receivers – Parte 1** e entenda por quê.

Vamos precisar de bornes tipo banana. Ao todo serão quatro pretos e quatro vermelhos, uma vez que nossa fonte oferecerá quatro tensões: 3,3V, 5V, 12V e uma tensão ajustável.

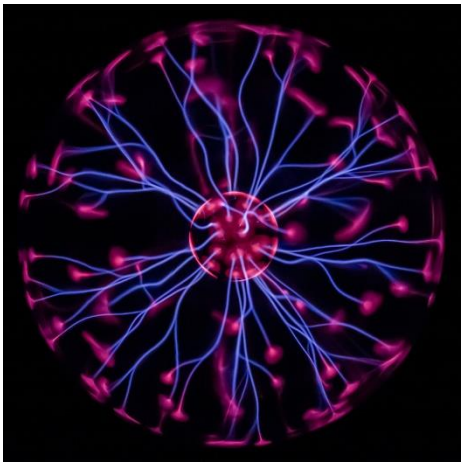
Precisaremos também do módulo conversor DC-DC para a tensão ajustável, como este mostrado na fig.8.



Fig. 8 Módulo conversor DC-DC

No próximo mês, na segunda parte do artigo, apresentarei a montagem da minha fonte a partir de uma fonte ATX.

Fundamentos de Eletrônica - IX



Alfredo Manhães*

Eletricidade e Magnetismo

O artigo anterior apresentou os conceitos iniciais do eletromagnetismo. Desta vez serão abordadas as equações de Maxwell, que são de grande importância por consolidarem as relações entre eletricidade e magnetismo.

Leis de Maxwell

O físico e matemático britânico James Clerk Maxwell desenvolveu uma série de estudos que relacionaram a eletricidade, o magnetismo e a óptica. Seu trabalho culminou em uma teoria proposta em 1864 com quatro equações que unificaram leis propostas anteriormente:

1. Lei de Gauss para a eletricidade: proposta inicialmente por Carl Friedrich Gauss, equivale à lei de Coulomb para cargas estáticas, e relaciona os campos elétricos e cargas elétricas, sendo aplicável a campos elétricos variáveis.
2. Lei de Gauss para o magnetismo: equivale à primeira lei e é aplicável a campos magnéticos, demonstrando que não há polo Sul ou Norte isolados (monopolo) e que as linhas de um campo magnético são contínuas, diferentemente das linhas de força de um campo elétrico.
3. Lei de Ampère: descreve a relação entre um campo magnético e sua origem, que pode ser uma corrente elétrica ou um campo elétrico variável. Para Maxwell, um campo magnético variável induz uma corrente elétrica, e consequentemente um campo elétrico. Logo, pela ideia de simetria, um campo elétrico variável deve produzir um campo magnético por indução.
4. Lei de Faraday: descreve os aspectos do fluxo magnético variável gerado por um campo elétrico. Os campos magnéticos variam no tempo e geram campos elétricos rotacionais.

***Mestre em Engenharia da Computação**

As quatro equações de Maxwell formam um grupo de equações diferenciais parciais, conforme mostrado na figura 1.

Nome	Forma diferencial	Forma integral
Lei de Gauss	$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_f$	$\oiint_{\partial V} \mathbf{D} \cdot \mathrm{d}\mathbf{A} = Q_f(V)$
Lei de Gauss para o magnetismo	$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0$	$\oiint_{\partial V} \mathbf{B} \cdot \mathrm{d}\mathbf{A} = 0$
Lei da indução de Faraday	$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t}$	$\oint_{\partial S} \mathbf{E} \cdot \mathrm{d}\mathbf{l} = -\frac{\partial \Phi_{B,S}}{\partial t}$
Lei de Ampère (com correcção de Maxwell)	$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J}_f + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$	$\oint_{\partial S} \mathbf{H} \cdot \mathrm{d}\mathbf{l} = I_{f,S} + \frac{\partial \Phi_{D,S}}{\partial t}$

FIGURA 1 – EQUAÇÕES DE MAXWELL.

Estas equações têm inúmeras aplicações em projetos de sistemas elétricos, antenas para transmissão e recepção de sinais, dentre outras possibilidades.

Força de Lorentz

Quando uma carga elétrica Q é colocada na presença de um campo elétrico ela fica submetida a uma força F do campo elétrico E, representada por F = Q.E. (I)
Sabe-se que cargas elétricas em movimento estão associadas à existência de um campo magnético, que exerce uma força sobre essas cargas. Essa força independe da forma como o campo magnético é gerado.

Dado um campo magnético B e uma carga elétrica Q em movimento, B exerce sobre Q uma força magnética F = Q.v.B (II), onde v é a velocidade da carga. Há duas possibilidades para que essa força seja nula:

- Se a carga Q está em repouso (v=0).
- Se o vetor velocidade for paralelo ao vetor campo magnético.

Para um caso geral onde há tanto um campo elétrico, E, quanto um campo magnético B, a força resultante sobre uma carga em movimento é dada pela expressão que combina as equações I e II, denominada Força de Lorentz:

$$F = Q \cdot (E + v.B)$$

As equações de Maxwell e a Força de Lorentz compõem a base da teoria do eletromagnetismo clássico e dos fenômenos óticos, como será descrito a seguir.

Natureza da Luz

Os trabalhos de Maxwell e Lorentz permitiram a descrição de todos os fenômenos eletromagnéticos observados até aquele momento.

Maxwell percebeu, a partir de suas equações, que os campos magnético e elétrico podem se propagar de forma muito similar a uma onda. Esses estudos teóricos permitiram a Maxwell propor um modelo para a propagação da luz e prever a e existência das ondas eletromagnéticas.

Atualmente, sabe-se que as ondas são oscilações em função do tempo e do espaço, e transportam energia. Elas podem ser classificadas em mecânicas, que necessitam de um meio material para se propagarem, e eletromagnéticas, que podem se propagar no vácuo. O som é um exemplo de onda mecânica, ao passo que a luz é classificada como onda eletromagnética.

Qualquer tipo de onda apresenta uma série de características (figura 2), como a amplitude (A), as cristas e os vales.

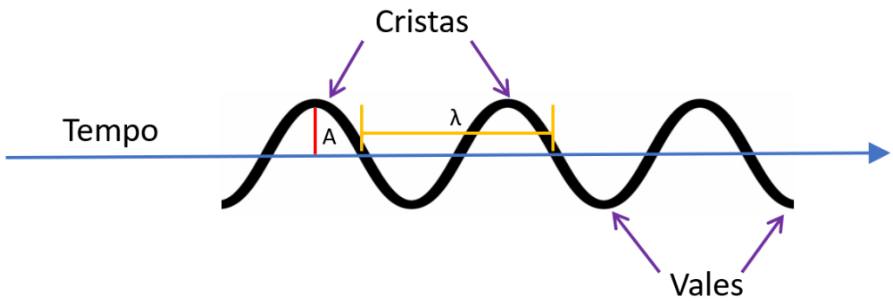


FIGURA 2 – CARACTERÍSTICAS DE UMA ONDA.

Há, ainda:

- Comprimento de onda (λ): é a distância entre dois pontos equivalentes e que pertencem a dois pulsos consecutivos.
- Frequência (f): é a taxa de repetição de uma onda ao longo do tempo.
- Período (T): é o intervalo de tempo necessário para que ocorra uma onda completa.

No Sistema Internacional de unidades utiliza-se o comprimento de onda em metros, a frequência em repetições por segundo ou Hertz (Hz) e o período em segundos. O período é o inverso da frequência e vice-versa.
Na tabela 1 pode-se observar o tipo de onda de alguns fenômenos físicos e suas respectivas frequências.

TABELA 1 – TIPOS DE ONDA E FREQUÊNCIA DE ALGUNS FENÔMENOS FÍSICOS

Tipo de Onda	Origem	Frequências (Hz)	Exemplo
Ondas de Rádio e TV	Circuitos elétricos oscilantes	10^4 a 10^{10}	Emissoras de rádio, tv e radar
Micro-ondas	Correntes alternadas em tubos de vácuo	10^8a 10^{12}	Telecomunicações
Infravermelho	Qualquer objeto aquecido	10^{11} a 10^{14}	Lareira
Radiação Visível	Elétrons exteriores dos átomos	$4x10^{14}$a $8x10^{14}$	Luz
Ultravioleta	Partículas eletrizadas nos átomos	$8x10^{14}$a 10^{17}	Sol
Raios X	Elétrons interiores os átomos e elétrons livres de alta energia desacelerados subitamente	10^{15}a 10^{20}	Radiografia
Raios Gama	desintegração de substâncias radioativas	10^{19}a 10^{24}	Radioterapia

Fonte: UFRGS - Física Térmica - Notas de Aula (2004).

Diferentes tipos de ondas eletromagnéticas podem ser representados por faixas de frequências ou comprimentos de ondas que as caracterizam, como as micro-ondas, luz visível, ondas de rádio, radiação infravermelha etc, formando o espectro eletromagnético.

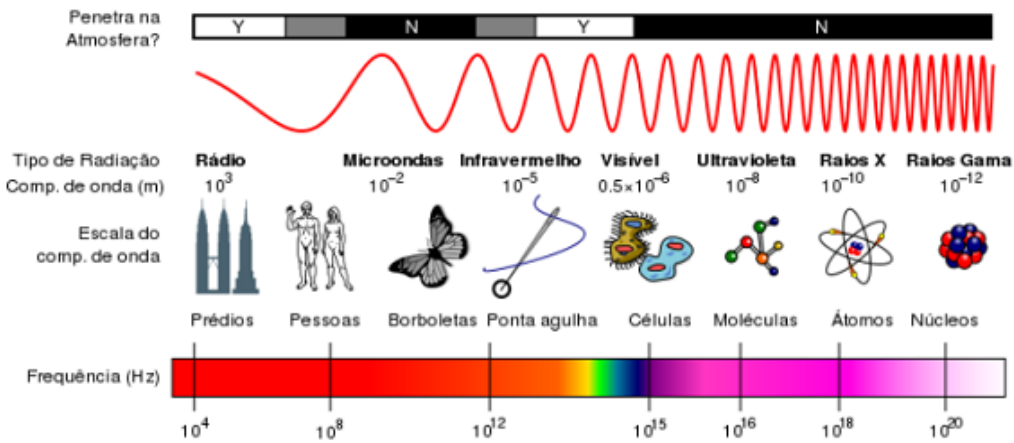


FIGURA 3 – O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.

Calculando a velocidade destas ondas no vácuo, Maxwell obteve o valor de 3.10^8 m/s, ou seja, a mesma velocidade obtida para a propagação da luz. Assim, Maxwell sugeriu que a luz era um tipo de onda eletromagnética, fato que foi comprovado nove anos depois pelo físico alemão Heinrich Hertz.

As ondas eletromagnéticas apresentam as seguintes características:

- São formadas pela combinação de campos elétricos e magnéticos variáveis.
- O campo elétrico e o campo magnético são perpendiculares.
- O campo elétrico e o magnético são perpendiculares à direção de propagação, o que significa que são ondas transversais.
- A velocidade de propagação dessas ondas no vácuo é $c = 3.10^8$ m/s;
- Ao propagar em meios materiais, a velocidade obtida é menor do que quando a propagação ocorre no vácuo.

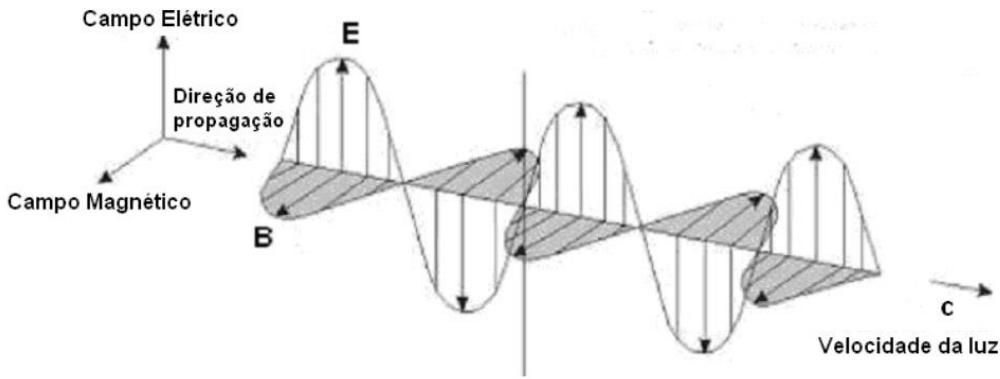


FIGURA 4 – PROPAGAÇÃO DAS ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.
FONTE: CONHECIMENTO CIENTÍFICO - HTTPS://CONHECIMENTOCIENTIFICO.R7.COM/ELETROMAGNETISMO/

Antenas - uma aplicação das equações de Maxwell

As antenas são estruturas que caracterizam as terminações de sistemas de transmissão e recepção como os de rádio e tv por satélite. Geralmente são compostas por materiais metálicos, como cobre ou alumínio, e têm por função converter uma corrente elétrica em radiação eletromagnética e vice-versa. As antenas de transmissão (figura 4) produzem ondas que se propagam no espaço, ao passo que as de recepção realizam o processo inverso: elas captam ondas e as transformam em sinais elétricos que podem ser convertidos, por exemplo, em som ou imagem, utilizando um dispositivo de recepção como o telefone celular, tv, dentre outros.

