

# antenna

ELETRÔNICA ● ÁUDIO ● TELECOM

NÚMERO 1/20 (1207)

JULHO/2020



NESTE NÚMERO

Arte: Alfredo Manhães

[ELETRÔNICA BÁSICA – O que é a Eletrônica?](#)

[ELETRÔNICA I – O seguidor de emissor](#)

[Análise do amplificador CYGNUS PA1800D](#)

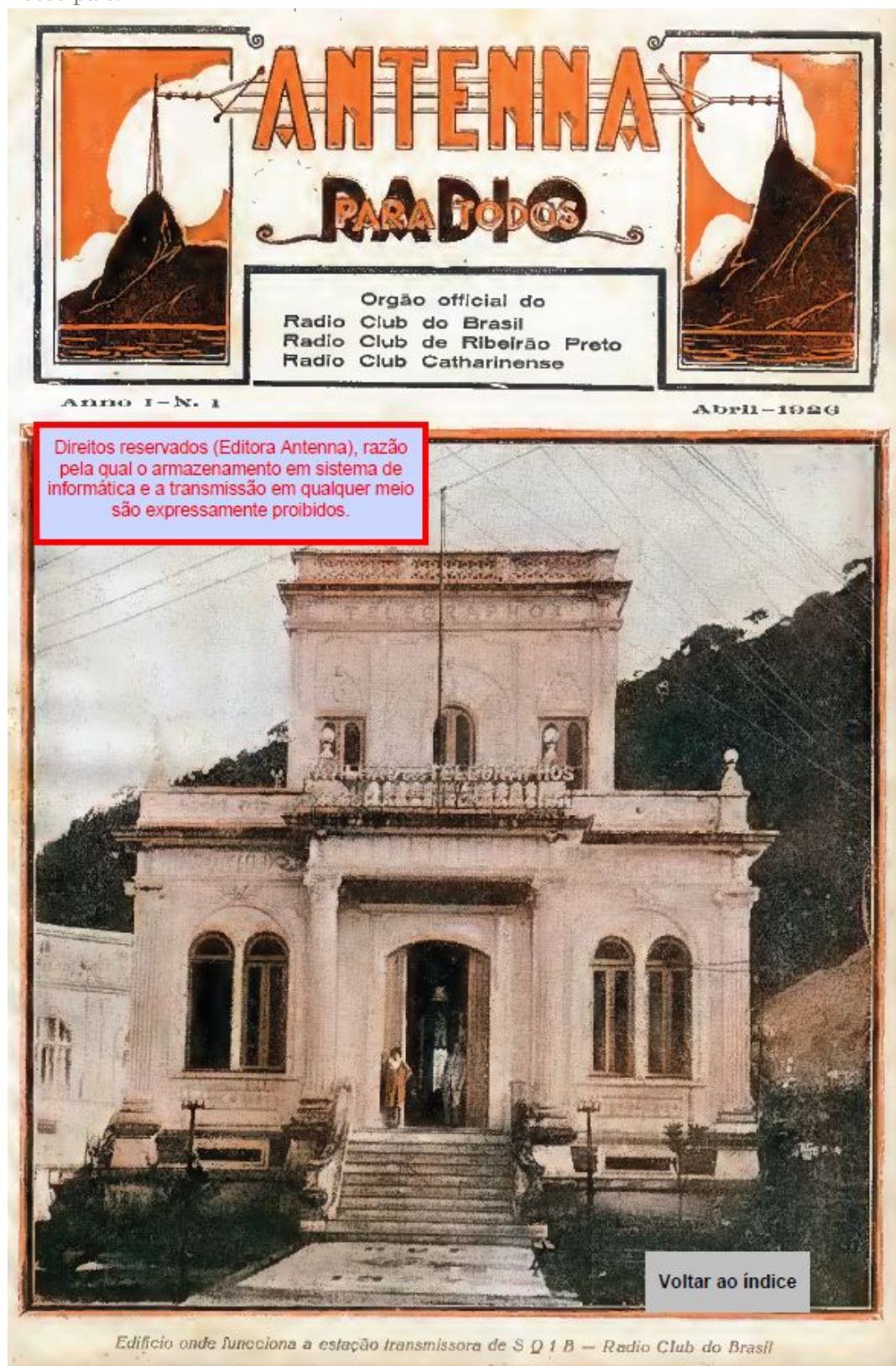
[ENGENHARIA DE ÁUDIO – Distorções em medições de amplificadores Classe D – Filtro AES-17](#)

[Uma pequena história, não oficial, do começo da Gradiente](#)

[Você sabe o que são as Equações de Maxwell?](#)

Prezados leitores,

Antenna é uma revista cuja trajetória inicia-se em abril de 1926. Iniciativa do engenheiro *geographo* **Elba Dias**, então funcionário dos Telégrafos, que havia recebido, dois anos antes, autorização do governo para adaptar uma emissora telegráfica, dando origem a uma nova rádio, instalada em frente ao largo da Carioca, no alto da Livraria Globo. Foi um dos pioneiros na arte do *telegrapho* sem fio em nosso país.



Capa da primeira edição de Antenna – Reprodução permitida.

Elba Dias foi sucedido, em 1941, na direção da revista, por **Gilberto Affonso Penna**, então advogado e radioamador (PY4CM e, posteriormente, PY1AFA). Sua administração à frente de Antenna Edições Técnicas e das revistas Antenna e Eletrônica Popular perdurou até a década de noventa do século passado. Seus filhos, **Gilberto Affonso Penna Júnior e Maria Beatriz Affonso Penna**, assumiram a publicação da revista após sua aposentadoria por questões de saúde.

Durante quase três décadas, a partir de sua fundação, a revista foi, praticamente, a única referência técnica existente em Língua Portuguesa para aqueles que militavam na área e, assim, seu legado para a tecnologia nacional é inestimável, tendo impulsionado as carreiras de muitos profissionais de tecnologia do país, incluído este que escreve estas linhas.

Antenna paralisou sua publicação impressa em 2007. Houve, a partir do desenvolvimento da Internet, mudanças significativas no mercado editorial e, hoje, não são muitas as publicações que sobreviveram na forma tradicional na área da Eletrônica.

Assim, reconhecendo a importância da Revista Antenna, e da Editora Antenna, nos propusemos, com a autorização da Sra. Maria Beatriz Affonso Penna, responsável atualmente pelo grupo editorial Antenna, a publicar, mensalmente, artigos técnicos e eventuais republicações de textos antigos, que contem a história da revista e, por consequência, a história da Eletrônica em nosso país.

Necessário dizer que os que colaboram com a edição on-line o fazem de forma gratuita e que cedem seus conhecimentos da mesma forma. Os direitos de cópia estão protegidos e estas não podem ser feitas, por qualquer meio, sem autorização expressa dos autores.

Esta publicação não tem vínculo comercial de qualquer espécie com Antenna Edições Técnicas e as opiniões e o material dos artigos aqui publicados são de responsabilidade exclusiva de seus autores. E, por fim, lembramos que Antenna Edições Técnicas continua em atividade, na Internet. Se quiserem saber mais sobre ela e adquirir livros, revistas e outras publicações, auxiliando na manutenção da primeira editora de rádio e eletrônica do Brasil, basta visitar o site [www.anep.com.br](http://www.anep.com.br).

Marcelo J. O. Yared  
Antennófilo.

## Eletrônica Básica

### Prefácio

Este artigo inicia uma série dedicada ao conhecimento básico de eletrônica e de seus princípios fundamentais.

Esperamos que isso estimule aqueles que têm curiosidade sobre o funcionamento de suas televisões, de seus celulares e de outros equipamentos eletrônicos que fazem parte de nossa vida cotidiana e, sem os quais, estaríamos hoje vivendo em condições de bem-estar do começo do século passado.

Para não ficarmos apenas nas facilidades domésticas e de consumo, todos os que já necessitaram, para si ou para seus entes queridos, de apoio hospitalar em UTIs, de radiografias, de tomografias ou mesmo viajaram em aviões modernos, por exemplo, fizeram uso direto e indireto de equipamentos e de soluções baseadas em eletricidade e em eletrônica, frutos de muito conhecimento acumulado, há centenas de anos, por estudiosos no mundo todo.

Começemos, então, por uma breve incursão na história da eletrônica.

## O QUE É A ELETRÔNICA?

Alfredo Manhães\*

O mundo em que vivemos se caracteriza pela utilização maciça de produtos e serviços que se baseiam nas mais diversas ciências e tecnologias, permeando inúmeros segmentos. No campo, por exemplo, vemos a Agricultura de Precisão se utilizar da Biotecnologia para produção de alimentos em larga escala, com vegetais mais resistentes às pragas e condições climáticas desfavoráveis.



Manipulamos diariamente smartphones que podem nos colocar em contato com pessoas em lugares remotos espalhados pelo globo com apenas alguns toques na tela do dispositivo.

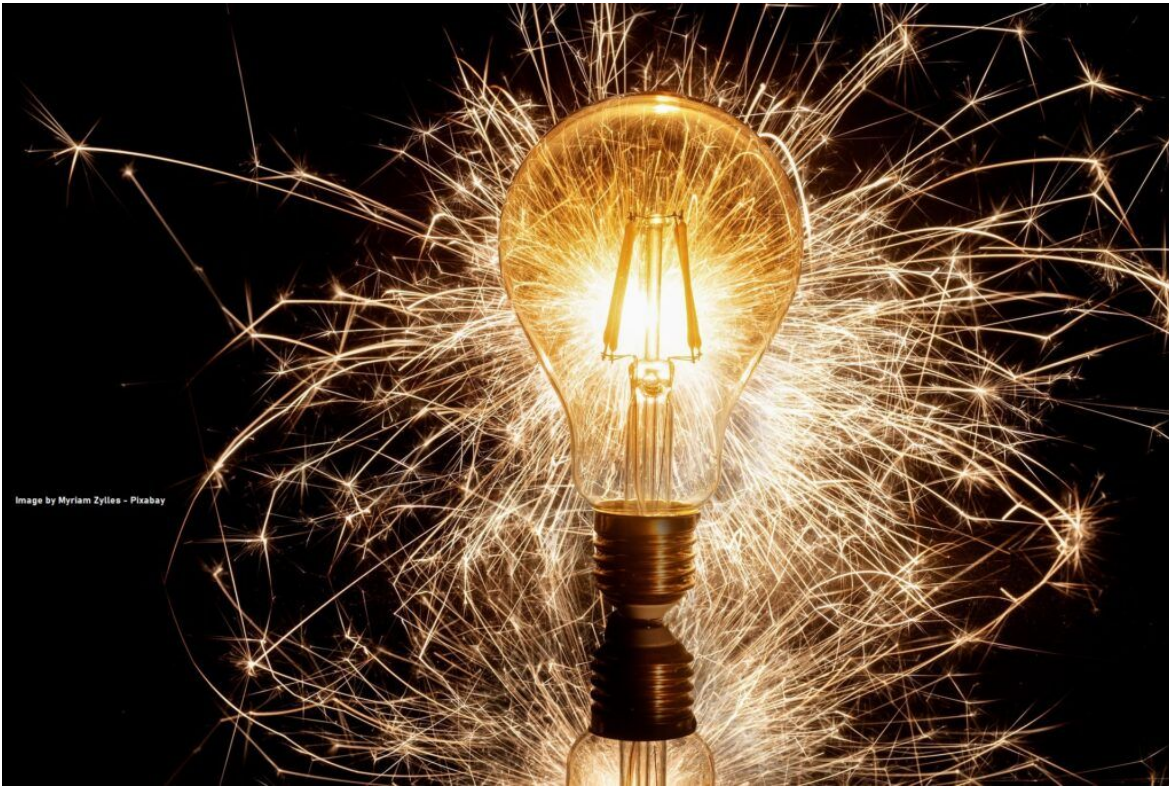
**\*Engenheiro de Computação**



Meios de transporte por terra, ar e mar se valem de sistemas de direcionamento e propulsão inovadores, apoiados por computadores, para se deslocarem com segurança e atingir seus destinos.



E nos bastidores deste “admirável mundo novo”, parafraseando Aldous Huxley, sem que muitos percebam, há uma área do conhecimento humano que é a grande responsável por toda essa evolução tecnológica sem precedentes: a eletrônica. De forma resumida, podemos dizer que a eletrônica estuda formas de controlar o fluxo de elétrons ou corrente elétrica, em circuitos projetados para atender uma ou mais finalidades.



Os circuitos eletrônicos são formados por componentes chamados de resistores, capacitores, transistores, dentre outros, e projetados para atender inúmeras funções, permitindo por exemplo, a transmissão de um sinal de áudio para reprodução de música, a abertura e fechamento de um portão automático, a partida do motor de um veículo, numa infinidade de possíveis aplicações.



Embora a ideia original do termo se deva ao pensamento grego da antiguidade, onde a palavra *elétron* significa “âmbar” (ἤλεκτρον, *ēlektron*), podemos considerar que os princípios básicos da eletrônica que conhecemos na atualidade só tiveram início no século XV, com os experimentos sobre eletricidade estática feitos pelo cientista inglês William Gilbert.



**William Gilbert**

Um grande passo foi dado na segunda metade do século XIX, quando o inventor norte americano Thomas Edison conseguiu produzir, experimentalmente, a passagem do fluxo de elétrons de um condutor metálico para outro através do vácuo, o que ficou conhecido como Efeito Edison ou emissão

termiônica. No início do século XX, o engenheiro e físico britânico John Fleming aplicou o Efeito Edison em um tubo a vácuo com um cilindro metálico cercado um filamento, criando assim um diodo que seria o primeiro detetor eletrônico de sinais de radiofrequência.