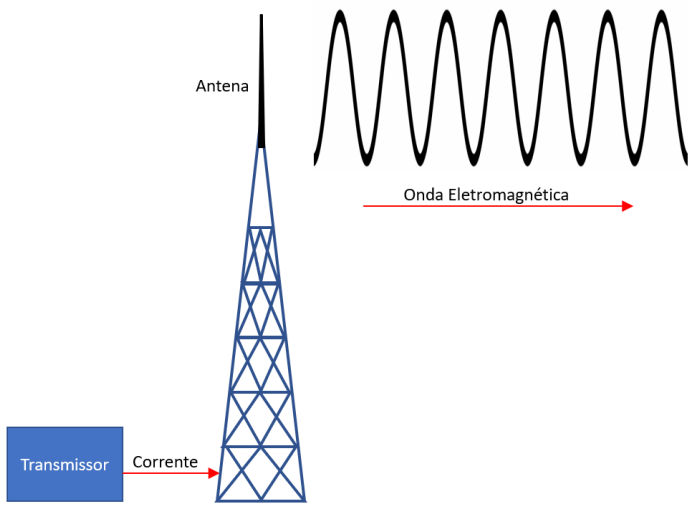


FIGURA 5 – ESQUEMA DE TRANSMISSÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS.

O formato e as dimensões de uma antena determinam qual é sua frequência de operação, além de suas características de recepção e transmissão de sinal, ou seja, alcance, direcionalidade, ganho, forma de onda etc. Como o funcionamento das antenas se baseia na emissão e recepção de radiação eletromagnética, as Equações de Maxwell são utilizadas em seu projeto. Este assunto será abordado em artigos futuros. O monopolo e o dipolo são tipos bem comuns de antenas, consistindo em um ou duas hastes de metal, respectivamente. As antenas do tipo Yagi-Uda ou Yagi são direcionais, constituídas de um dipolo e elementos parasitas, sendo utilizadas para captação de sinal de radar, Wi-Fi e rádio.



FIGURA 6- ALGUNS TIPOS DE ANTENA: (A) DOIS ELEMENTOS, (B) DIPOLO DOBRADO, (C)YAGI E (D)X-QUAD.

Cada tipo de antena apresenta uma forma de irradiar o sinal e produzir uma frente de onda. A figura 7 mostra alguns diagramas da intensidade de radiação para uma antena dipolo. Quando uma antena é bem projetada ela apresenta as melhores condições para transmitir ou receber as ondas eletromagnéticas e oferece ao sinal a diretividade, ganho e eficiência necessárias para que ele atinja seu destino.

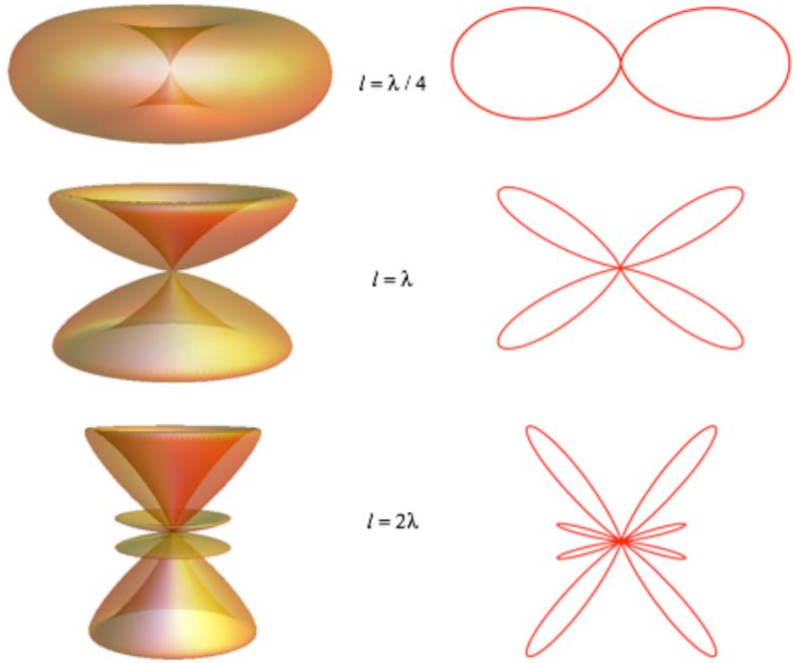


FIGURA 7 – DIAGRAMAS DE INTENSIDADE DE RADIAÇÃO.
Fonte: http://lsi.fotonica.ufpe.br/fontana/EletromagnetismoWebParte02/mag2cap11.htm

As teorias de Maxwell propiciaram um melhor conhecimento dos fenômenos eletromagnéticos e da natureza da luz, e tornaram-se a base para boa parte das inovações tecnológicas do século XX, contribuindo enormemente para a melhoria da qualidade de vida no planeta.

Nos próximos artigos continuaremos explorando conceitos importantes do eletromagnetismo. Até lá!

Recuperando Um Amplificador da Década de 1970 - II

Marcelo Yared*

Nesta segunda parte do artigo, iremos mostrar como foi a colocação dos módulos QUAD no amplificador FBL, bem como complementaremos as medidas e avaliaremos seu desempenho.

A operação não é complicada, mas uma pequena alteração deve ser feita.

O módulo amplificador original tem, além das conexões de +B, 0V, entrada de sinal e saída de sinal, uma conexão adicional para uma alimentação auxiliar. Ela não será mais necessária no nosso caso.

Entretanto, o pino de conexão será útil para isolarmos o 0V (terra) da alimentação da conexão de terra da entrada de sinal, que no Quad é isolada por um resistor de 2,2Ω.

O conector tem cinco pinos e a conexão do fio amarelo, na foto abaixo, foi desligada da fonte do FBL e conectada no terra de entrada do circuito do pré-amplificador.



No meu equipamento, essa conexão, no subpainel interno, é feita com um fio azul, e é compartilhada entre os dois canais. Ela deve ser desfeita e os fios de cada canal devem seguir, isolados, até o ponto de aterramento da placa pré-amplificadora.

Essa configuração diminui a possibilidade de problemas de aterramento.

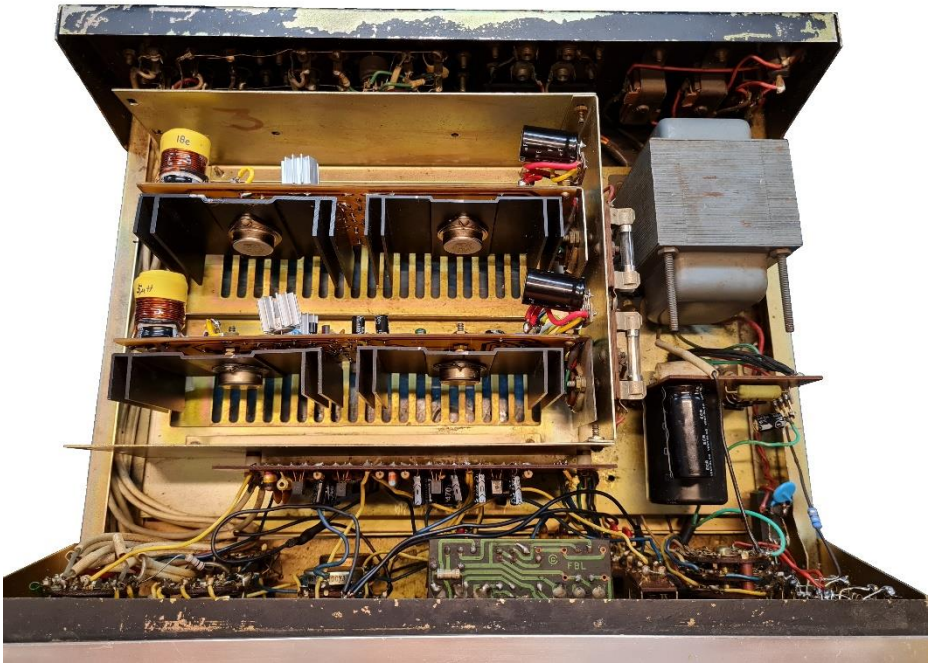
***Engenheiro Eletricista**

Outra modificação, como a placa do módulo amplificador foi reduzida em 1 centímetro, foi a confecção de outro suporte para ela, em forma de L, no lugar do suporte original.

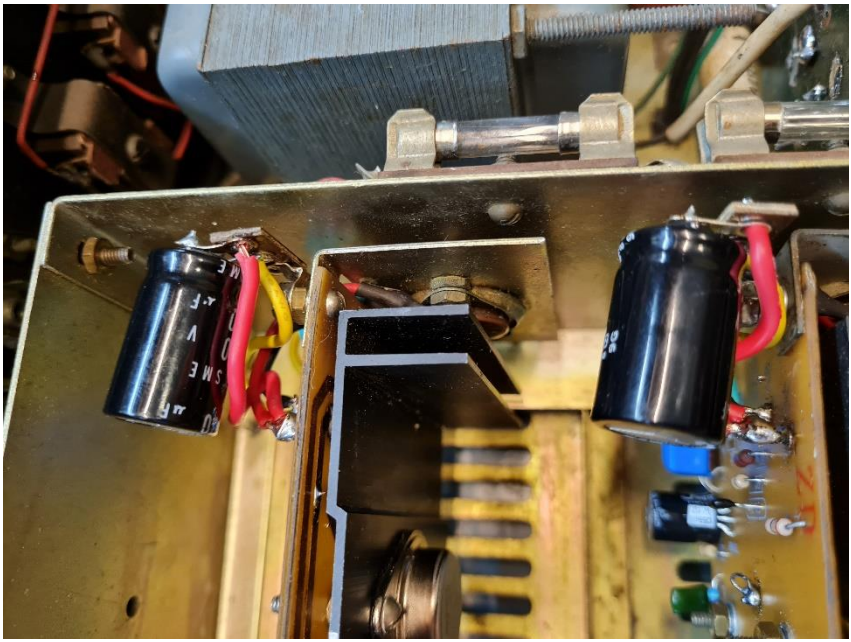




Após ajustada a fiação e montados os módulos nas baias respectivas, a montagem interna ficou assim:



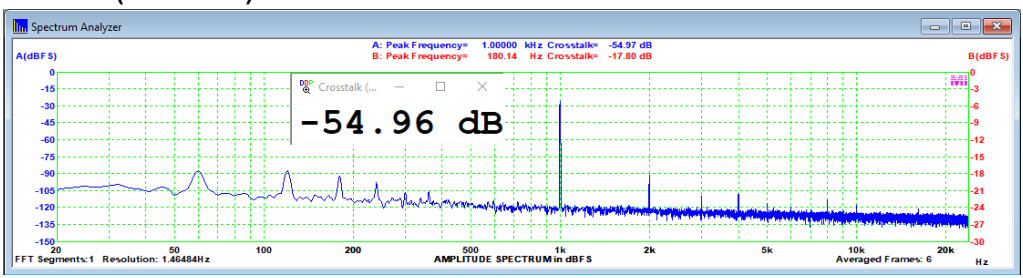
Também colocamos, junto ao conector de cada módulo, um capacitor entre o +B e o 0V, de 330µF/63V, que, ligado após o fusível de proteção, proporcionou uma melhor estabilidade nas linhas de alimentação.