Image by djyan2 - Pixabay

A invenção de Fleming marcou o início da produção das válvulas eletrônicas ou termiônicas, que foram sendo aperfeiçoadas e serviram de base para a criação de inúmeros dispositivos como o rádio, amplificador, televisão, sistema de radar etc.

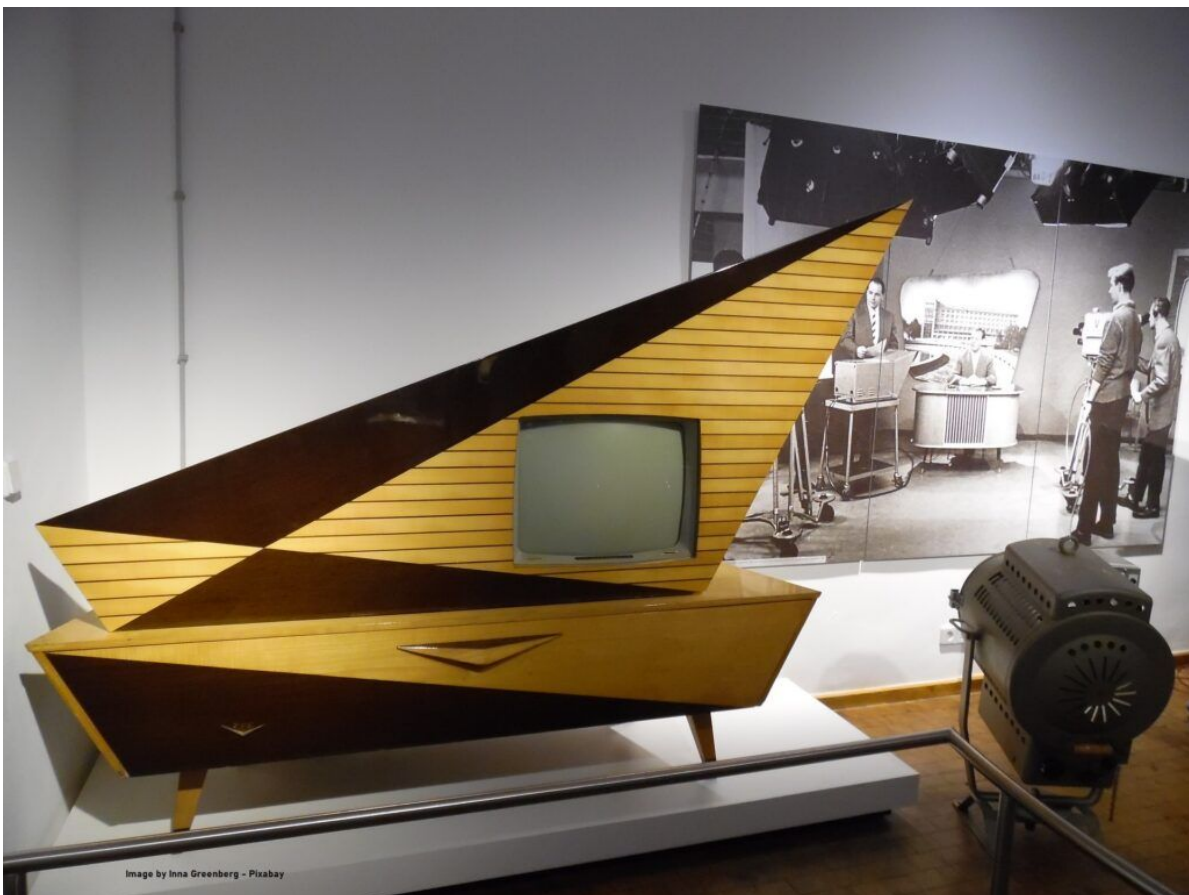
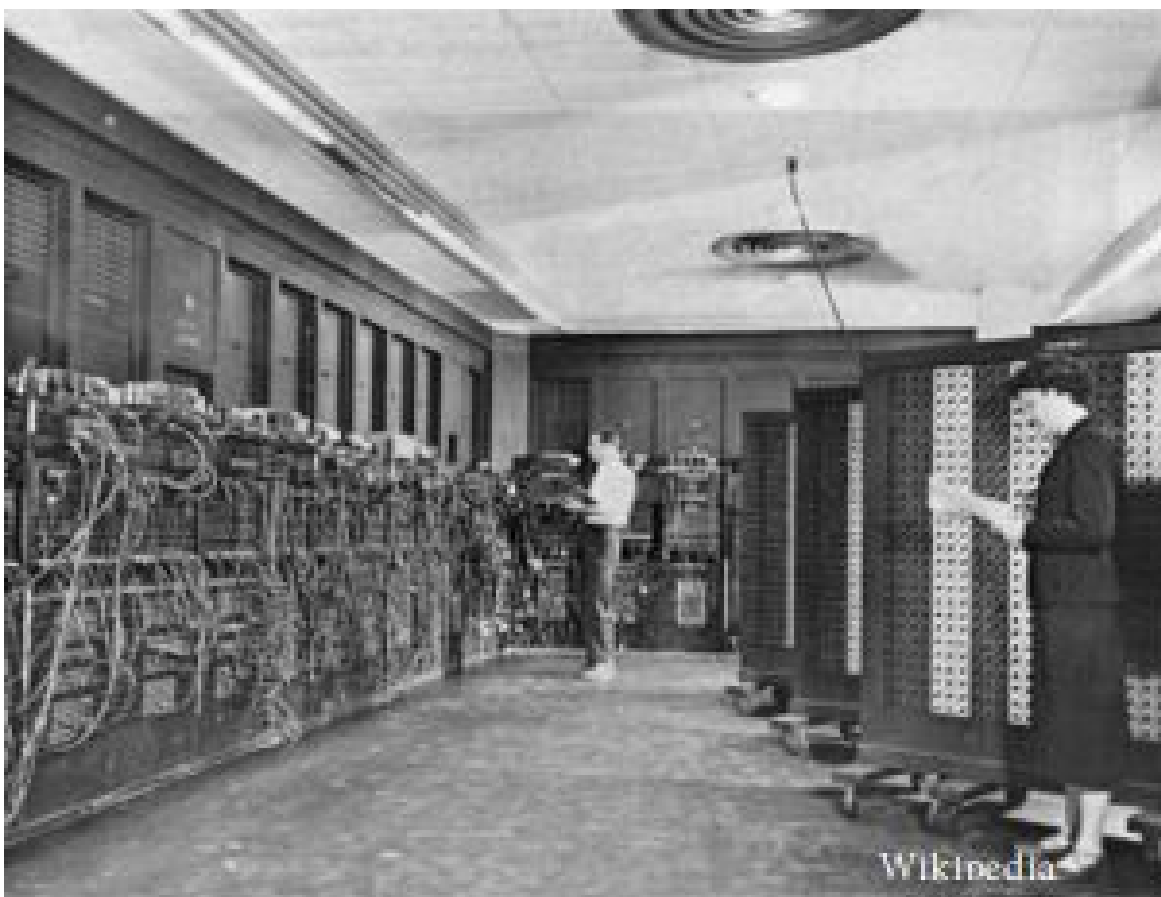


Image by Inna Greenberg - Pixabay

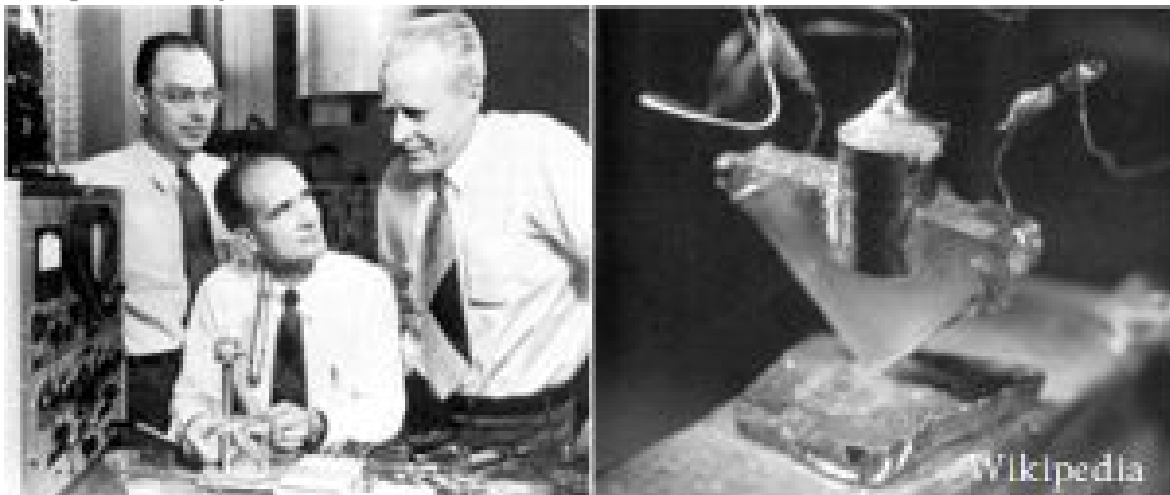




A computação começou a se estabelecer como área de conhecimento nesse período com os primeiros computadores eletrônicos. Um deles foi o ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), desenvolvido a partir de 1943 para computar trajetórias de projéteis mas que só se tornou operacional após o final da 2ª Grande Guerra. Eram dispositivos que ocupavam salas inteiras e de manuseio bastante restrito por engenheiros, matemáticos e outros técnicos.

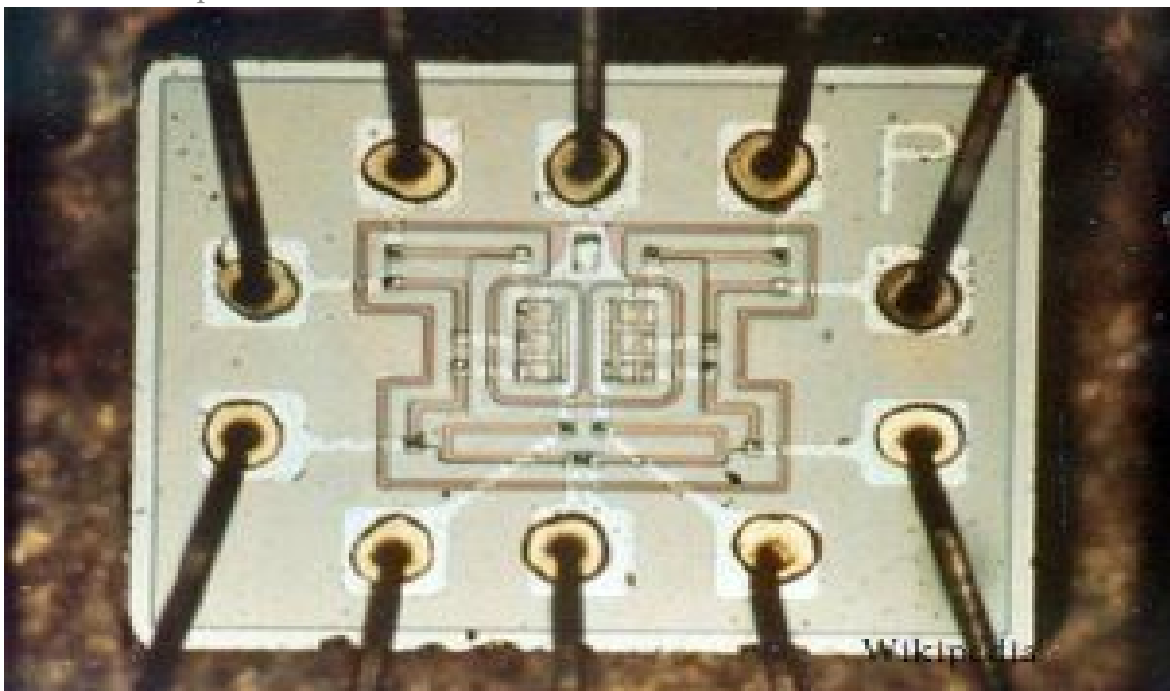


Mas tudo iria mudar a partir de 1947, com um experimento realizado no Bell Laboratories por John Bardeen, Walter Brattain e William Shockley, engenheiros dessa organização. Ao combinarem dois fragmentos metálicos de ouro com um cristal de germânio, material semiconductor, e aplicarem um sinal elétrico na entrada do conjunto, perceberam que era possível obter um sinal de saída amplificado. O experimento resultou na criação do transistor de junção, importante componente eletrônico que promoveu uma verdadeira revolução na eletrônica. Os três engenheiros receberam o prêmio Nobel de 1956 por sua criação.



#### Equipe do Bell Labs e o primeiro transistor de junção

Com o advento do transistor a eletrônica alcançou um novo patamar, com impactos que transformariam o mundo nas décadas seguintes. O transistor poderia substituir a válvula termiônica em várias aplicações com muitas vantagens pois era menor, de custo mais baixo, mais leve e consumia menos energia que ela, favorecendo enormemente sua utilização. A partir desse momento diversas técnicas foram desenvolvidas para integrar funções em circuitos eletrônicos e reduzir as dimensões dos mesmos, tendo por base o uso de pastilhas de germânio, material semiconductor, para produção de transistores e diodos (componentes ativos) combinados aos resistores e capacitores (componentes passivos), o que permitiu a criação dos circuitos integrados e posteriormente dos amplificadores operacionais e chips. Assim, a eletrônica inicialmente de caráter analógico dava seus primeiros passos para o universo digital, num caminho aparentemente sem volta.