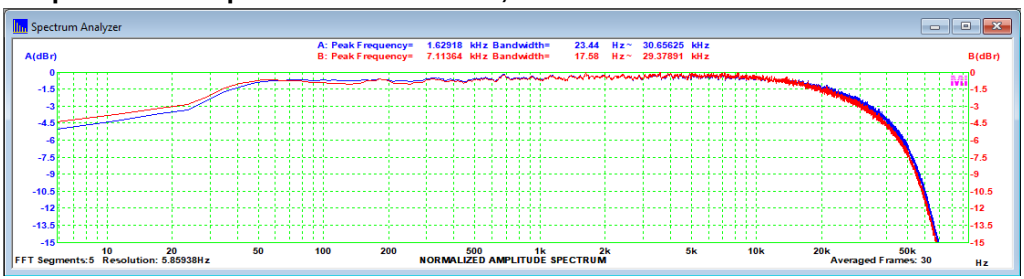
Após encerrada a montagem, energizamos o aparelho e fizemos um reajuste na corrente de repouso dos módulos QUAD. Isso foi necessário pela redução da tensão de alimentação em relação à utilizada nos testes individuais, e nos trouxe boas surpresas nas medições do amplificador completo.

Vamos a elas, medidas em 240VCA/60hz:

Diafonia (Crosstalk) a 1W/1kHz/8Ω

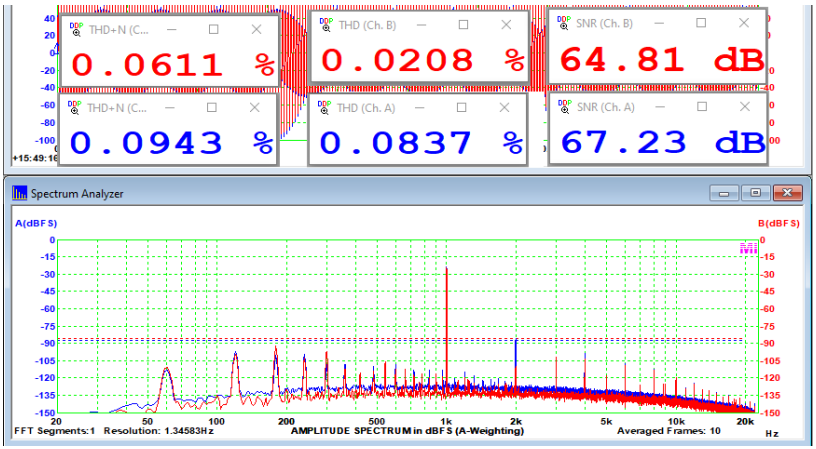


Resposta em Frequência a 1W/1kHz/8Ω, com ruído branco

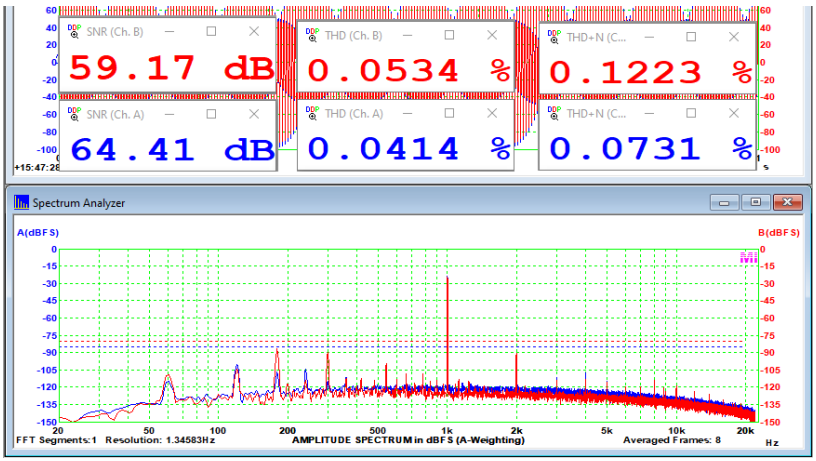


Boa resposta, bastante plana e, neste meu equipamento, aparentemente o problema com o filtro de presença apontado anteriormente na análise em Antenna foi resolvido.

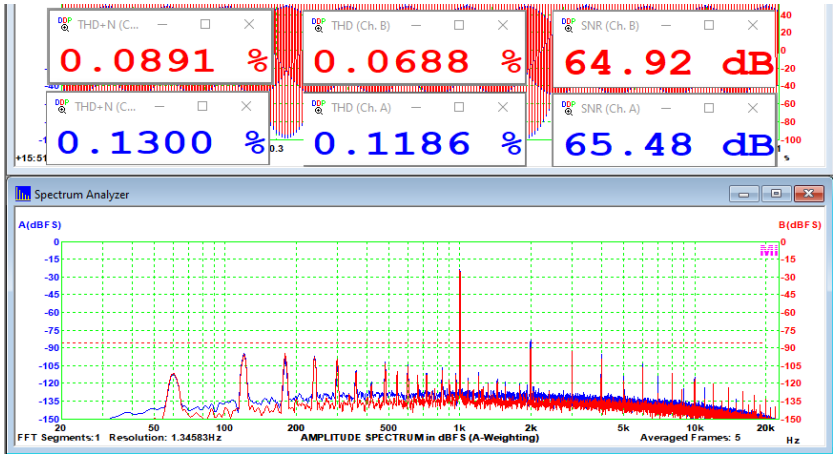
Distorção Harmônica a 1W/1kHz/8Ω



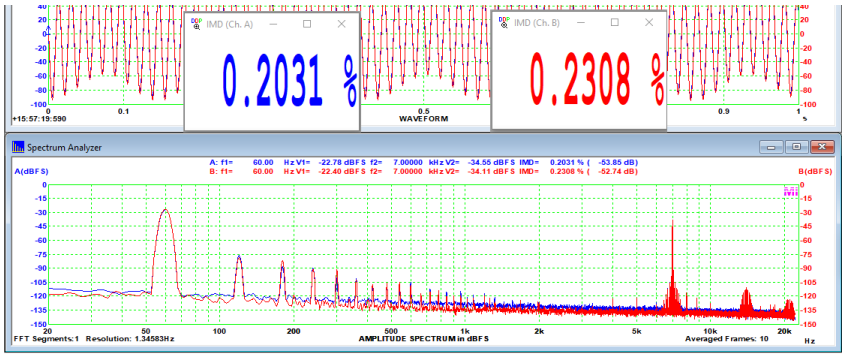
Distorção Harmônica a 10W/1kHz/8Ω



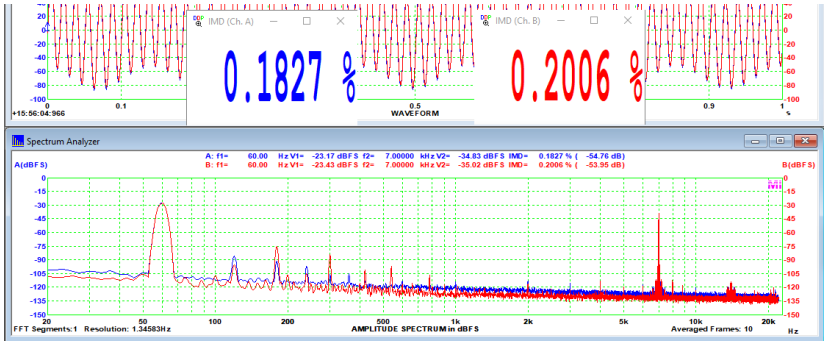
Distorção Harmônica a 30W/1kHz/8Ω



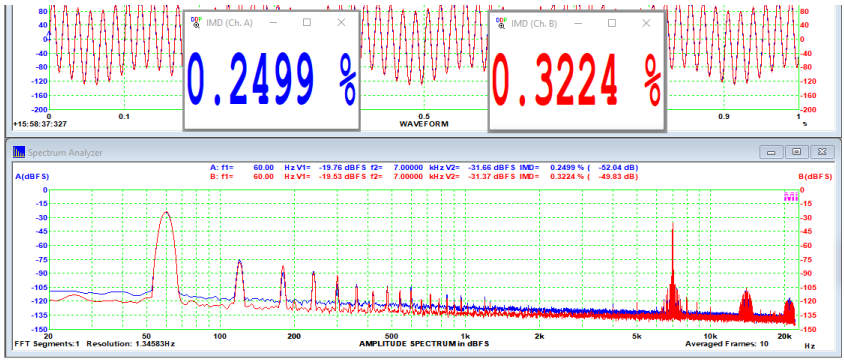
Distorção Por Intermodulação SMPTE a 1W/8Ω



Distorção Por Intermodulação SMPTE a 10W/8Ω



Distorção Por Intermodulação SMPTE a 30W/8Ω



Observamos que o ajuste adequado da corrente de repouso e o manejo da fiação de terra beneficiou os parâmetros de qualidade objetivos. Agora o amplificador FBL apresenta valores razoáveis de distorção e ruído, e pode voltar à ativa, com boa qualidade de som.

A potência antes do ceifamento caiu para aproximadamente 35W em 8Ω, condizente com os valores divulgados em Antenna de fevereiro de 1974. Isso se deve à capacidade da fonte do aparelho. A QUAD não recomenda o uso do amplificador em 4Ω, assim, deixamos de medir nesta condição, mas a potência obtida é suficiente para sonorização residencial, sem maiores dificuldades.

É um equipamento bonito, com bom acabamento, knobs torneados e com guarnições cromadas, além de laterais cobertas com madeira maciça.

Um abraço e até a próxima!



ANÁLISE DO CSR LANNER AL 9280



Marcelo Yared*

Em abril de 1980, Antenna publicou a análise de dois amplificadores fabricados pela CSR, em sua linha residencial Lanner, o AL 9090 e o AL 90120.

Na introdução, os articulistas informaram que receberam da CSR três amplificadores integrados para análise, mas iriam analisar somente os dois primeiros porque o terceiro, o AL 9280, foi enviado sem manual.

Apesar de ainda não termos o manual, vamos realizar a análise do equipamento faltante assim mesmo. Era o amplificador mais potente da CSR e era também muito utilizado para sonorizações simples, pois tem uma entrada de microfone que pode ser misturada com as outras fontes de sinal. Devia “quebrar um bom galho” nas festinhas do bairro.

Não conseguimos encontrar um inteiro para medir, assim, tivemos que recorrer à recuperação de um sucateado. Estava em bom estado estético, com os painéis praticamente perfeitos. por dentro, entretanto...

Faltava uma das placas de saída de áudio, a fonte de estava danificada e incompleta e faltavam também os dois (grandes) dissipadores de calor dos transistores de saída.

Em relação às funcionalidades, o amplificador é bem completo, apesar de simples. Controles convencionais de graves, agudos, filtros para altas e baixas frequências, loudness, capacidade de ligação de até quatro sonofletores e de monitoração de gravadores, bem identificados em um painel simples, junto com o misturador de microfone e uma saída de fones de ouvido. Um LED vermelho indica que o aparelho está energizado.

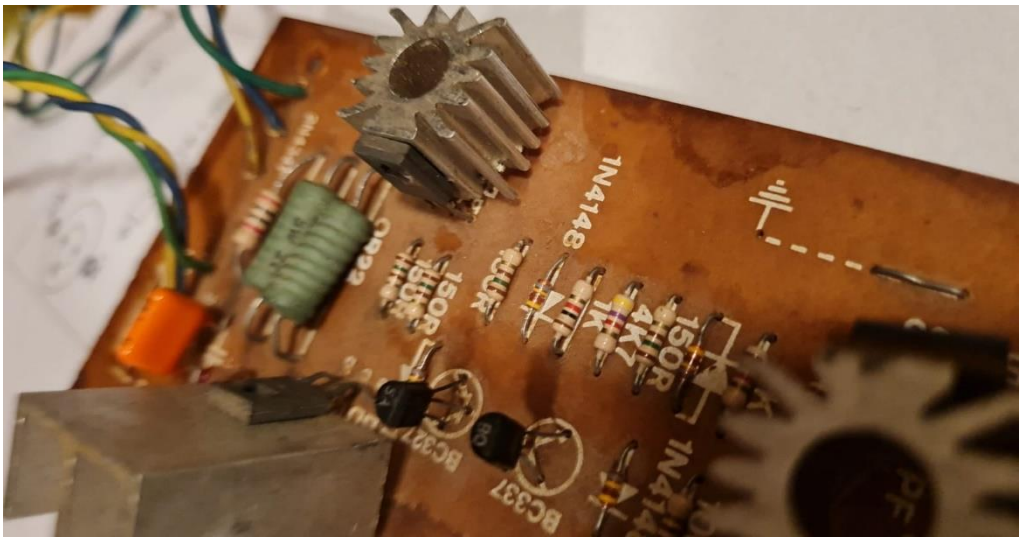
***Engenheiro Eletricista**



No painel traseiro, duas saídas comutadas de energia, os conectores de sonofletores, do tipo de pressão, bem práticos para testes e as entradas tradicionais, além das conexões de monitoração e de gravação.