Por volta dos anos 1970 o silício passou a ser utilizado na fabricação de componentes em substituição ao germânio. Novas técnicas foram criadas para que a integração dos circuitos eletrônicos fosse ainda maior, favorecendo o desenvolvimento dos microprocessadores de alta velocidade e desempenho. Cada vez mais a sociedade mergulhava na era digital, onde microcomputadores e consoles de jogos eletrônicos chegavam às casas e se tornavam íntimos das pessoas.



Um bom exemplo de mudança que ilustra esse momento ocorreu no setor fonográfico, quando a música passou a ser distribuída em uma nova mídia, o CD, ameaçando o reinado do disco de vinil. Na época muitos pensaram que o velho “bolachão” estava recebendo um xeque mate, mas o tempo mostrou que a coisa não foi bem assim...

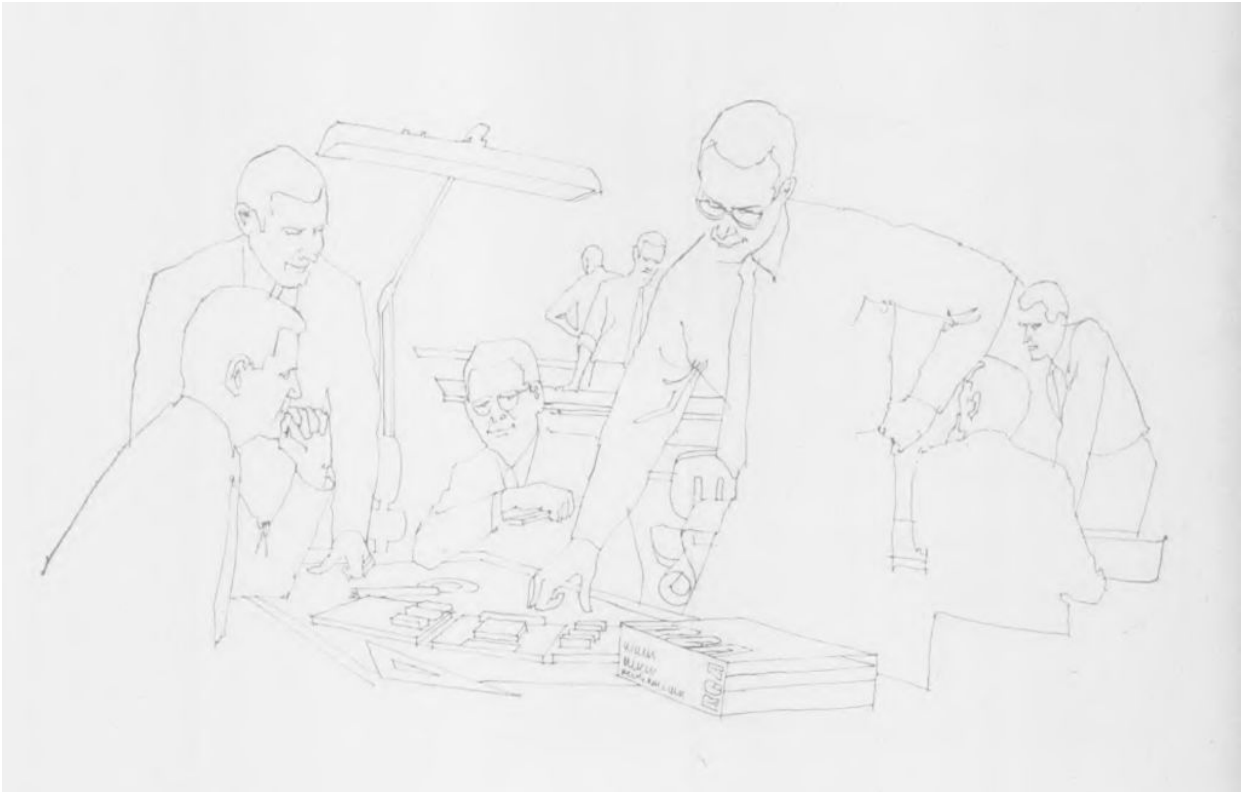


Com o avanço da eletrônica digital percebemos que o mundo foi se tornando cada vez menor, já que novos meios de transmissão de dados e voz foram surgindo e se aperfeiçoando, aproximando as pessoas. Um exemplo disso é o da internet, inicialmente de uso restrito a militares e pesquisadores, mas que se tornou uma via por onde milhões de internautas trafegam diariamente e podem ter acesso aos mais variados produtos e serviços.



Hoje vivemos um momento onde a convergência de inúmeras tecnologias se faz presente nas casas inteligentes, na automação industrial e comercial, na área médica e educacional, dentre outras. Aonde chegaremos não é possível precisar mas provavelmente a eletrônica estará presente, com sua capacidade inequívoca de adaptar-se às necessidades de um mundo onde a mudança é a única certeza!

# O SEGUIDOR DE EMISSOR



## Eletrônica I

### Projetando um Estágio Seguidor de Emissor (Transistor Bipolar de Junção em Coletor Comum)

Por Álvaro Neiva\*

Amplificadores para sinais de áudio funcionam, em sua imensa maioria, como amplificadores de tensão, ou seja, têm alta impedância de entrada e baixa impedância de saída.

Mas quanto?

Para a impedância de entrada, sempre 5 ou 10 vezes maior que a impedância de saída da fonte de sinal.

Então:

1. Para pré-amplificadores de microfone, entre  $1k\Omega$  e  $10k\Omega$ ;
2. Para pré-amplificadores de cápsulas fonocaptoras para discos de vinil, do tipo MC (Moving Coil, Bobina Móvel), entre  $50\Omega$  e  $1k\Omega$ ;
3. Para pré-amplificadores de cápsulas fonocaptoras para discos de vinil, do tipo MM (Moving Magnet, Íman Móvel),  $47k\Omega$ ;
4. Entradas para sinais em nível de linha ( $0,1V_{rms}$  a  $10V_{rms}$ ), pós preamplificação:  $5k\Omega$  a  $50k\Omega$ , tipicamente, para amplificadores transistorizados e  $50k\Omega$  a  $500k\Omega$ , tipicamente, para equipamentos valvulados.

Para impedâncias de saída de equipamentos, os valores costumam ficar abaixo de  $1k\Omega$ , tipicamente de  $50\Omega$  a  $500\Omega$ . Alguns circuitos transistorizados ou valvulados pré 1980 podem ter impedâncias de saída na faixa de  $5k\Omega$  até uns  $25k\Omega$ .

Como sinais de áudio ocupam uma faixa de frequências baixas ( $20Hz$  a  $20kHz$ ), com comprimentos de onda muito maiores que qualquer cabo de uso prático; como filtros LC projetados para funcionar com fontes de sinal casadas com a impedância de sua carga, ou estágio amplificador seguinte, já caíram em desuso a muito tempo. **Não se usa casamento de impedância, no seu sentido eletrônico, na imensa maioria dos circuitos de áudio.**

\*Engenheiro Eletricista

O que se busca é a **Máxima Transferência de Tensão** e não a **Máxima Transferência de Potência**, inclusive porque essa última é inimiga da máxima eficiência, que só ocorre quando a impedância interna da fonte é zero e a **Máxima Potência** transferida à carga corresponde à **Máxima Tensão** disponível.

Um dos circuitos mais usados para reduzir a impedância de saída de um estágio amplificador de áudio com TBJ (Transistor Bipolar de Junção) é o estágio com Coletor Comum ou Seguidor de Emissor (SE, Emitter Follower, ou EF), ilustrado abaixo para um transistor NPN e fonte positiva. Também pode ser usado um transistor PNP com uma fonte de polaridade positiva se invertermos as conexões de terra e linha de +Ebb. O ganho de tensão é menor que um, mas pode ser bastante próximo de 1. Esse tipo de amplificador costuma ser chamado de Buffer (Fig. 1).

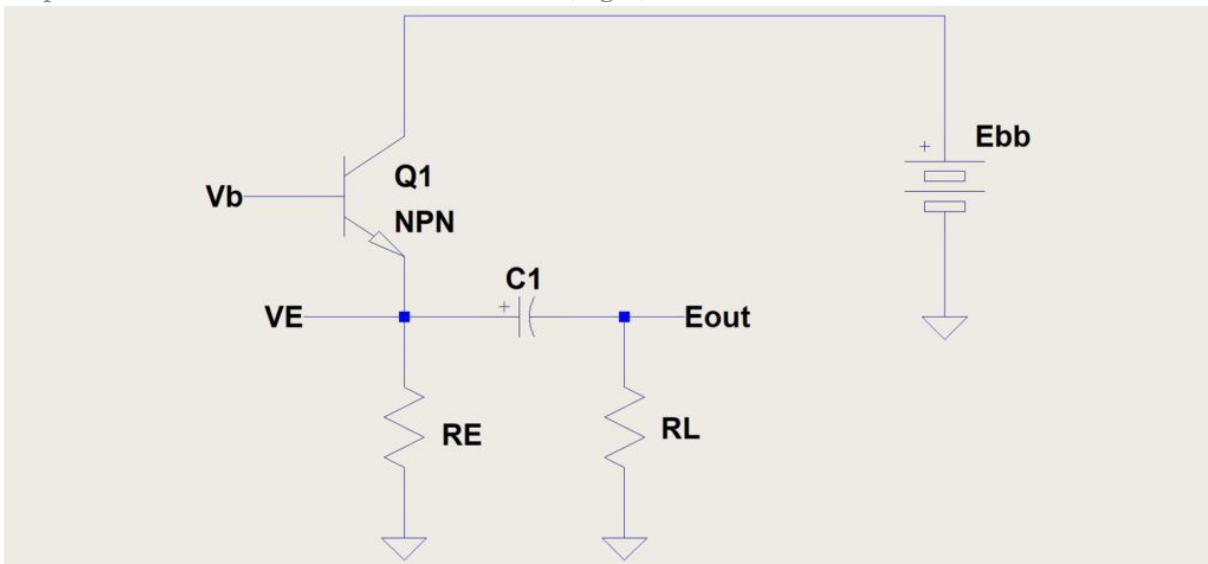


Fig. 1

O modelo de circuito usado para o transistor na obtenção das expressões seguintes é o T simplificado (Fig. 2):

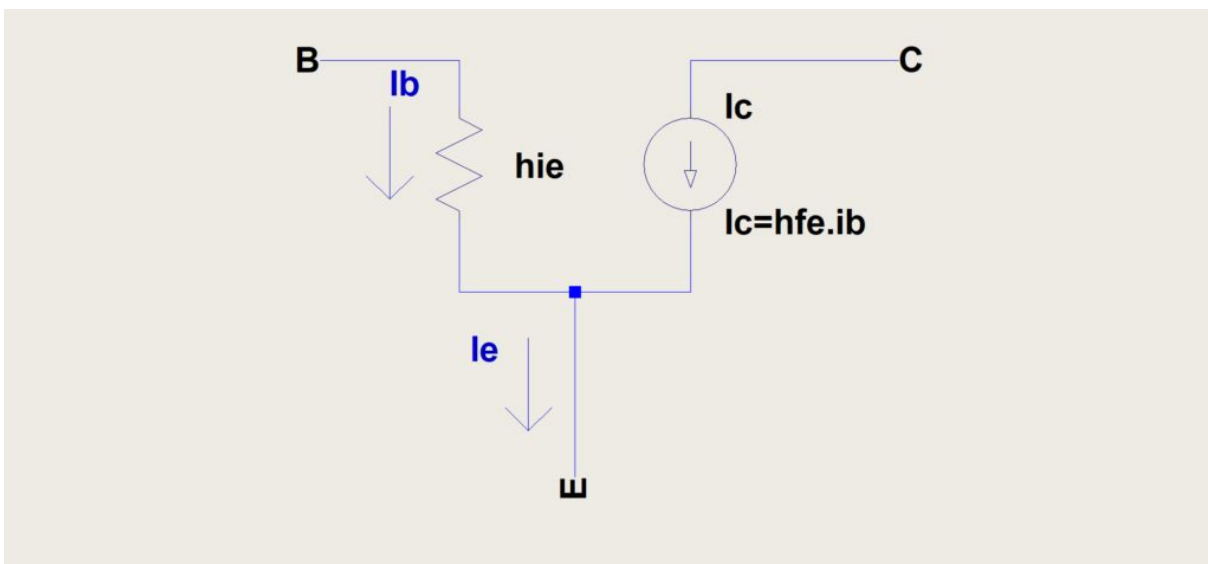


Fig. 2

Onde  $h_{ie}$  é a resistência de entrada do transistor na configuração emissor comum, para pequenos sinais CA.

Na maioria dos casos, a resistência  $R_E$  usada no emissor vai ser muito maior que a resistência dinâmica  $r_{e} = 26\text{mV}/I_c$ , permitindo ignorar seu efeito, em primeira aproximação. Também desprezamos a resistência de saída do transistor  $1/h_{oe}$ . Nossa análise é válida para baixas e médias frequências.

Para fazer o projeto, partimos das especificações de saída:

### 1. Especificações de saída:

- 1.1 Tensão de pico de saída,  $V_p$ ;
- 1.2 Resistência de carga  $R_L$ .