O equipamento é grande, o gabinete é todo de aço e bastante robusto. Internamente, a construção é modular, com placas bem identificadas e distribuição racional.

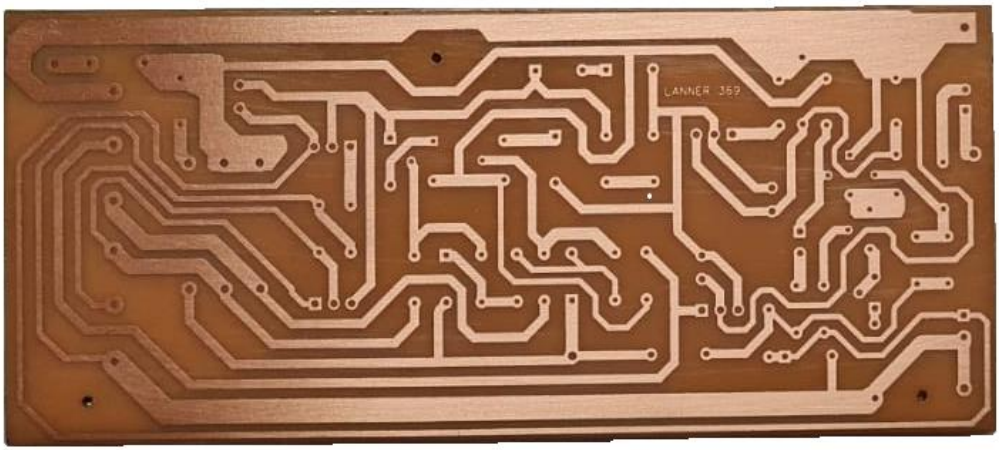
Entretanto, a montagem e o trabalho interno não são dos melhores. As placas de amplificação, por exemplo, não têm sua montagem feita com esmero. Transistores de média potência suportam, colados, dissipadores de massa razoável, sem apoio.

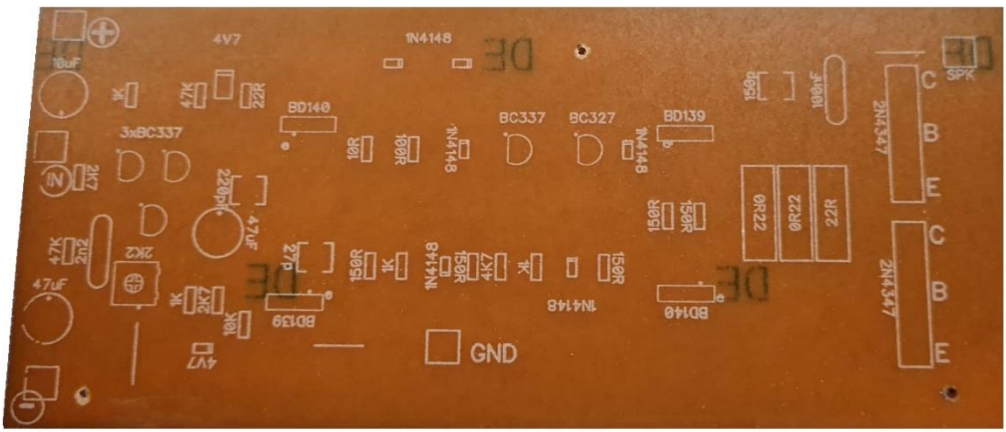


Fiações longas, com fios de bitola pequena, circundam o gabinete e conexões de terra são mal distribuídas; conexões internas são feitas nos próprios terminais das chaves e dos componentes. Realmente a montagem não pode ser considerada boa.

Apesar de aparentar não estar danificada, a placa do módulo de potência que restou não me agradou mesmo.

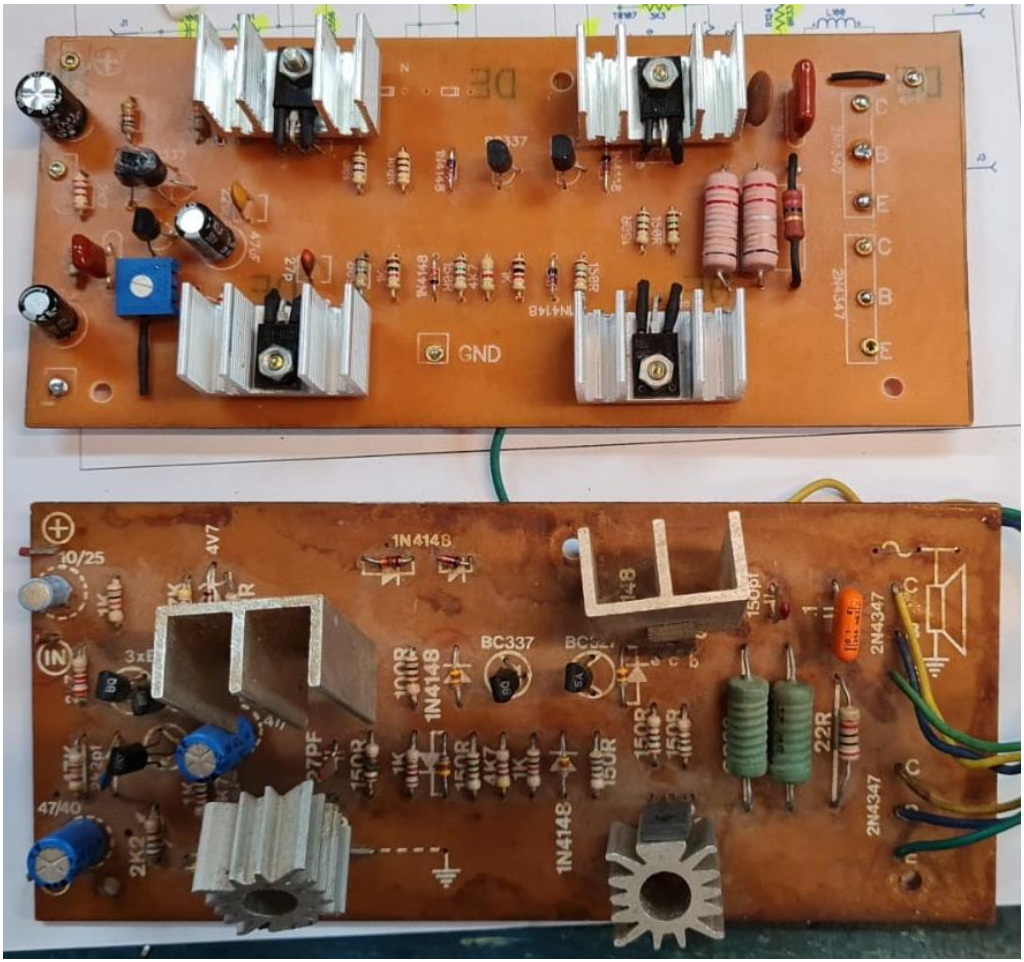
Como tinha que fazer uma para colocar no lugar da ausente, e sem alterar o leiaute das trilhas de cobre, refiz as duas, abrindo um pequeno espaço para que os dissipadores de calor, ao invés de ficarem colados nos transistores, pudessem ficar assentados nas placas e aparafusados. Utilizei os transistores descritos no esquema do aparelho, que se encontra na Internet.





Esta foi a primeira versão, pois não pretendia fazer a segunda, mas, quando vi que a montagem ficou muito melhor, decidi fazê-la, melhorando o espaço para assentamento dos dissipadores.

Quanto a isso, na minha unidade, após ajustados esses transistores drivers e de VAS não esquentam a ponto de precisarem de dissipadores do tamanho que foi utilizado. O uso de transistores TIP misturados com transistores BD nas mesmas funções me diz que, na verdade, a fábrica não tinha muita preocupação com padronização. As imagens que encontrei na Internet mostram que as placas eram assim mesmo. Após montada, a diferença para a original mostrou-se significativa.



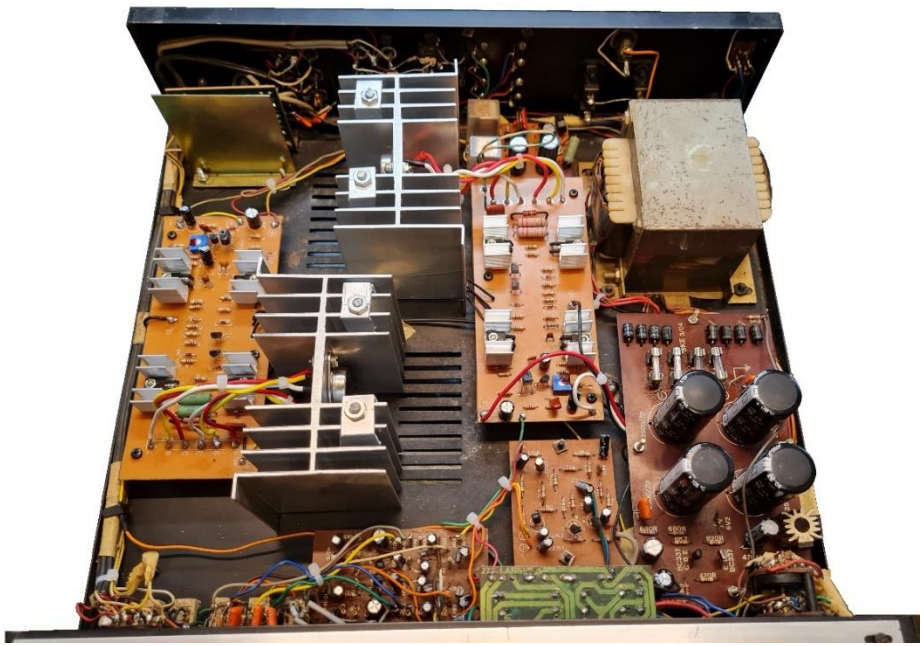
Havia, no esquema, um trimpot de ajuste do nível DC à saída e uma conexão para fusível na saída de alto-falante, que não estavam presentes na placa original. Coloquei o trimpot mas mantive o “jumper” onde deveriam estar as ligações do fusível.

Os transistores de potência originais eram os 2N4347, unidades de 100W e 140V de VCEo. Difíceis de se achar e com as características muito similares às do 2N3773, que utilizei, sendo que este último tem a seu favor a maior potência máxima (150W) e a maior corrente máxima também (15.A contra 5.A).

Tudo funcionou a contento e o ajuste da placa foi fácil, mas o circuito é bem simples e com uma configuração que pode apresentar limitações de máxima excursão à saída e, assim, diminuir a eficiência do circuito, o que pode explicar os enormes dissipadores originais utilizados. Como também não estavam lá e não são muito comuns, adquiri novos, de resistência térmica similar, para substituí-los.

Como o Christian Luloian tem um equipamento desses, funcionando, ele me fez a gentileza de tirar fotos internas e me mandar, para verificarmos o restante da fiação e ter certeza de que estava tudo OK.