### 2. Tendo $V_p$ e $R_L$ , a corrente de pico na carga será:

$$I_p = \frac{V_p}{R_L}$$

### 3. Então, vamos determinar a Tensão de Alimentação $E_{bb}$ , numa primeira aproximação:

$$E_{bb} > 2 \cdot (V_p + V_{cesat})$$

3.1 Então se obtém  $V_{cesat}$  para  $I_c$ .

$$I_c = \frac{V_p}{R_L}$$

### 4. Determinação do ponto de operação (no mínimo):

$$V_{ceq} \geq V_p + V_{cesat} \quad V_E \simeq E_{bb} - (V_p + V_{cesat}) \simeq E_{bb} - V_{ceq} \quad I_{cq} = \frac{V_E}{R_E}$$

Analisando o circuito, verificamos que:

$$I_{cq} \cdot \frac{R_E \cdot R_L}{(R_E + R_L)} \geq V_p$$

Substituindo  $I_{cq}$ :

$$\frac{V_E \cdot R_L}{(R_E + R_L)} \geq V_p$$

Então:

$$R_E \leq \frac{(V_E - V_p)}{V_p} \cdot R_L$$

O resistor  $R_E$  estabelece o valor de  $I_{cq}$  mas reduz a impedância de carga do estágio para  $CA$  a  $\mathbf{RE \cdot RL / (RE + RL)}$ , limitando assim o valor de  $V_p$ , para uma dada  $I_{cq}$ .

Aumentar a  $I_{cq}$  leva a uma dissipação cada vez mais alta e a uma redução da impedância de entrada possível.

Uma alternativa para aumentar a impedância de carga  $CA$  do estágio será usar uma fonte de corrente constante ( $Z_{out} = \infty$ ) para estabelecer a  $I_{cq}$ , a qual poderá ser mais próxima de  $I_p$ . Então

$$I_{cq} \simeq 1,2 \cdot I_p$$

ou, até mesmo,  $\mathbf{1,4 \cdot I_p}$  e deve-se ajustar  $I_{cq}$  na simulação para máxima excursão.

Podem ser usadas várias configurações para a fonte de corrente:

● Transistor polarizado por diodos (Fig. 2), sejam Zener ou não, com um resistor de emissor  $R_E$ . Aqui o transistor se comporta como um amplificador de transcondutância, a tensão mantida constante na base pelos diodos, mantém constante a corrente de coletor.

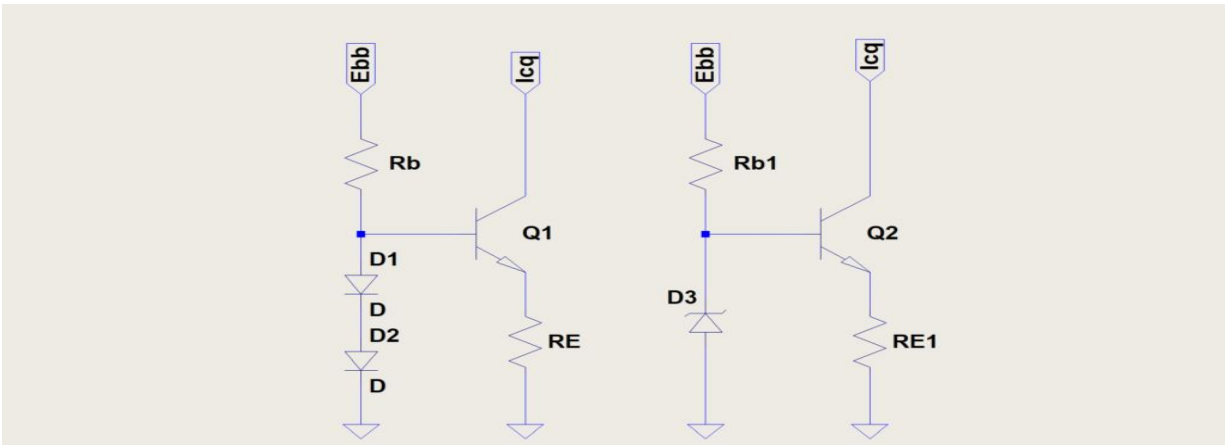


Fig. 3

Com diodos retificadores (Fig. 3, Q1):

$$I_{cq} = \frac{(2 \cdot V_D - V_{be})}{R_E}$$

Tipicamente,  $V_D = 0,65V$ , dependendo de  $I_{Rb}$  e diodo usado, devendo ser verificada na simulação. Já  $V_{be}$  deve ser avaliada para a  $I_{cq}$  escolhida (muito importante);

$$R_b = \frac{(E_{bb} - 2 \cdot V_D)}{10 \cdot I_{bQ1}} = \frac{H_{FE} \cdot (E_{bb} - 2 \cdot V_D)}{10 \cdot I_{cq}}$$

Essa configuração tem grande simplicidade e alta impedância de saída tendo baixa tensão mínima sobre o transistor da fonte tolerável, essencialmente  $V_D + V_{cesat}$ .

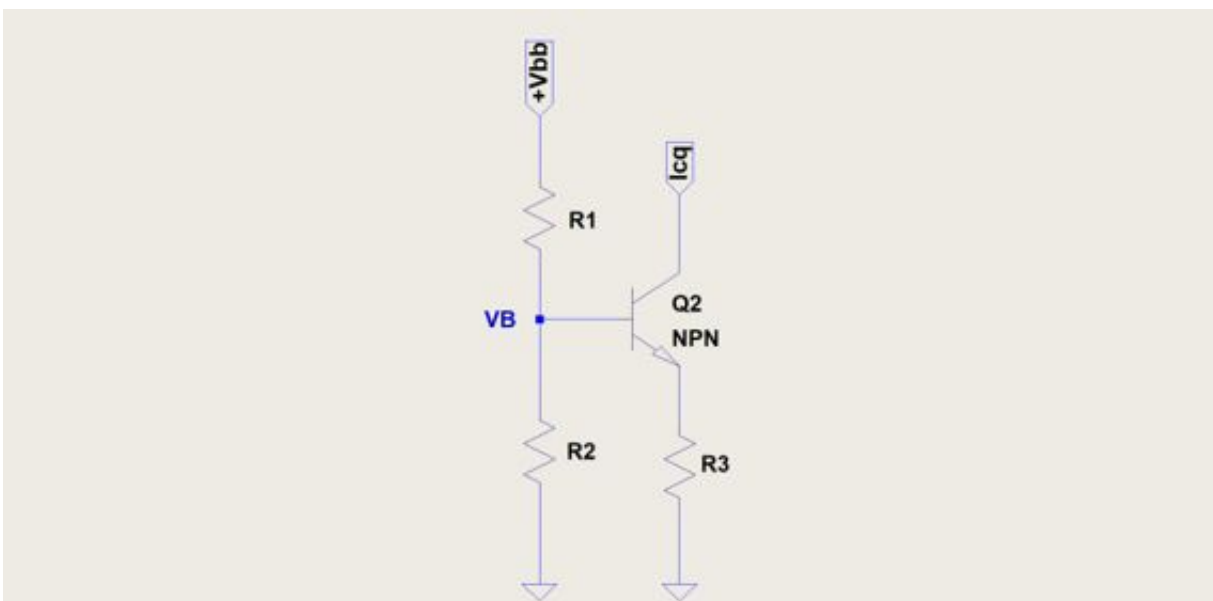
Com diodo Zener (Fig. 3, Q2)

$$I_{cq} = \frac{(V_Z - V_{be})}{R_E} \quad R_b = \frac{(E_{bb} - V_Z)}{10 \cdot I_{bQ1}} = \frac{H_{FE} \cdot (E_{bb} - V_Z)}{10 \cdot I_{cq}}$$

A tensão Zener deve ser a menor possível, para não reduzir a excursão da tensão de saída.

O coeficiente de temperatura do Zener vai interagir com o da tensão  $V_{be}$  e deve ser escolhido para manter ao máximo a estabilidade da corrente com a temperatura.

● Com divisor de tensão:





- Estabeleça a tensão sobre a RE do transistor da fonte de corrente em cerca de 1V ou  $nV_{be}$  ( $n=1,2,3$ , etc.) quanto maior, melhor a estabilidade da corrente em relação à temperatura, mas menor a excursão de tensão para um valor de  $E_{bb}$ ;
- Calcule o divisor de tensão na base  $V_B$  para a  $V_{be}$  correspondente a  $I_{cq}$ ,  $V_B = I_{cq} \cdot R_E + V_{be}$ ;
- Use a mesma técnica de dessensibilização de  $I_{cq}$  contra  $H_{fe}$  e temperatura que para uma etapa em emissor comum;
- Essa configuração será mais sensível às variações de  $V_b$ , ao ruído presente na fonte  $V_b$ , e tende a gerar mais ruído interno (devido ao ruído térmico de dos resistores de polarização da base).

● **Com um par realimentado de transistores:**

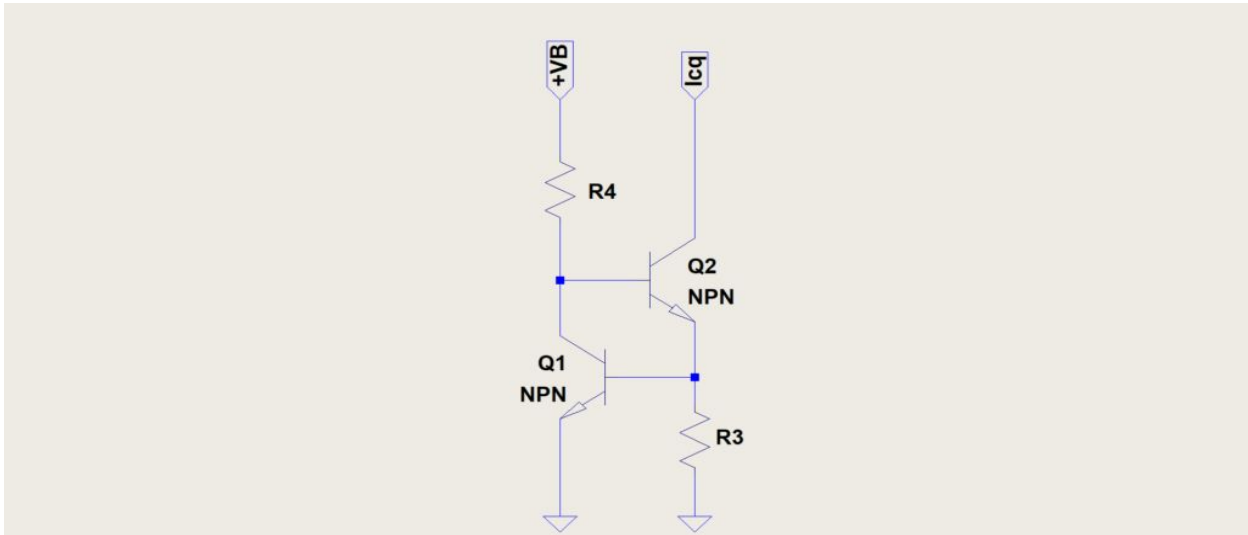


Fig. 5

- A corrente absorvida vai ser aproximadamente:

$$I_c = \frac{V_{beq1}}{R3} \approx \frac{0,6}{R3}$$

- A corrente por R4 deve ser 5 ou 10  $I_{bQ2}$

- e, para R4:

$$R4 = \frac{V_B - (V_{beq1} + V_{beq2})}{10 \cdot I_{bq2}} = \frac{H_{FE} \cdot [V_B - (V_{beq1} + V_{beq2})]}{10 \cdot I_{cq}}$$

- Essa configuração tem a maior estabilidade de corrente em relação à temperatura e a maior impedância de saída. A tensão mínima para funcionamento vai ser  $V_{beq1} + V_{cesat}$  apenas, maximizando a excursão de sinal;
- Q2 pode ser um par Darlington ou até um Sziklai ou CFP, para maior ganho de corrente.

**FETs ou MOSFETs**

Também podemos usar transistores FET, para  $I_{cq} < I_{DSS}$ , ou MOSFETs, como fontes de corrente.

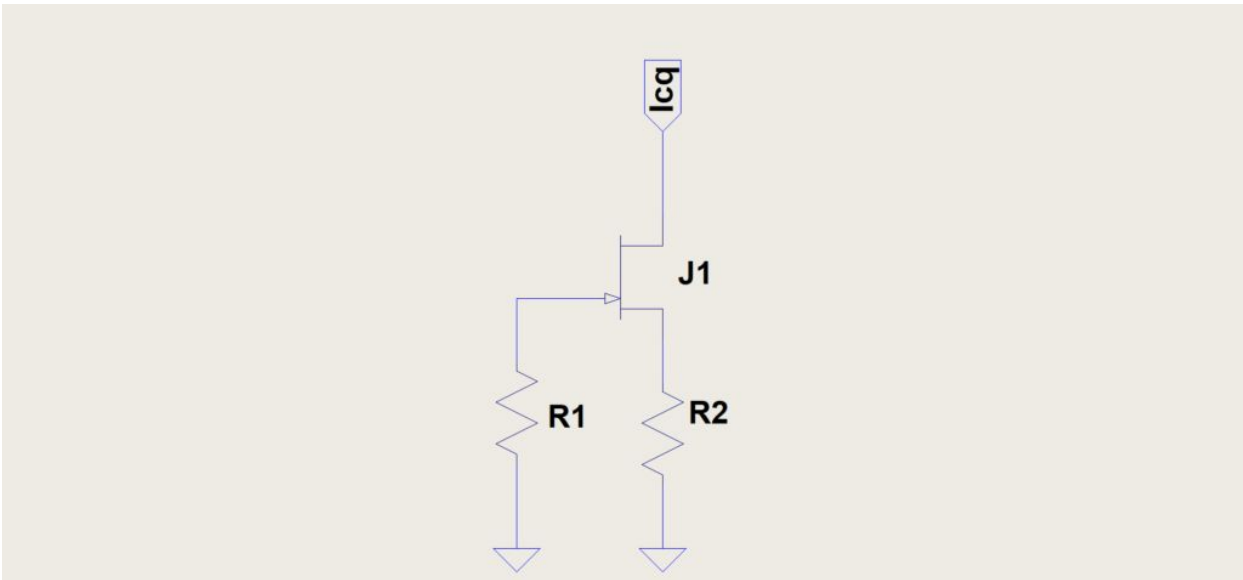


Fig. 6

a) R2 pode ser zero, então  $I_{cq} = I_D = I_{DSS}$ , dependente do FET, da temperatura e variável de unidade para unidade;

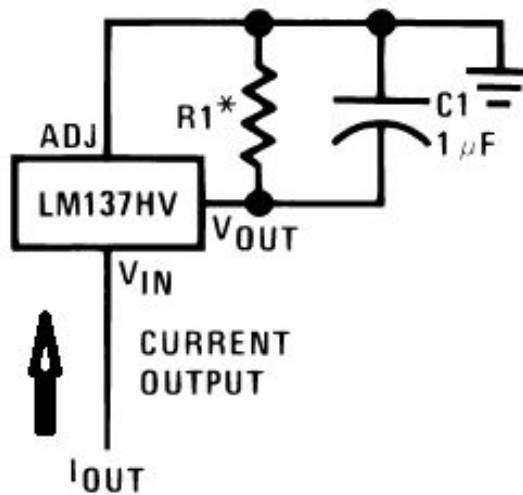
b) Para  $R2 \neq 0$ ,  $R2 = V_{GS}(I_{cq})/I_{cq}$ ,  $I_{cq} < I_{DSS}$ ;

c)  $V_{GS}$  pode ser obtida das curvas do FET ou calculada a partir de dados como  $V_{GS(off)}$  e  $I_{DSS}$

$$V_{GS} = V_{GS(OFF)} \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{I_{cq}}{I_{DSS}}} \right] \quad R2 = \frac{V_{GS(OFF)}}{I_{cq}} \cdot \left[ 1 - \sqrt{\frac{I_{cq}}{I_{DSS}}} \right]$$

d) A impedância interna da fonte pode variar entre  $1M\Omega$  e  $20k\Omega$  dependendo do FET e ponto de operação;

e) FET's sozinhos vão ser usados para correntes da ordem de alguns mA, tensões até 30V ou 40V.



$$I_{OUT} = \frac{V_{REF}}{R1}$$

$$* 0.8\Omega \leq R1 \leq 120\Omega$$

## 5. Polarização e Impedância de Entrada

### 5.1 Polarizando o Transistor NPN

Definida a corrente  $I_{cq}$ , será preciso fornecer a corrente de base necessária, sem comprometer a impedância de entrada desejada e mantendo a estabilidade de  $I_{cq}$  com a temperatura.

Quando o seguidor de emissor é acoplado diretamente a um estágio amplificador de tensão anterior, é necessário compatibilizar o ponto de operação de ambos os estágios. Nesse caso a tensão de coletor do amplificador de tensão, sem sinal, será  $V_E + V_{be} = V_B$ . O valor de  $V_E$  deve ser ajustado para máxima excursão num compromisso entre ambos os estágios.

Quando o transistor do seguidor de emissor for NPN, passa a ser interessante usar um complementar (PNP) no estágio de amplificação de tensão, para que ambos possam se aproximar da saturação, maximizando assim a excursão de tensão na saída.

Outro método de polarização simplificado é o mesmo usado para polarizar estágios com emissor comum, e será sempre usado quando o acoplamento com o estágio anterior ou a fonte de sinal for capacitivo (Fig. 8) ( Ref. [1][2]).

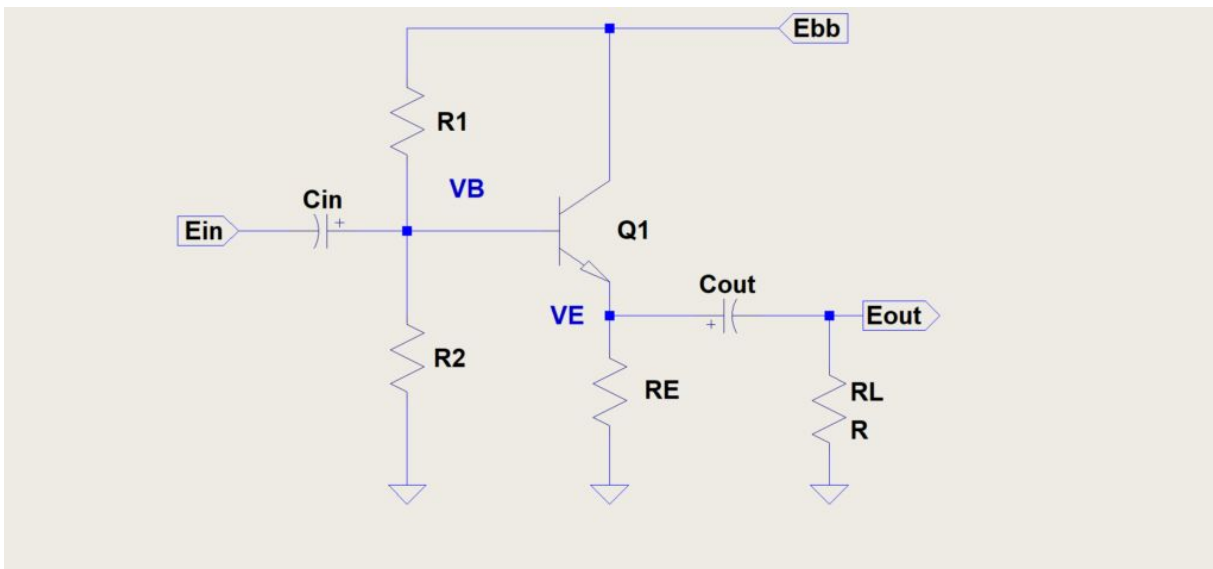


Fig. 9

Aqui a tensão  $V_B$  é determinada por um divisor de tensão formado por dois resistores  $R_1$  e  $R_2$ , ligados à fonte  $E_{bb}$  :

$$V_B = E_{bb} \cdot \frac{R_2}{R_1 + R_2} = (V_E + V_{be})$$

O divisor de tensão pode ser analisado pelo seu circuito equivalente Thevenin, formado por uma fonte de tensão de valor  $V_B$  em série com uma resistência de valor  $R_B = R_1 // R_2$

$$R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Para chegar aos valores de  $R_1$  e  $R_2$ , é preciso estabelecer um valor para  $R_B$ . O critério vai ser reduzir a sensibilidade de  $I_{cq}$  à variação do ganho de corrente do transistor e da temperatura.

Então:

$$R_B = \frac{\beta \cdot R_E}{10} E_{bb} \cdot \frac{R_B}{R_1} = (V_E + V_{be}) E_{bb} \cdot \frac{R_B}{R_1} = (V_E + V_{be}) \frac{(V_E + V_{be})}{E_{bb}} = k R_2 = R_1 \cdot \frac{k}{(1-k)}$$

### 5.2 Impedância de Entrada do Estágio Seguidor de Emissor

A impedância de entrada do estágio polarizado pelo divisor de tensão para pequenos sinais será aproximadamente [1]:

$R_{in} = R_B // [h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot (R_E // R_L)]$ , quando usado  $R_E$ ;

$R_{in} = R_B // [h_{ie} + (h_{fe} + 1) \cdot R_L]$ , se usarmos uma fonte de corrente;

O capacitor de acoplamento com o estágio anterior, ou a fonte de sinal,  $C_{in}$ , vai ser calculado em função da frequência de corte inferior  $f_L$ :

$$C_{in} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f_L \cdot R_{in}}$$

O capacitor de acoplamento com o estágio seguinte, ou a carga,  $C_{out}$ , vai ser calculado em função da impedância de saída do SE e carga  $R_L$ .

Não é conveniente usar  $C_{out}$  para determinar a frequência de corte inferior do estágio inteiro a -3dB,  $f_L$ .

Uma razão é reduzir a intensidade da corrente  $i_{out}$  que passa por  $C_{out}$ , e outra a queda de tensão correspondente causada sobre sua impedância. Ambos os fatores vão aumentar a distorção para sinais grandes.

Portanto, vamos calcular  $C_{out}$  para uma  $f_{-3dB} = f_L/10$ .

A resistência de saída do SE vai ser:

$$R_{out} = [(R_B + h_{ie}) / (h_{fe} + 1)] // R_E$$

Como  $[(R_B + h_{ie}) / (h_{fe} + 1)] \ll R_E$ , podemos usar um valor aproximado para  $C_{out}$  dado por:

$$C_{out} = \frac{10}{2 \cdot \pi \cdot f_L \cdot R_L}$$

Para  $f_L$  em Hz e  $R_L$  em ohms,  $C_{out}$  resulta num valor em farads (F). Para obter o valor diretamente em  $\mu F$ , use:

$$C_{out} = \frac{10^7}{2 \cdot \pi \cdot f_L \cdot R_L}$$

Podemos usar a mesma expressão para o SE com fonte de corrente.

### UM EXEMPLO

Projetar um seguidor de emissor que sirva de buffer de entrada para um pré-amplificador com uma impedância de entrada de  $5k\Omega$  no primeiro estágio; e que ofereça uma impedância de entrada para a fonte de sinal de  $50k\Omega$  ou mais.

- Resposta em frequência com -3dB a 5Hz;
- Tensão de saída de 8Vrms;
- Carga de  $5k\Omega$ .

$$E_p = E_{rms} \cdot \sqrt{2} = 8 \cdot 1,41 = 11,28 V \approx 11,3 V \quad I_p = \frac{V_p}{R_L} = \frac{12}{5000} = 2,4 mA$$

scollhemos o transistor BC550 para a função (Fig. 10).

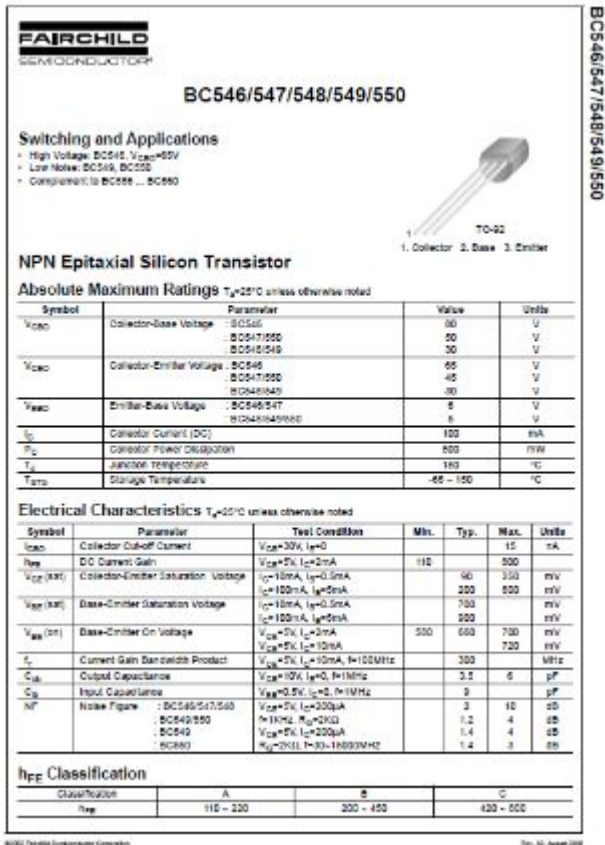


Fig. 10

Então, determinamos a tensão mínima de alimentação:

$$E_{bb} > 2 \cdot (V_p + V_{cesat}) \Rightarrow E_{bb} > 2 \cdot (11,28 + 0,25) = 23,1V$$

Escolhemos  $E_{bb} = 24V$  como valor inicial;

$$V_E \approx E_{bb} - (V_p + V_{cesat}) \approx E_{bb} - V_{ceq} \Rightarrow V_E \approx 24 - (11,28 + 0,25) = 12,47V$$

$$R_E \leq \frac{(V_E - V_p)}{V_p} \cdot R_L \Rightarrow R_E \leq \frac{(12,47 - 11,28)}{11,28} \cdot R_L \Rightarrow R_E = 527 \Omega$$

Então vamos usar  $R_E = 510 \Omega$

Daí:

$$I_{cq} = \frac{V_E}{R_E} = \frac{12,47}{510} = 24,45mA$$

Um valor relativamente elevado, que precisa ser verificado quanto à dissipação de potência:

$$P_D = I_{cq} \cdot (E_{bb} - V_E) = 0,02445 \cdot (24 - 12,47) = 0,282W$$

Isso mostra que para excursões relativamente grandes de sinal, e mesmo para potências fornecidas à carga da ordem de alguns mW, o uso do resistor de emissor é muito ineficiente.

Embora a potência fornecida à carga seja de apenas 6,4mW. Dissipamos 282mW no transistor e outro tanto no resistor  $R_E$ , para conseguir a excursão de sinal necessária.

Além disso, a dissipação necessária vai levar ao uso de um dissipador ou à escolha de outro transistor. Vamos determinar a polarização para o BC550.

$$R_B = \frac{\beta \cdot R_E}{10} = \frac{100 \cdot 510}{10} = 5100 \Omega$$

$$R_1 = R_B \cdot \frac{E_{bb}}{(V_E + V_{be})} = 5100 \cdot \frac{24}{12,47 + 0,7} = 5100 \cdot \frac{24}{13,17} = 9294 \Omega$$

$$\frac{(V_E + V_{be})}{E_{bb}} = \frac{V_B}{E_{bb}} = k = \frac{13,17}{24} = 0,54785$$

$$R_2 = R_1 \cdot \frac{k}{(1-k)} = 9294 \cdot \frac{0,54785}{0,45125} = 9294 \cdot 1,216 = 11302 \Omega$$

Vamos usar  $R_1 = 8,2k\Omega$  e  $R_2 = 10k\Omega$ , isso leva a impedância de entrada para uns  $4k\Omega$ ...