No final, consertada a fonte e revisados os demais circuitos, a montagem ficou assim:



Medições

Antes de começar, procurei as especificações do AL 9280 na Internet, pelos valores informados pelo fabricante para ele e encontramos o seguinte, do site www.audio-rama.com.br:

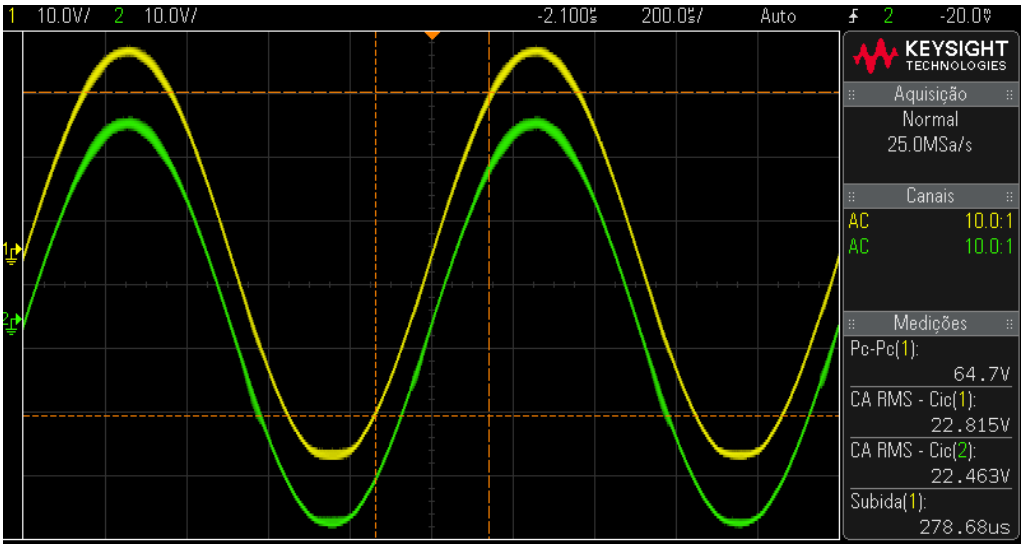
Potência de saída por canal	**90W RMS**
Impedância de saída	**4 a 16 Ohms**
Resposta de Freqüência	**15Hz - 50kHz (-2dB)**
Distorção Harmônica Total (THD)	**0,2%**
Distorção por Intermodulação (IMD)	**0,5%**
Fator de Amortecimento (Damping)	**22 (1kHz, 8 Ohms)**
Relação Sinal/Ruído	**60dB (Line)**
Sensibilidade e Impedância	**2,5 mV (Phono)**
	180mV (Line)
Alimentação	**110/220V (50/60Hz)**
Consumo	**120W (Máx. sinal)**

Inicialmente, obtivemos valores muito ruins, mesmo considerada a simplicidade dos circuitos utilizados, com valores de distorção na casa dos 3% a 4% e com bastante ruído nas senoides de saída. Verificando novamente a montagem, percebemos que, nesta unidade, as conexões de aterramento estavam distribuídas por diversos fios soldados diretamente no chassis, em pontos distintos. Isso é incomum e o usual é que a conexão ao chassis seja única, evitando-se *loops* de terra e outros problemas.

Como não é possível saber se eram originais de fábrica ou não, retirei todas e fiz uma conexão única ao chassis, próxima à chave de seleção de sinal de entrada, onde as blindagens dos cabos das entradas de sinal estão conectadas. Todos os demais aterramentos das placas foram direcionados, por fiações separadas, ao centro do terra da placa da fonte, após os capacitores principais de filtro, formando uma estrela.

Com isso, os valores de distorção e ruído ficaram bem melhores, e próximos aos divulgados, como veremos. Sobrou ainda algum ruído, mas ficou aceitável. Todas as medições foram feitas em 240VCA/60Hz, com ambos os canais em carga.

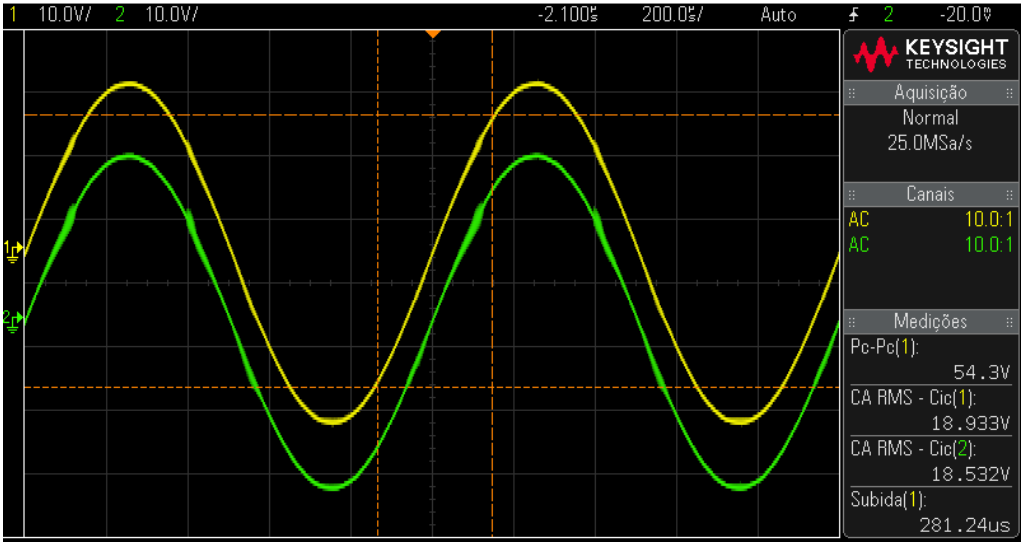
Potência antes do ceifamento em 8Ω/1kHz – 62,7W



Como a informação é de que a potência máxima seria de 90W, por canal, sem informar com qual impedância, entendemos que esta seria de 4Ω, o que é interessante, pois, neste amplificador, quando utilizamos dois pares de caixas, o seletor de falantes as coloca em série na posição A+B, e não em paralelo, como é comum. Disso resulta que podem ser utilizadas quatro caixas com 4Ω de impedância.

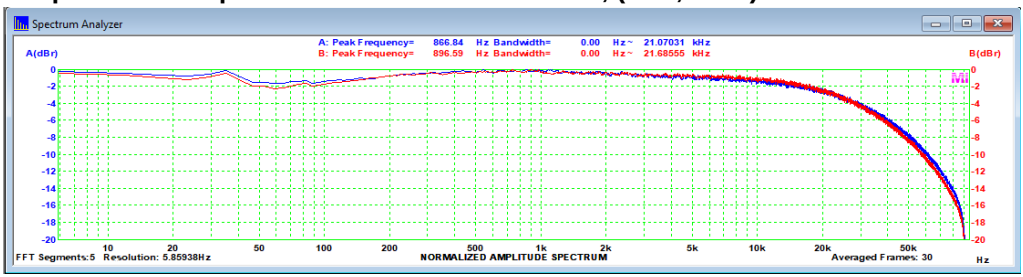
Para medir, então, a potência antes do ceifamento em 4Ω colocamos as cargas em paralelo na saída A do amplificador, com o seguinte resultado:

Potência antes do ceifamento em 4Ω/1kHz – 89,2W



Valor próximo do anunciado. Essas medidas foram tiradas com a tensão de 240VCA, o que é equivalente à tensão de 120VCA de boa parte do país. Em 220VCA, comum nas redes mais modernas e também bastante comum, a potência cai para em torno de 50W em 8Ω.

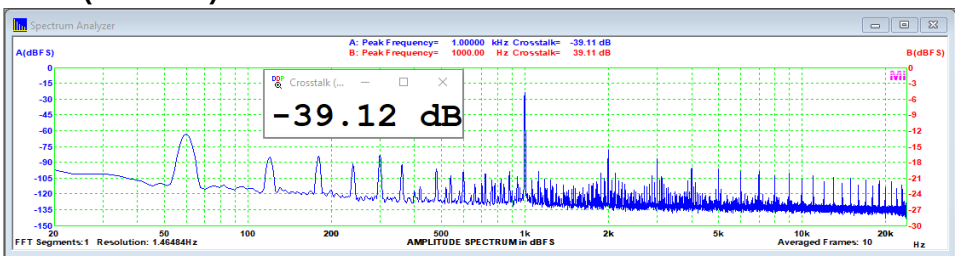
Resposta em frequência a 1W/8Ω - 5Hz a 21kHz, (0dB, -3dB)



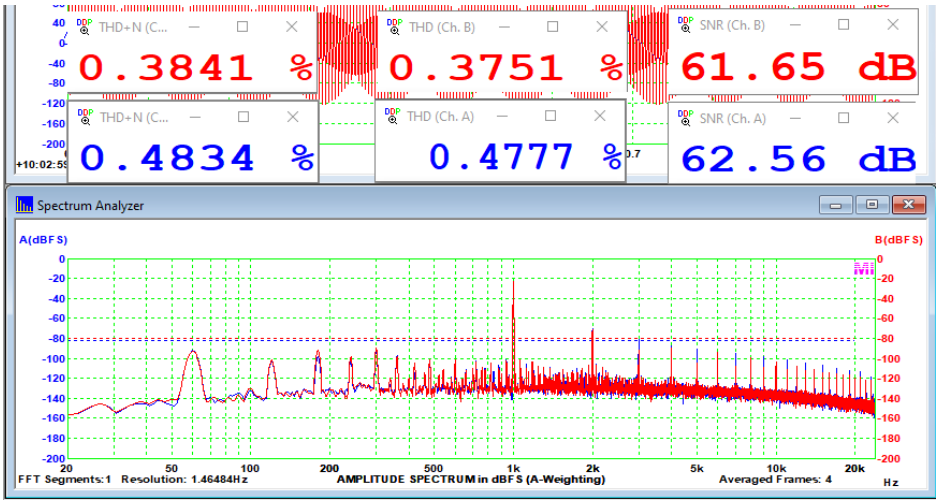
Com todos os controles na posição plana e com o loudness desligado, obtivemos uma resposta bem plana, com uma queda de 2dB em baixas frequências. É um pouco limitada, mas suficiente. Não alcança o corte superior informado pelo fabricante, que seria um bom valor (50kHz), mas a resposta na parte inferior da curva foi melhor que o divulgado (15Hz).

O **fator de amortecimento** medido em 8Ω, 1kHz, 1W foi de **25**, um pouco superior ao divulgado. Poderia ser bem melhor, mas a fiação realmente não ajuda. O estágio de amplificação também é um pouco limitado, mas funcional, nesse sentido.