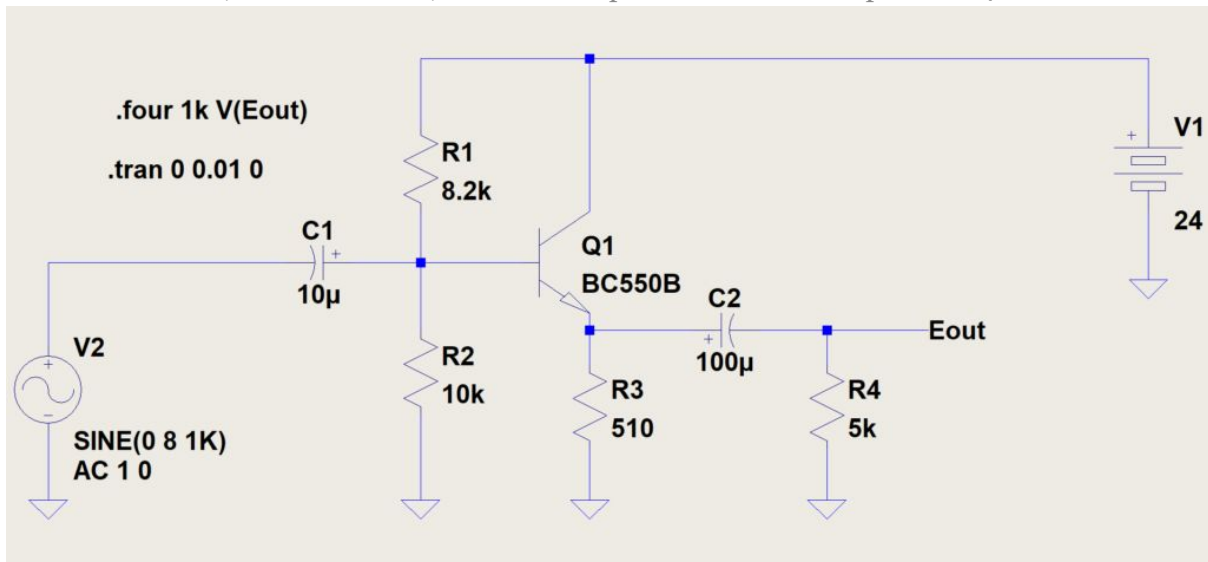


Fig. 11

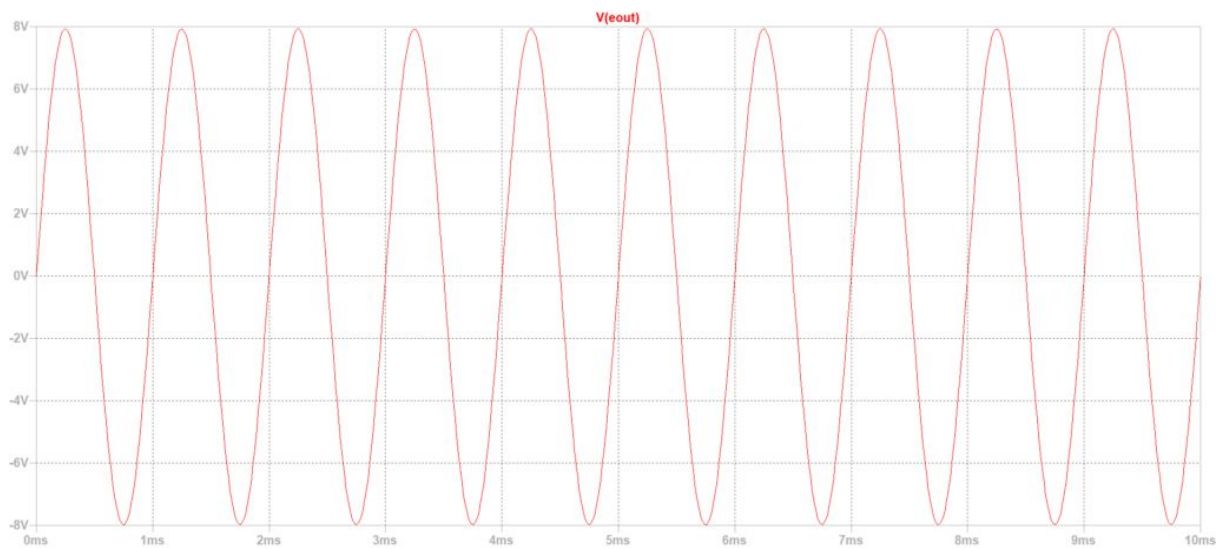


Fig. 12

THD=0,062% @ 1kHz

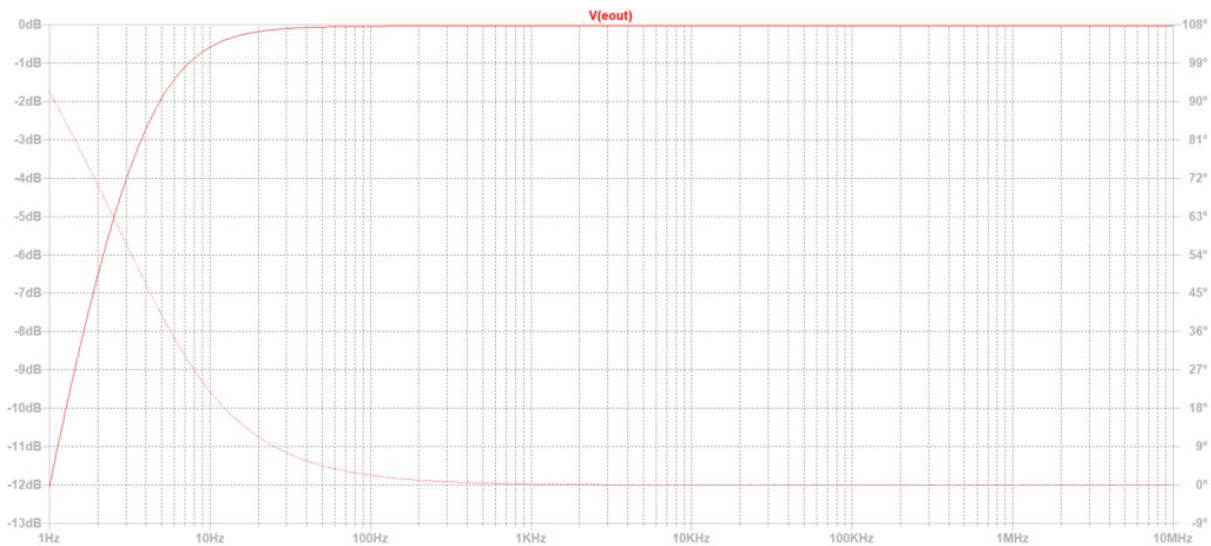


Fig. 13

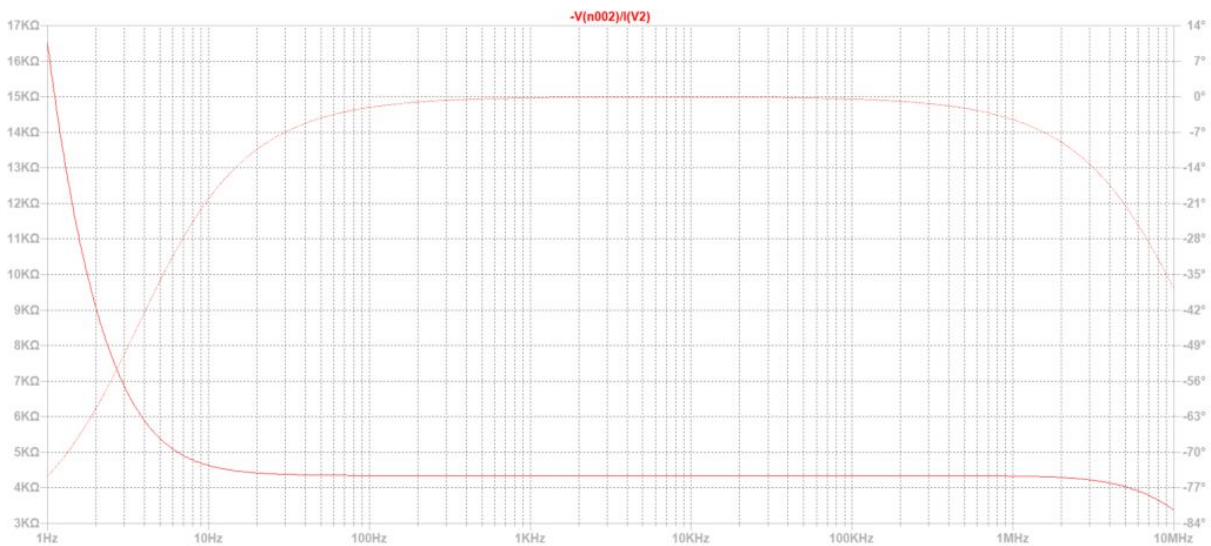


Fig. 14 –  $Z_{in} = 4,34k\Omega$

Tentando usar a fonte de corrente para aumentar a eficiência:

- Determinamos  $I_p$ ;
- Fazemos  $I_{cq} = 1,2 \cdot I_p$

$$I_p = \frac{V_p}{R_L} = \frac{8V}{5k\Omega} = 1,6mA \quad I_{cq} = 1,2 \cdot 1,6 = 1,92mA \approx 2mA$$

Escolhendo um transistor BC550B, o ganho de corrente  $h_{FE}$  mínimo seria de 200, o que significa uma corrente de base  $I_B$  de  $10\mu A$ .

Então:

$$(R_1 + R_2) = \frac{E_{bb}}{10 I_B} = \frac{24V}{100 \mu A} = R_T = 240k\Omega \quad \frac{E_{bb}}{V_B} = k \quad R_2 = k \cdot R_T \quad R_1 = (1 - k) \cdot R_T$$

$$R_2 = 0,54785 \cdot 240k\Omega = 131,48k\Omega$$

$$R_1 = (1 - k) \cdot R_T = (1 - 0,54785) \cdot 240k\Omega = 0,45215 \cdot 240k\Omega = 108,516k\Omega$$

Usaremos  $R_1 = 100k\Omega$  e  $R_2 = 120k\Omega$

Com a fonte de corrente, a impedância de entrada será, aproximadamente,  $R_1 // R_2$ .

Então;

$$Z_i \approx \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = 54,5 \text{ k}\Omega$$

Para frequências médias, dentro da especificação.

Circuito simulado no LTSpice:

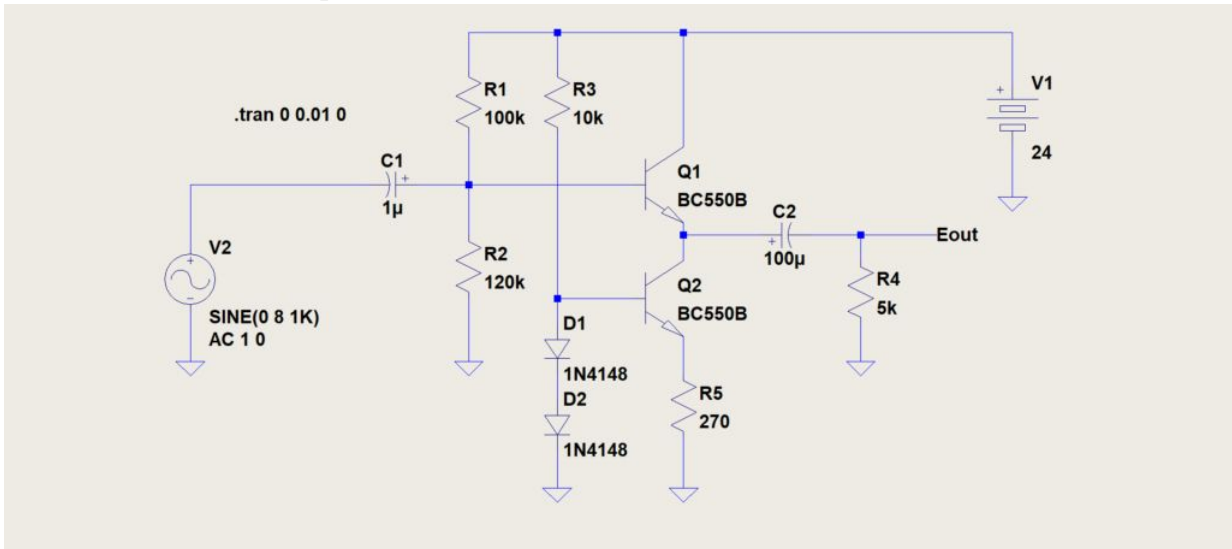


Fig. 15

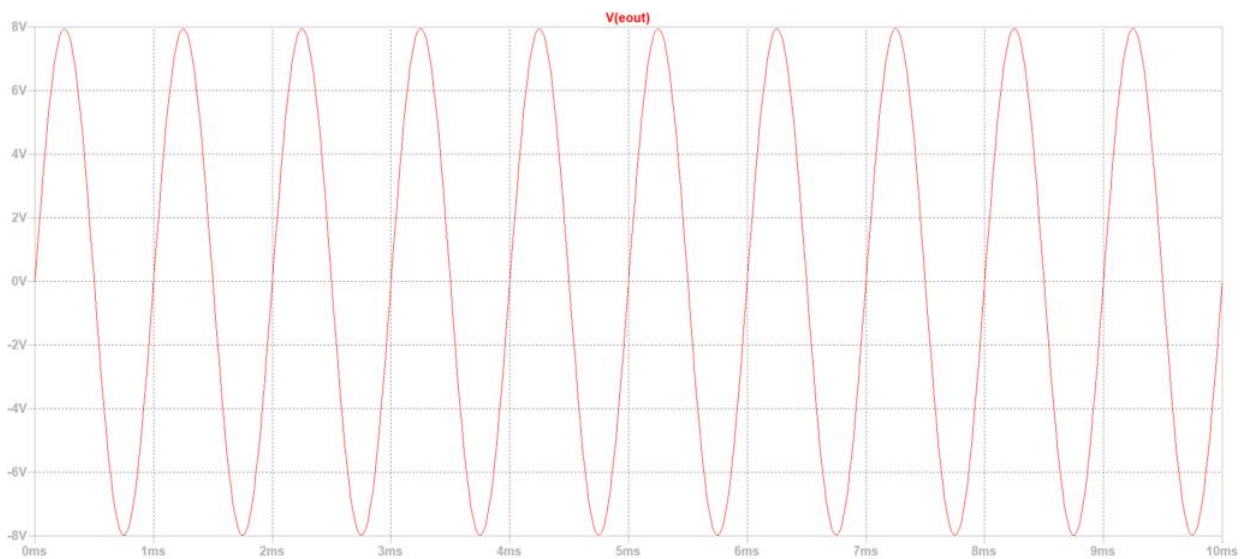


Fig.16

THD=0,066% @ 1kHz



Resposta em frequência:

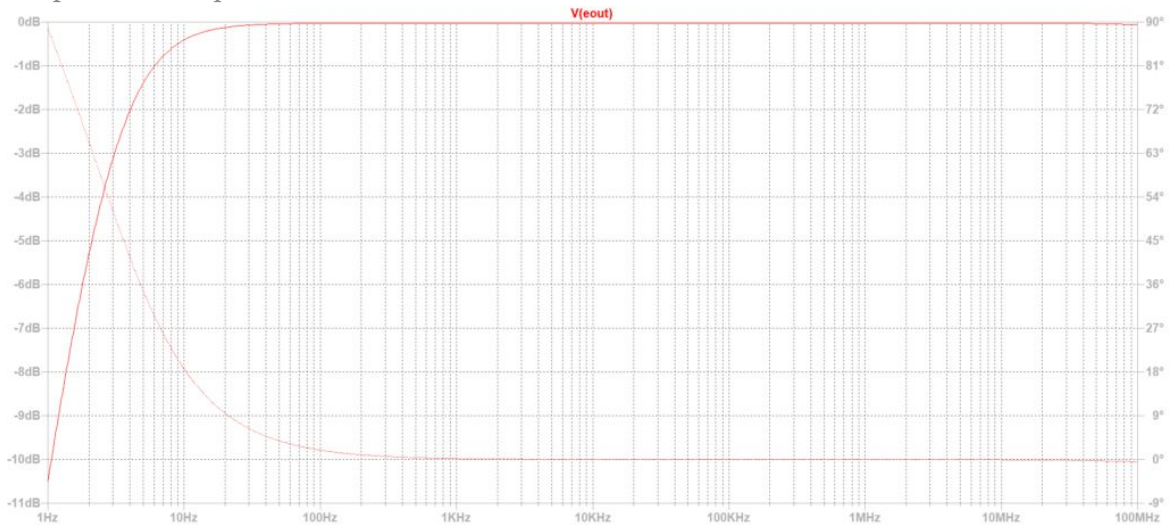


Fig. 17

Com uma dissipação de 25mW.  
E um rendimento de 25% aproximadamente.

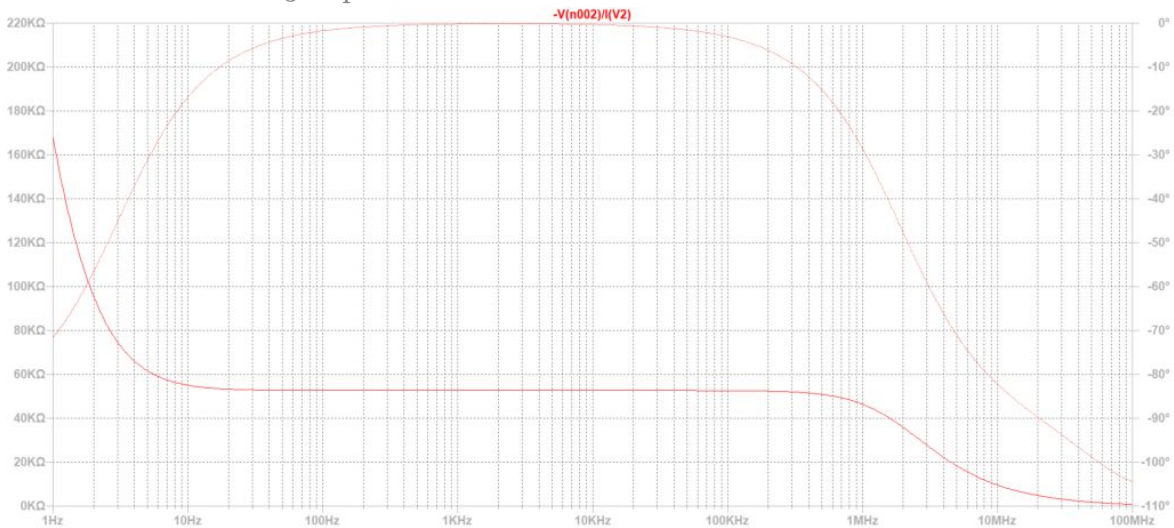


Fig. 18 –  $Z_{in} = 52,5k\Omega$

Aumentando a corrente da fonte para 3,8mA, reduzimos a THD%:

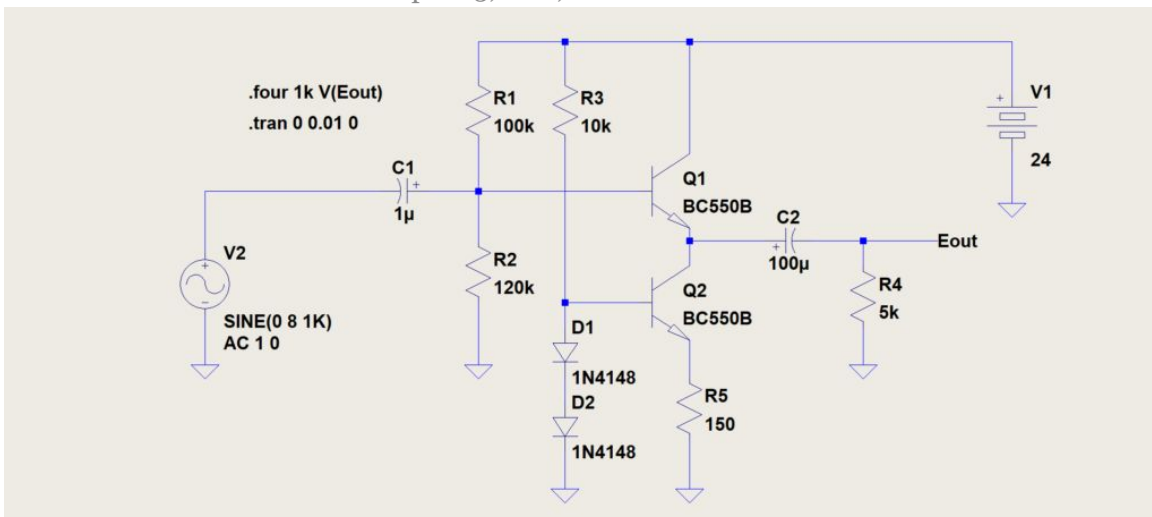


Fig. 19

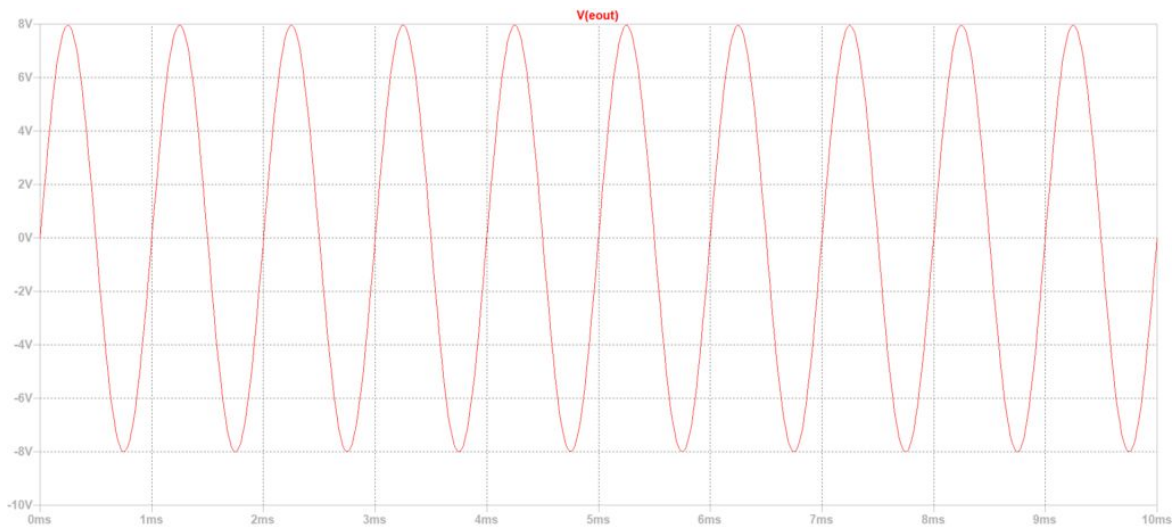


Fig. 20

THD=0,043% @ 1kHz

Com uma dissipação de 46mW.

E um rendimento de 14%.

Comparando as diferentes fontes de corrente para um mesmo valor CC aproximado:

Fonte com 2 diodos e 1 transistor:

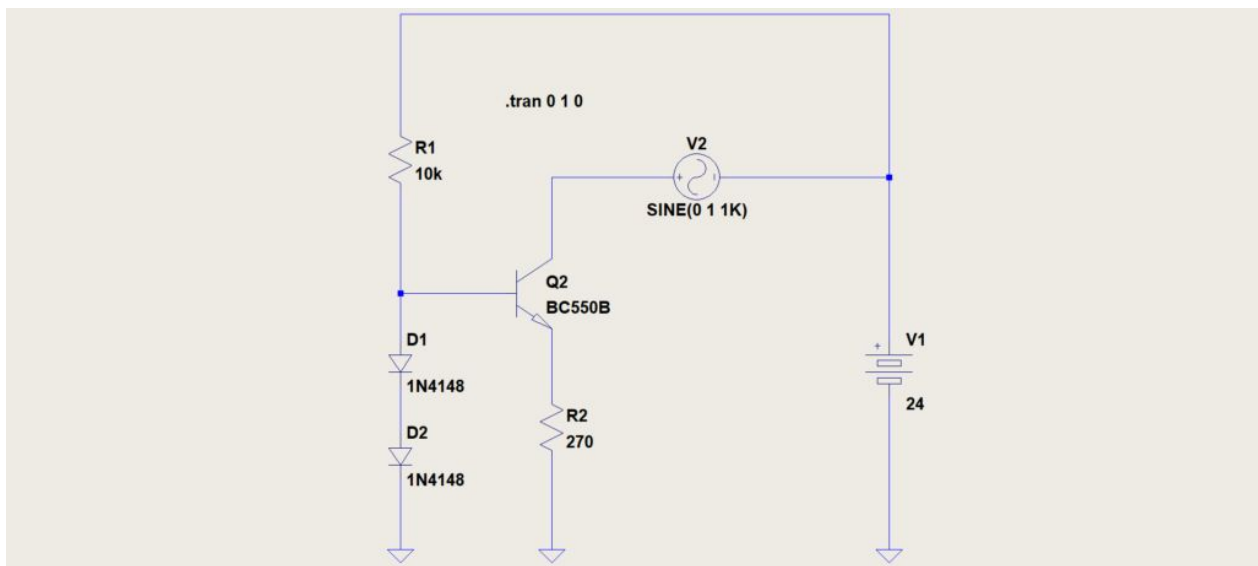


Fig. 21

Observando o componente CA da corrente que flui por V2 vai ser possível calcular a impedância interna da fonte de corrente, idealmente infinita.