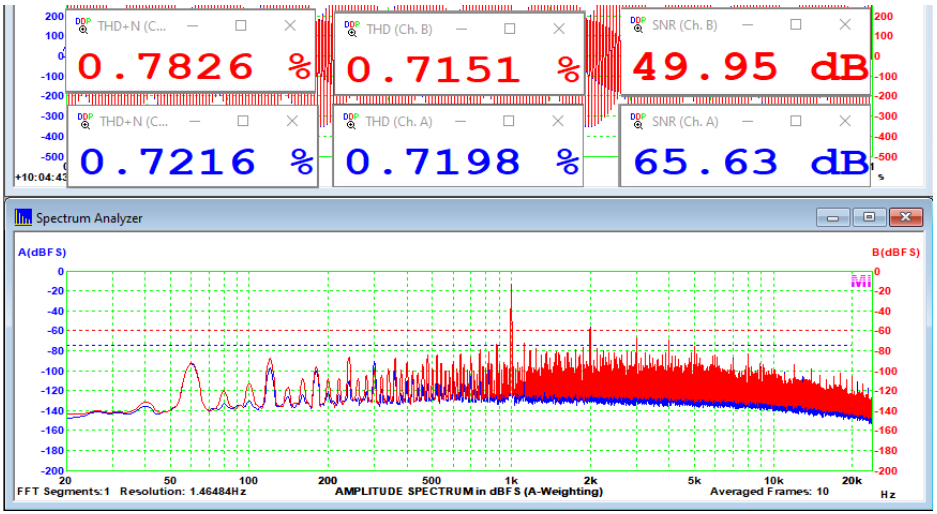
Diafonia (crosstalk) a 1W/8Ω/1kHz



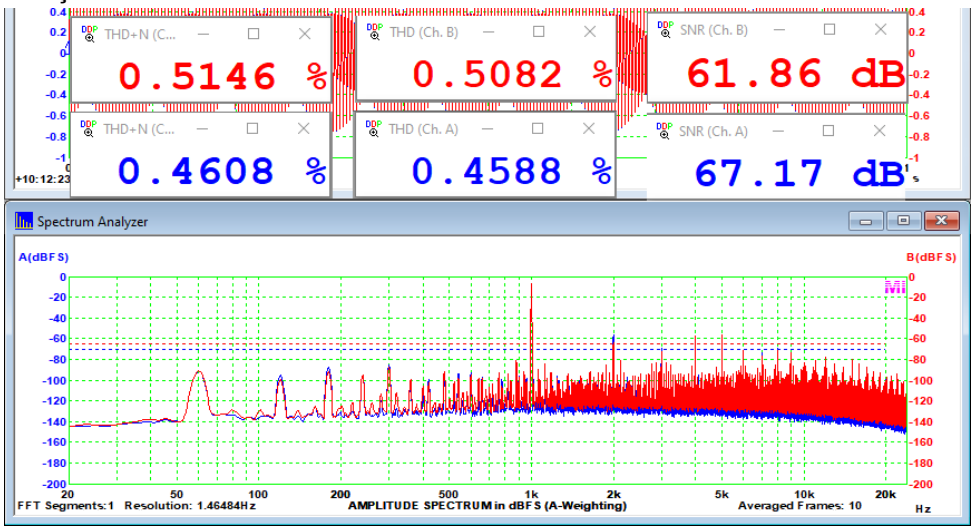
Distorção harmônica total a 1W/8Ω/1kHz



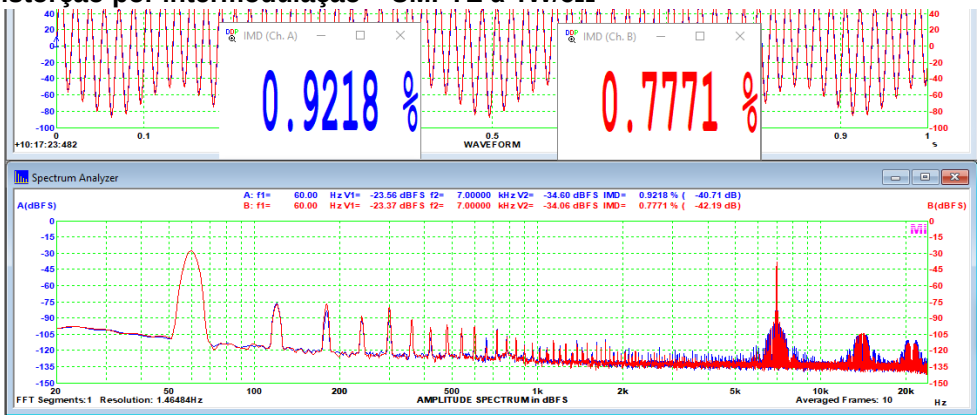
Distorção harmônica total a 1W/8Ω/1kHz



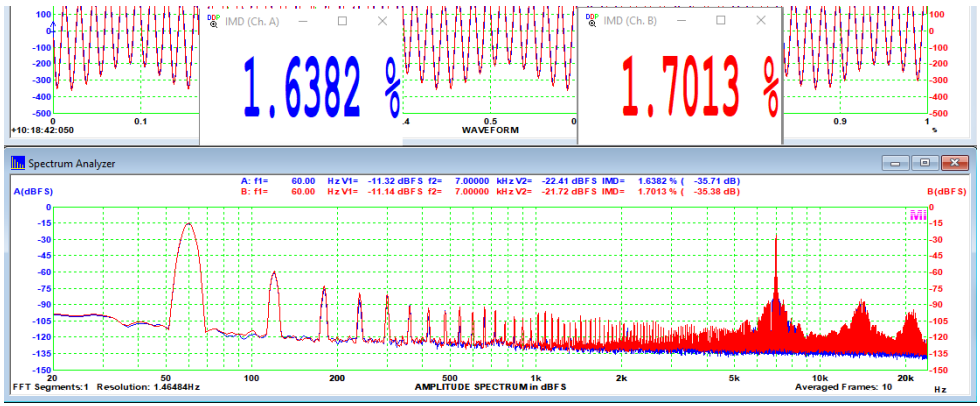
Distorção harmônica total a 50W/8Ω/1kHz



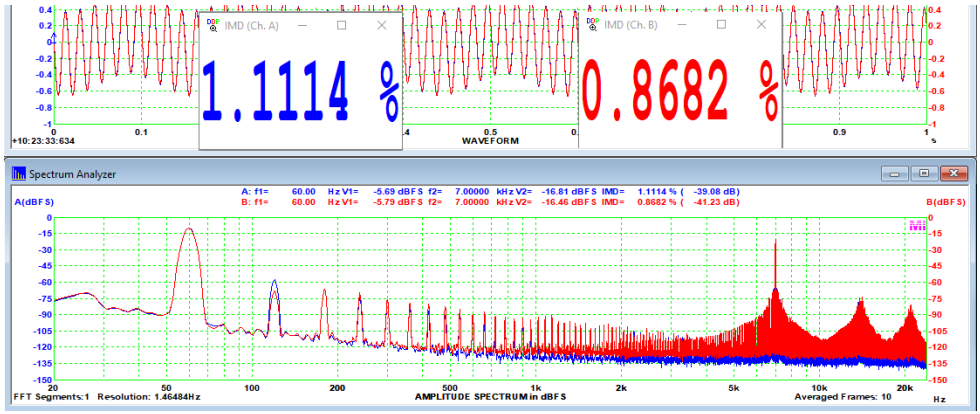
Distorção por intermodulação – SMPTE a 1W/8Ω



Distorção por intermodulação – SMPTE a 10W/8Ω



Distorção por intermodulação – SMPTE a 50W/8Ω



Os valores de distorção não são dos melhores, e estão acima dos divulgados (0,2% DHT e 0,5% DI).

Neste aspecto, podemos observar que há alguma interação não usual entre os canais, pois, ao colocar o balanço para um lado, os valores de distorção melhoraram significativamente, chegando próximo aos anunciados. O ruído caiu muito também. Eu creio que as etapas de preamplificação devem ter algum problema, e isso deve ter a ver com a linha de montagem, pois os valores obtidos na análise do AL 9090 e do AL 9120 foram bastante similares aos obtidos neste amplificador.

A atuação dos filtros de grave e agudos é efetiva, bem como do loudness e a sensibilidade das entradas é boa, compatível com as divulgadas.

O consumo em 8Ω foi de 216W e, em 4Ω, de 336W, com eficiência superior a 50% e muito maior que o divulgado.

Em resumo, é um amplificador de boa potência, o recurso do misturador para o microfone é muito interessante e lhe dá flexibilidade de uso. Os valores medidos se mostram apenas razoáveis, mas permitem seu uso em várias aplicações, particularmente em sonorização..

Creio que se a CSR tivesse dedicado maior cuidado com a montagem e em alguns pontos do projeto, ele teria desempenho bem melhor. Mas tudo isso significaria mais custos e, se a memória não me falha, os equipamentos Lanner tinham preços bem acessíveis à época.

Até a próxima!

Teste de Fator de Amortecimento em Amplificadores

Marcelo Yared*

O fator de amortecimento é um dos parâmetros usualmente medidos em amplificadores de áudio e, como muitas outras coisas em relação a eles, é objeto de controvérsias.

Em grupos de discussão e nas redes sociais encontramos muitas opiniões e avaliações subjetivas sobre essa característica dos amplificadores, com associações, também subjetivas, à qualidade ou ao valor de componentes que compõem os equipamentos.

Uma das associações mais comuns, com diversas variações, é com o valor da capacitância de filtro da fonte de alimentação do amplificador, vinculando o seu aumento a uma melhora nos graves, por conta do crescimento do fator de amortecimento.

Neste artigo, vamos testar essa hipótese, de forma simples, e verificar se isso procede.

Isso é importante, pois, na maior parte das vezes, por conta dessa associação, há a sugestão de se agregar mais capacitores de filtro ou mesmo trocar os originais por outros de maior valor e/ou de outro fabricante ou marca. Muitas vezes a diferença é muito grande e o preço também.

Então, para termos alguma ideia sobre se o que gastamos nesse tipo de modificação vale a pena, vamos ver os resultados em um caso real.

Um pouco de teoria

Antes de irmos para a prática, recomendo a leitura da primeira parte do artigo do professor Álvaro Neiva, em Antenna, sobre fontes de alimentação lineares, para que se entenda qual é a função dos capacitores de filtro e transformadores em uma fonte convencional de amplificadores de áudio. O artigo pode ser encontrado em https://revista-antenna.com.br/projeto-de-fonte-de-alimentacao-em-corrente-continua-conversor-ca-cc-com-regulador-linear/.

Também, temos que saber o que é o fator de amortecimento em um amplificador de áudio, que, doravante neste texto, chamaremos de **FA**.

O termo, em língua inglesa, ***damping factor***, foi cunhado na década de 1940 por F. Langford Smith, o editor do famoso *Radio Designers Handbook (*conforme D. Self, em Audio Amplifier Design Handbook, 6ª edição, pág. 11).

***Engenheiro Eletricista**

Em termos gerais, **o FA em um amplificador de áudio é a relação entre a impedância da carga que ele excita** (normalmente um sonofletor) **e a sua impedância interna, vista na saída**.

Como se trata de uma relação de impedâncias, sabemos que ele pode variar com a frequência do sinal aplicado.

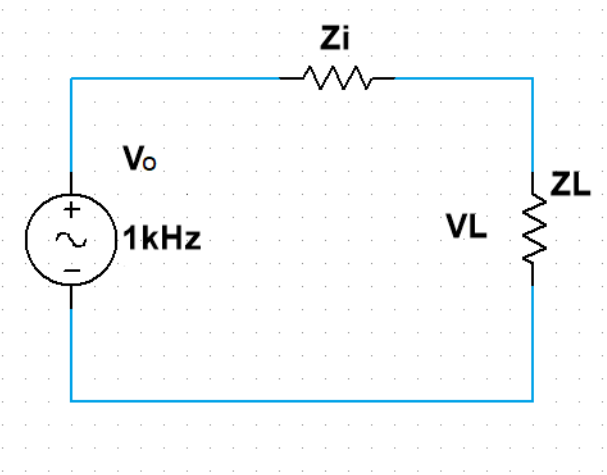
Usualmente, o FA é medido em 1kHz, com 1Vrms ou 1W aplicado sobre carga resistiva de 8Ω. Nada impede, entretanto, que seja medido sobre outras condições, como faremos adiante.

O termo amortecimento (*damping*) é usado de forma ampla em engenharia, pois é um parâmetro importante de projeto em vários campos. Uma descrição sobre seu significado pode ser encontrada em https://en.wikipedia.org/wiki/Damping.

Outro texto interessante sobre a importância (ou não) do FA em amplificadores de áudio é: http://diyaudioprojects.com/Technical/Papers/Damping-Damping-Factor-and-Damn-Nonsense-Floyd-Toole.pdf.

No nosso caso, buscamos, entretanto, a relação entre o aumento da capacitância e a eventual melhoria no FA.

Se considerarmos o modelo simplificado abaixo, que representa a interligação entre um amplificador de tensão Vo e sua carga, ZL, bem como a definição de FA, chegaremos à fórmula básica para determinarmos, de forma simples, o FA de um equipamento em nossa bancada:



Onde:
Vo é a tensão que o amplificador está fornecendo;
Zi é a componente total da impedância de saída do amplificador e
ZL é a impedância da carga.

Da definição de FA e considerando-se que uma corrente **Io** atravessa **Zi** e **ZL**, temos:

$$ZL=VL/Io$$
$$Zi=(Vo-VL)/Io$$

Como

$$FA = ZL / Zi,$$

Então:

$$FA = |ZL / Zi| = |VL| / |(Vo-VL)|$$

Usualmente, a medição da impedância interna de um amplificador não é simples, entretanto, se aplicarmos uma tensão nos terminais da carga **ZL**, que chamaremos **VL**, e, logo após, a desconectarmos e medirmos a tensão nos terminais do amplificador, com um voltímetro de resistência interna elevada, muito maior que o módulo de **Zi**, teremos o valor de **Vo,** com alta precisão, simplesmente desconectando-se a carga **ZL** do amplificador.

Como podemos medir **VL** e **Vo** com boa precisão, conseguimos saber o FA também com boa precisão.

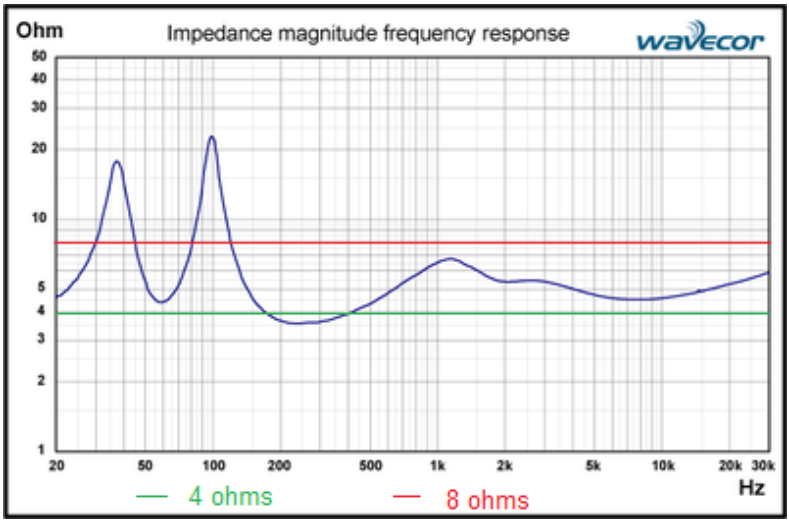
Já sabemos como medir o FA e, agora, temos que entender o que isso significa para nossos sistemas de som caseiros. O tratamento em relação à sonorização profissional, de alta potência e outras aplicações severas pode mudar um pouco, mas os princípios básicos são os mesmos.

De uma forma simples, podemos dizer que, para sistemas modernos, o amplificador deve ser visto pela carga como uma fonte de tensão perfeita, ou seja, não importa como varie a impedância da caixa de som, o amplificador deve apresentar sempre o mesmo valor de sinal à sua saída, controlando a carga.

Isso não ocorre em amplificadores normais na vida real, pois, para a interligação mostrada acima, implicaria que **Zi** seria igual a zero, como também a resistência da fiação que liga o amplificador à caixa, a resistência dos conectores etc.

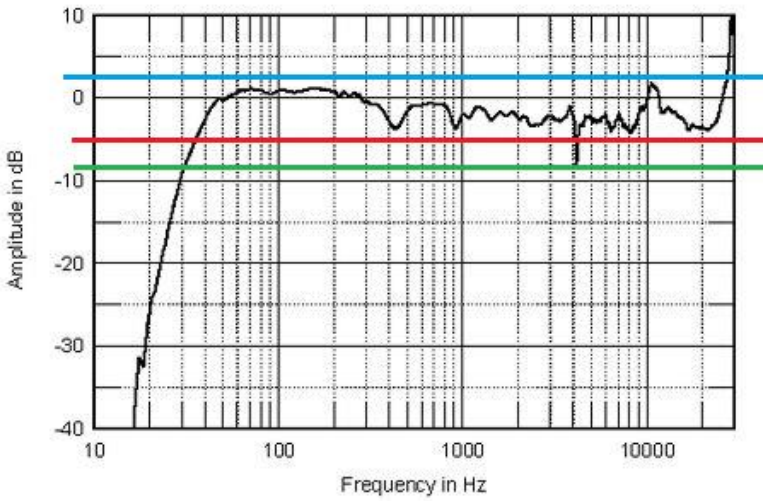
Também, um sonofletor residencial não ideal não apresenta impedância constante, pelo contrário, normalmente ela varia de forma significativa na banda audível.

Vejam, abaixo, esta curva do módulo da impedância de uma caixa acústica moderna, refletora de graves, retirada de um artigo do site Audioholics (https://www.audioholics.com/loudspeaker-design/speaker-impedance).



As minhas marcações, em verde e em vermelho, mostram como seria a impedância da caixa, se ela fosse perfeita, nesse sentido, em 4Ω (verde) e 8Ω (vermelho). A impedância nominal informada pelo fabricante é 8Ω. A variação é significativa.

Vejamos também como seria a curva de resposta de uma caixa moderna, e considerada bastante plana, com minhas marcações delimitando a variação na banda audível (https://www.stereophile.com/content/bw-dm603-s3-loudspeaker-measurements).



Sem considerarmos os extremos da banda, a resposta varia bastante entre +3dB e -8dB. E esta é considerada uma boa caixa (B&W DM603). Em caixas mais comuns e acessíveis, no mercado, normalmente, as variações são bem maiores.

Isso significa que, para sistemas residenciais, se as variações nos parâmetros dos amplificadores não forem significativas, elas não terão influência também significativa no desempenho geral do sistema, nesses aspectos. Ele será determinado, basicamente, por quão linear e bem feito é o sistema de caixas acústicas, suas ligações e também pelas características acústicas do ambiente em que elas se encontram.

Vejamos, agora, como se comporta a impedância de saída (**Zi**) em um amplificador moderno, transistorizado, com realimentação negativa, considerados os fabricados desde a década de 60.

Para isso, utilizamos como referências o *Audio Amplifier Design Handbook*, de Douglas Self, em sua 6ª edição, páginas 356 e 357 e Eletrônica, de Millman e Halkias, 2ª edição, capítulo 13.

Delas, podemos ver que a impedância de saída em malha fechada de amplificadores com realimentação de tensão, o tipo mais comum desde a década de 1960, no mercado, é dada pela sua impedância em malha aberta (**Zol**), na saída, e pela dessensibilização proporcionada por essa realimentação negativa aplicada ao estágio, na forma da seguinte relação:

$$\mathbf{Zi = Zol / D}$$

Essa realimentação, em dB, é igual a -20*log(D).

Onde **D** é o **fator de dessensibilização** proporcionado pela realimentação, que é função do ganho do amplificador em malha aberta $\mathbf{A_V}$ e do fator de transmissão reverso **ß**, que diz da proporção de quanto do sinal da saída realimentamos na entrada do amplificador, e é definido da seguinte forma:

$$\mathbf{D \equiv (1+ ß*A_V)}$$

Assim, por exemplo, uma realimentação negativa de 20dB aplicada a um amplificador o dessensibiliza em 10 vezes em relação à sua impedância de saída em malha aberta, quando aplicada, e fará que ela caia nessa proporção.

Se a impedância **Zol** for de, digamos, 1Ω, o fator de amortecimento em relação a uma impedância de carga de 8Ω será de 8 (8Ω/1Ω). Com a realimentação aplicada, ela será de 8Ω/(1Ω/10), ou 80. Um aumento significativo do controle sobre a carga, aumentando o FA, e mais um dos vários benefícios proporcionados pela realimentação negativa.

Ou seja, na grande maioria dos amplificadores de áudio modernos, corretamente projetados, o efeito da variação de parâmetros da fonte do amplificador (sua capacitância, por exemplo) é minorado pela realimentação negativa, que atua reduzindo fortemente a impedância vista na saída do amplificador, e não devemos ter grandes mudanças em **Zi**, e, por consequência, no FA, em função disso.

Assim, teremos minimizada a variação na resposta do sistema amplificador + caixa, devida à variação da impedância desta última, que, como vimos, pode ser significativa.

A teoria nos diz isso. Vejamos, então, nosso exemplo prático.

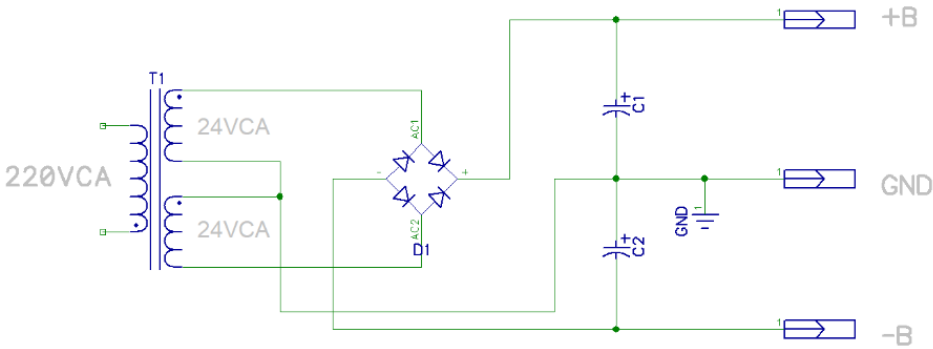
Ambiente de teste

Para verificarmos qual seria a influência da alteração de capacitância de filtragem da fonte no fator de amortecimento de um amplificador, precisamos de uma unidade para testes.

Como nosso protótipo do amplificador em classe A, publicado em Antenna, ainda estava montado e ajustado para uso em classe B, resolvemos utilizá-lo. A vantagem de usar um protótipo como este é que ele não tem, entre sua saída chaves, relés nem fios extensos, ou seja, são minimizados os fatores que poderiam alterar as medições previstas do FA, aumentando a resistência entre a saída do amplificador e a carga.

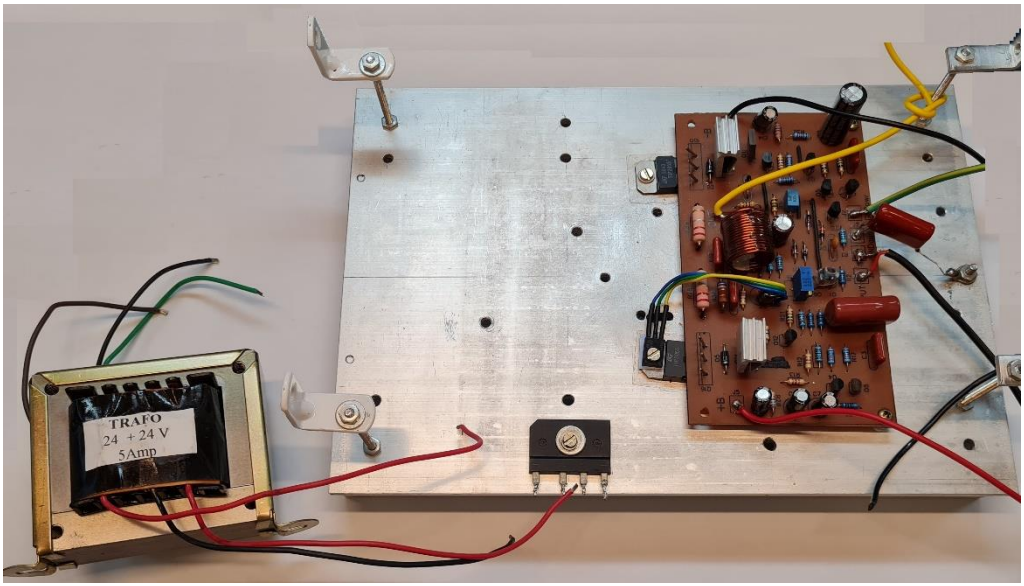
No nosso protótipo, obtivemos, com uma fonte estabilizada de bancada, um FA aproximado de 250, valor muito bom e que proporciona excelente controle da carga. A análise de suas característica pode ser vista em https://revistaantenna.com.br/construa-um-amplificador-em-classe-a-para-algo-mais-parte-ii/.

Inicialmente, consideradas as limitações do circuito e para tornar o exemplo bem próximo da vida real, utilizamos uma fonte de alimentação simples, com os elementos mínimos para seu funcionamento e que fornece, sem carga, em torno de 64VCC para o amplificador.



Essa é a configuração mais simples e básica para fontes de alimentação, e utilizada pela maioria dos amplificadores nacionais, desde a década de 1970.

O transformador utilizado nesta primeira medição é comum, com 120VA de capacidade e 24VCA simétricos em seu secundário. Uma ponte retificadora de 15A foi utilizada, pois, como iríamos aumentar bastante as capacitâncias de filtro, as correntes de surto poderiam ser significativas.



C1 e C2, na maior parte dos amplificadores de potência estereofônicos de até uns 60W em 8Ω, não passavam de unidades de 5000µF nos mais antigos, ou mesmo nos mais novos, de forma que iniciaremos nosso testes colocando unidades de 2200µF em nossa fonte, para um canal.

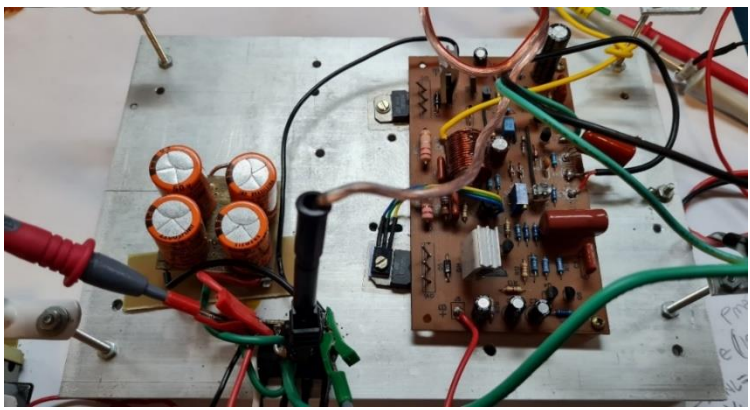


Utilizaremos unidades da década de 1990, de uma fonte para testes de protótipos de amplificadores, usada durante quase dez anos, em regime de estresse e calor. Eles representarão bem unidades antigas e muito usadas em amplificadores da vida real.
No capacímetro, todos os capacitores mostraram capacitância de aproximadamente 1800uF, o que está dentro de sua faixa de tolerância.

Medimos o fator de amortecimento para VL=10Vrms, em 100Hz, 1000Hz e 10kHz, bem como a tensão da fonte, com carga máxima e sem carga, tudo com 8Ω de carga resistiva. Adicionalmente, medimos o FA no limite do ceifamento para algumas combinações de capacitâncias.

Sinais senoidais contínuos são testes bastante estressantes para um amplificador. Foram escolhidas frequências representativas das faixas dos graves, dos médios e dos agudos.

Foi utilizado, para a medição das tensões de saída, um multímetro de bancada *True RMS*, com capacidade de medir até 100kHz, de baixa tolerância, com 5 dígitos de resolução. Para a tensão DC, outro multímetro, também *True RMS*, de 4 dígitos.



A ideia de se usar um transformador de 120VA, inicialmente, foi a de fazer testes com a fonte estressada, de qualidade comum, por assim dizer. 120VA de capacidade parecem suficientes para alimentar um amplificador desse tipo.

Começamos os testes com 1800µF por malha de alimentação, ou seja, com dois capacitores somente. Em seguida, adicionamos mais duas unidades, perfazendo 3600µF por malha, e finalizamos adicionando duas unidades de capacitores EPCOS de 10000µF, com o total de 13600µF por malha, muito mais que o usual para esses equipamentos.

Os resultados estão compilados nas tabelas abaixo:

	Fator de Amortecimento a:		
	100Hz	1000Hz	10000Hz
C=1800µF - 10Vrms - 8Ω	278	285	182
C=3600µF - 10Vrms - 8Ω	278	285	182
C=13600µF - 10Vrms - 8Ω	285	278	189

Potência Máxima e Tensão de Alimentação a 100Hz			
	Pmax	Vfonte	Queda(%)
C=1800µF - 8Ω	31,2W	52,7Vcc	15
C=3600µF - 8Ω	30,4W	51,7Vcc	17
C=13600µF - 8Ω	30,8W	51,1Vcc	16

Observamos, dos resultados:
- os valores de FA obtidos são excelentes, e compatíveis com os obtidos com a fonte estabilizada do artigo anterior. Na verdade, a diferença, a 10Vrms, dos FA se encontra na casa dos mV (10,034V contra 10,037V, por exemplo) e não são perceptíveis auditivamente, representando, se refletidas na tensão de saída, variação, entre elas, da ordem de 0,0025dB, o que é irrelevante;
- por se tratar de característica dependente da frequência, o FA diminuiu de 100Hz a 10kHz. Continuou muito bom, mas, devido à redução da atuação da realimentação negativa devida ao aumento da frequência e ao aumento da reatância do indutor de saída do circuito do amplificador, ocorre a redução;
- a potência de saída máxima foi limitada pela capacidade do transformador de força, e o aumento de capacitância levou a uma pequena redução na tensão DC fornecida pela fonte com o aumento da capacitância de filtro, por conta do aumento da corrente que ele deve fornecer, em cada semiciclo. A regulação do transformador, neste caso, mostrou-se pobre, com impedância inadequada para o restante do conjunto de retificação e filtragem. Não é um bom transformador.

Na verdade, o módulo da impedância de saída Zi do amplificador variou, neste teste, de aproximadamente 0,029Ω com 1.800μF de fonte para 0,028Ω com 13.600μF. A variação com a frequência foi de 0,028Ω para 0,042Ω, no melhor caso, mostrando a efetividade da realimentação negativa no controle da carga.

Isso, de certa forma, é o que se obtém nos amplificadores comuns, há bastante tempo. A configuração e a alimentação deste teste são muito similares às de vários amplificadores de “média potência” das décadas de 1970 e 1980. Em relação ao FA, aumentar a capacitância em quase 8 vezes não surtiu efeitos significativos.

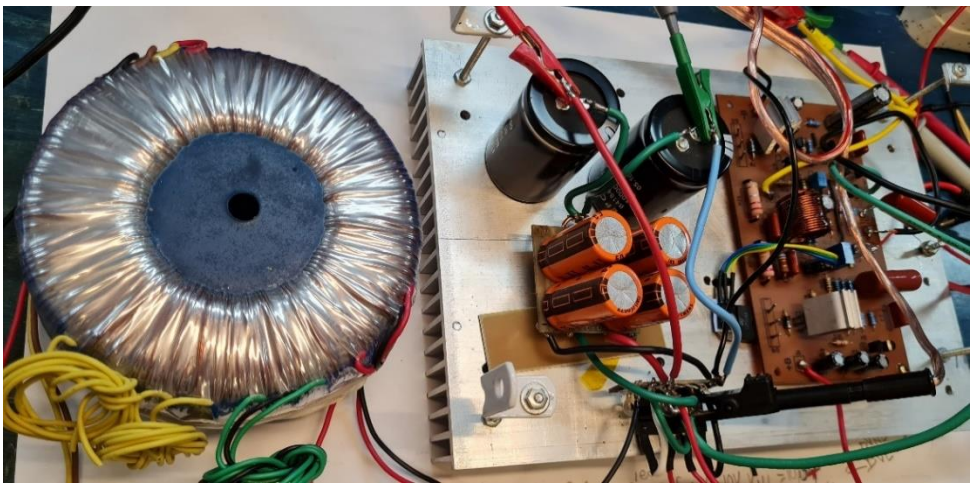
No caso de cargas não resistivas, como caixas acústicas, se houver comportamento inadequado da curva de resposta, com muita variação para baixo da impedância nominal, particularmente nos graves, a capacidade do transformador se torna mais importante ainda, pois os picos de corrente, em última instância, serão ser maiores e deverão ser fornecidos por ele, para a carga e para os capacitores de filtro.

Caixas assim não são comuns e são conhecidas por serem “difíceis” de se excitar.

A escolha do transformador de alimentação

Ok. Visto que aumentar a capacitância de filtragem não foi de muita valia, o que será que ocorre se mudarmos as características do transformador de força?

Vimos que um transformador de 120VA, mediano, sofre bastante para fornecer a máxima potência de saída. Será quem um transformador de maior capacidade e/ou qualidade pode se sair melhor? Para ajudar a sanar esta dúvida, substituiremos o transformador por este:



Trata-se de uma unidade toroidal, com baixas perdas e potência de 460VA, com secundários de 37VCA. A tensão do secundário será reduzida para 24VCA por intermédio de um variac.

Isso foi obtido com a redução da tensão em seu primário, de 220VCA para aproximadamente 143VCA, o que fará ele trabalhar mais folgado ainda. Representará bem um transformador de ótima qualidade, para este experimento.

Vejamos então os resultados para o FA, na tabela abaixo:

	Fator de Amortecimento a:		
	100Hz	1000Hz	10000Hz
Transformador 460VA			
C=3600µF - 10Vrms - 8Ω	278	278	182
C=13600µF - 10Vrms - 8Ω	285	270	182
C=3600µF - Pmax - 8Ω	262		
C=13600µF - Pmax - 8Ω	267		

Como ficamos com preguiça de retirar um par de capacitores da placa da fonte, fizemos as medições com 3600µF e 13600µF, mas, para compensar, medimos os FA à potência máxima para os dois casos, e vimos que:

- O FA praticamente não mudou a 10Vrms, mostrando mais uma vez sua falta de sensibilidade às variações na fonte, conforme previsto na teoria. Continua excelente;

- À potência máxima, o FA cai um pouco mas continua muito bom, certamente por conta do aquecimento maior na fiação e nos componentes, principalmente, o que aumenta Zi. A pequena variação mostra que a montagem está adequada. O módulo da impedância de saída passou de aproximadamente 0,028Ω para 0,031Ω.

Mas, o que realmente mudou com o uso do transformador melhor foi a potência máxima de saída, pela melhoria significativa da regulação da fonte. Vejamos:

Potência Máxima e Tensão de Alimentação a 100Hz			
Transformador 460VA			Queda Vcc
C=3600µF - 8Ω	49,4W	63,1Vcc	<1 %
C=13600µF - 8Ω	49,5W	62,8Vcc	<1 %

A tensão da fonte manteve-se praticamente estável, o que resultou em uma potência máxima de quase 50W no protótipo. Isso representa um ganho de potência de aproximadamente 2dB, o que é perceptível, auditivamente.

Por fim, e por sugestão do professor Álvaro Neiva, resolvemos fazer um último teste, com sinais de 20Hz, ou seja, no limite da audição de frequências graves, e obtivemos os seguintes resultados:

Para **C=3600μF**, em 8Ω, a 10Vrms: **FA=285**

A potência máxima antes do ceifamento foi de 41W, e o FA, nesta condição, manteve-se em 285. A queda na fonte foi, novamente, de menos que 1%.

Para **C=13600μF**, em 8Ω, a 10Vrms: **FA=278**

Neste caso, a potência máxima antes do ceifamento foi de 44W, e o FA, nesta condição, foi de 280. A queda na fonte foi, também, de menos que 1%.

Assim, vemos novamente que, com cargas resistivas, o incremento da capacitância de filtro não mudou significativamente a capacidade do amplificador de entregar potência à carga e manteve praticamente inalterado o FA. O aumento de potência antes do ceifamento, nesta condição, foi de aproximadamente 0,3dB.

Isso decorre do projeto, com o uso adequado de realimentação negativa, reduzindo significativamente a sensibilidade do amplificador às variações na fonte, bem como pelo bom dimensionamento dos seus componentes e de sua montagem.

Conclusões

Com base neste experimento, podemos ver que o FA pouco variou com a mudança significativa da capacitância de filtragem da fonte do amplificador. Tampouco houve grande variação com a mudança do transformador.

Obviamente, a capacitância das fontes tem um limite mínimo para o bom funcionamento do amplificador, e isso deve ser calculado adequadamente para redução da ondulação na saída da fonte, em seu consumo máximo.

Amplificadores mais potentes necessitam de mais capacitância para manter a ondulação mais comportada e dentro de limites razoáveis. Mais capacitância ajuda nesse sentido, mas também tem limites, como mostrado acima.

Mais capacitância também pode ser útil para consumos de corrente maiores, com o uso de caixas de baixa impedância ou com variações significativas nesta, desde que o

transformador consiga fornecer energia adequadamente para o conjunto e a ondulação e a regulação se mantenham satisfatórias.

De uma forma geral, com a redução do preço dos capacitores, decorrente da evolução tecnológica, aumentar unidades de, digamos, 5.000µF para outras de 10.000µF na restauração de um A1 da Gradiente ou de um PA1800 da Cygnus, como é comum, não causará nenhum problema e poderá melhorar a performance objetiva dos amplificadores.

Não é algo caro de se fazer, hoje em dia, mas não melhorará o FA.

Um aspecto importante, e que pode ser observado, não só nestas medições, mas também nas análises dos equipamentos, divulgadas em Antenna, é que o correto dimensionamento da fonte de alimentação é muito importante para a boa performance do amplificador, particularmente quanto à sua capacidade de fornecer potência, seja de forma transitória ou contínua, especialmente com cargas reativas “mal comportadas”.

Como sugestão, deve-se procurar utilizar amplificadores capazes de suportar cargas com impedâncias menores que a nominal do sistema de caixas. Da curva de impedância mostrada anteriormente, vemos que um amplificador capaz de trabalhar em 4Ω não teria dificuldades de excitar adequadamente a caixa mostrada, cuja impedância nominal é de 8Ω, mas apresenta valores próximos a 4Ω, em certas frequências.

Para melhorar-se o FA, sem mudanças no projeto eletrônico, caso necessário, o que deve ser feito é a redução das resistências internas do circuito, particularmente no caminho da saída do sinal de áudio; fiação, contatos de relés, chaves de comutação etc.

Fios e cabos podem ser melhorados, dentro de limites razoáveis, pois a mudança de FA de, digamos, 100 para 120 pouco afeta o resultado final da cadeia de reprodução, consideradas as grandes variações existentes nos sonofletores e as resistências internas dos crossovers e conectores destes.

Se o leitor quiser investir em melhorias em seu amplificador, acredito que um transformador bem dimensionado pode trazer melhores resultados do que o aumento excessivo de capacitância de filtro da sua fonte. Até a próxima!