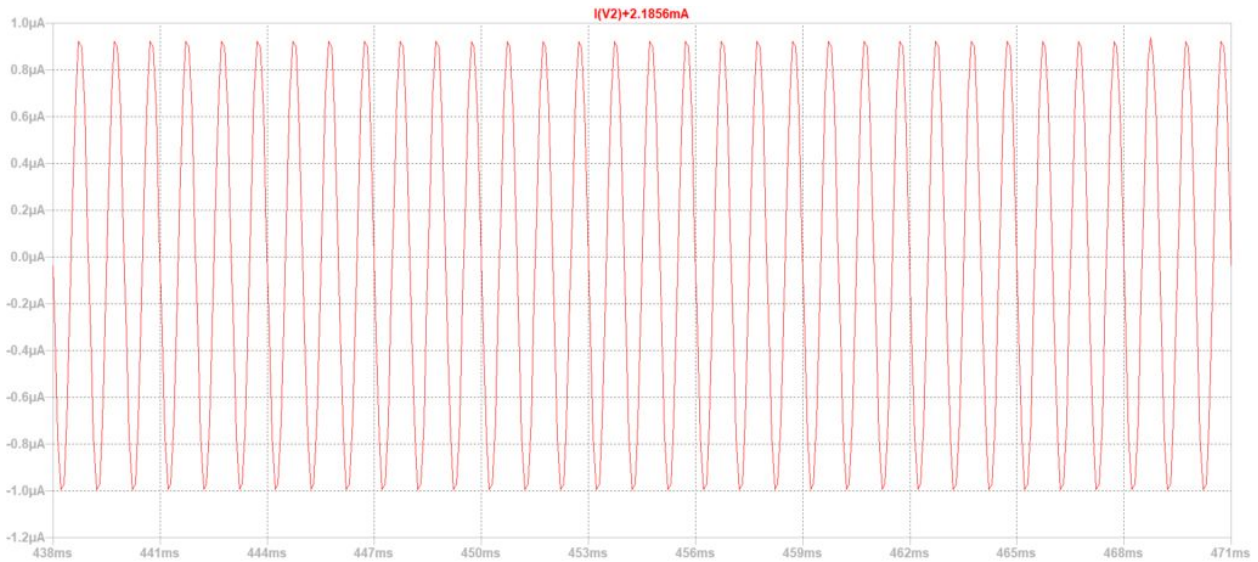


Fig. 22

$R_{out} = 1V_{pico} / 0,92\mu A = 1,087M\Omega$   
 Fontes com 2 transistores:

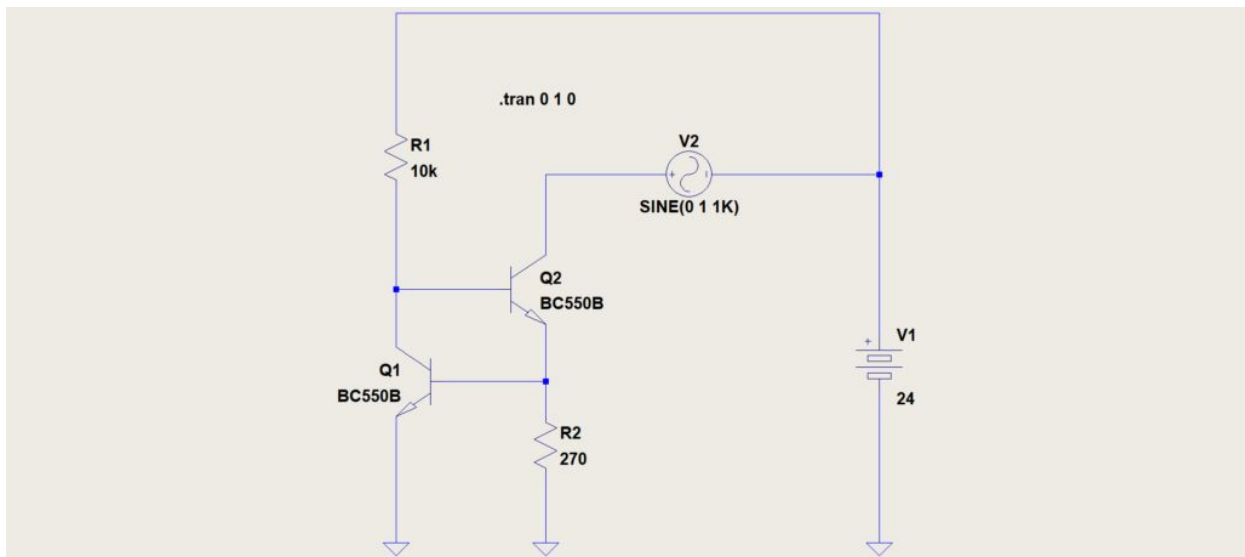


Fig. 23

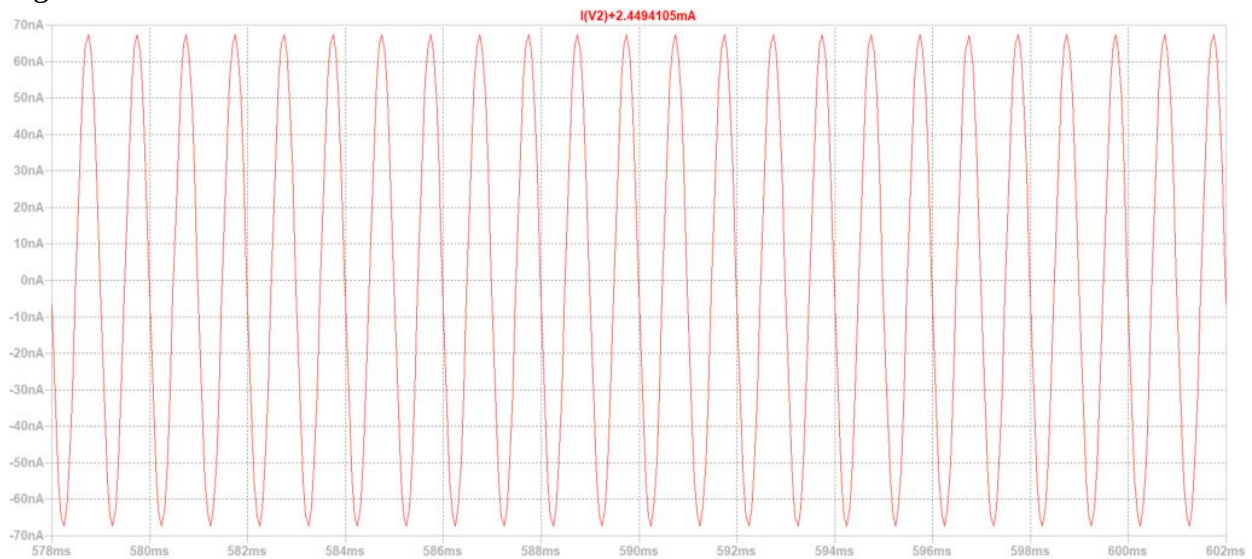


Fig. 24

$$R_{out} = 1V / 48,1nA = 20,79M\Omega$$

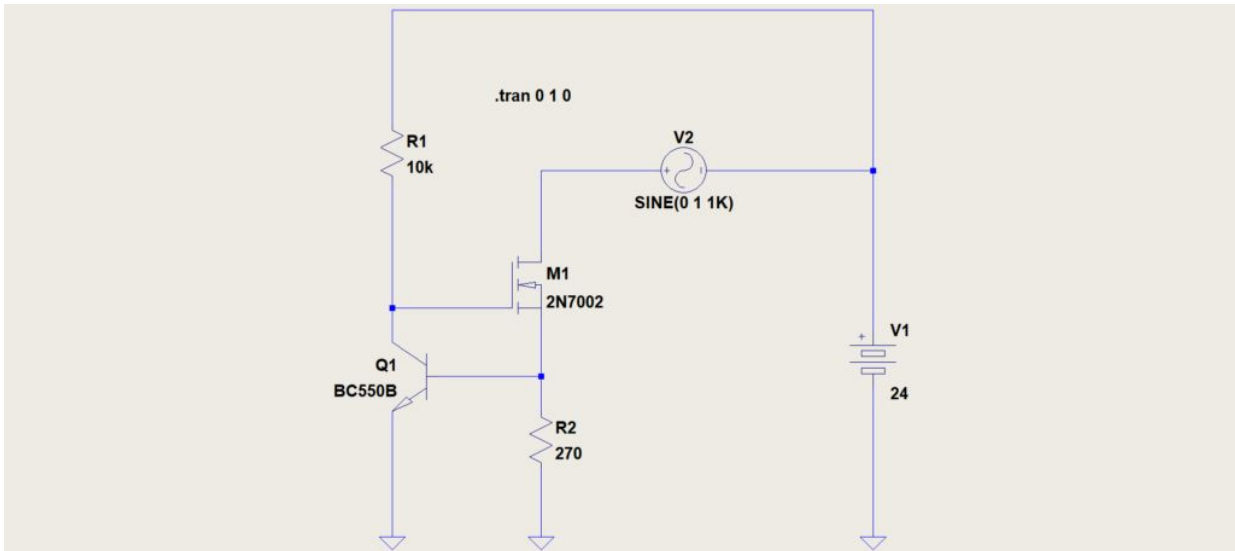


Fig. 25



Fig. 26

$$R_{out} = 1V / 80nA = 12,5M\Omega$$

Usar a fonte de corrente aumentou excursão de sinal e a impedância de entrada.

Para manejar correntes maiores e/ou aumentar mais ainda a impedância de entrada, podemos usar configurações compostas como a Darlington e o Par Complementar Realimentado (CFP), ou Sziklai, para aumentar o ganho de corrente do estágio.

Para impedâncias de entrada muito altas, melhor usar FET's ou MOSFET's, embora exista a técnica de "bootstrapping", mostrada abaixo na Fig. 27:

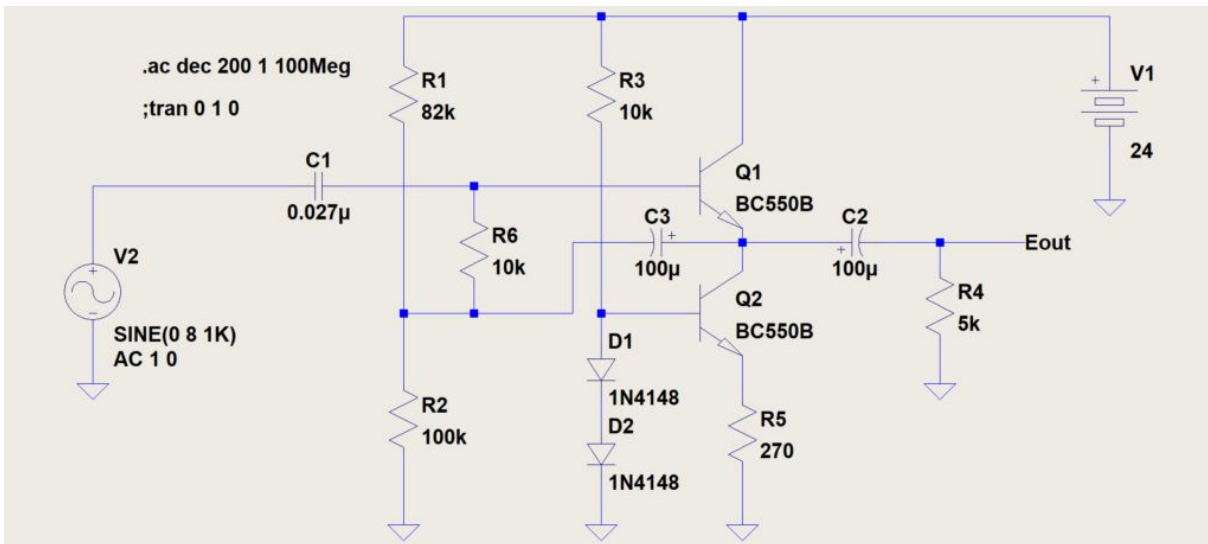


Fig. 27 – Bootstrapping

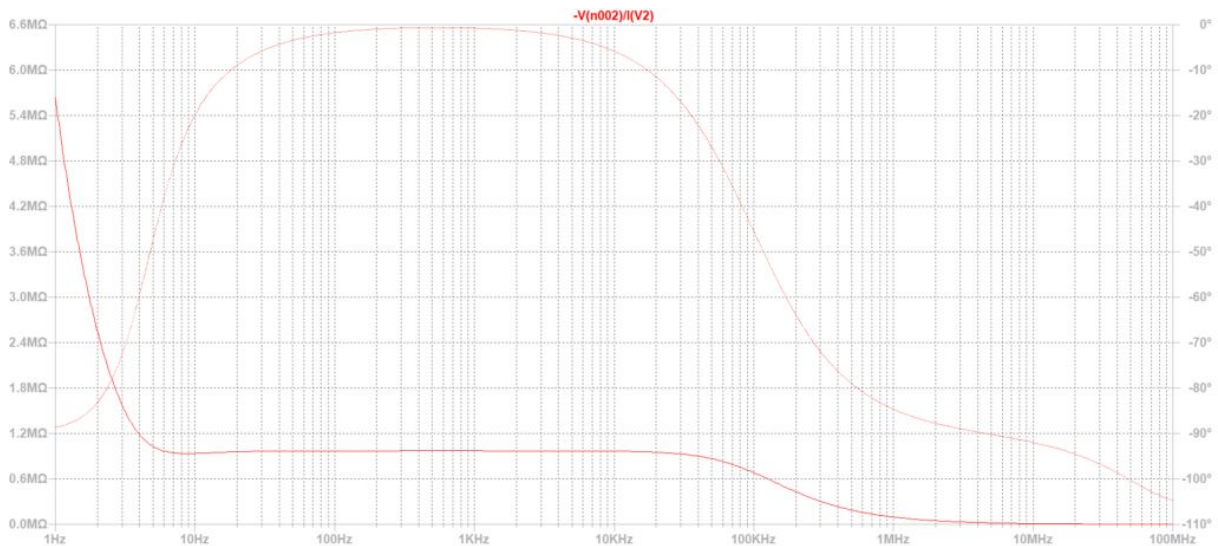


Fig.28

$$Z_{in} = 975k\Omega @ 1kHz$$

É interessante notar que a impedância de entrada tende a capacitiva e vai reduzindo seu módulo logo acima da faixa de áudio. O componente capacitivo iguala o resistivo perto de 100kHz. O mesmo acontece, e em frequências mais baixas, com FET's.

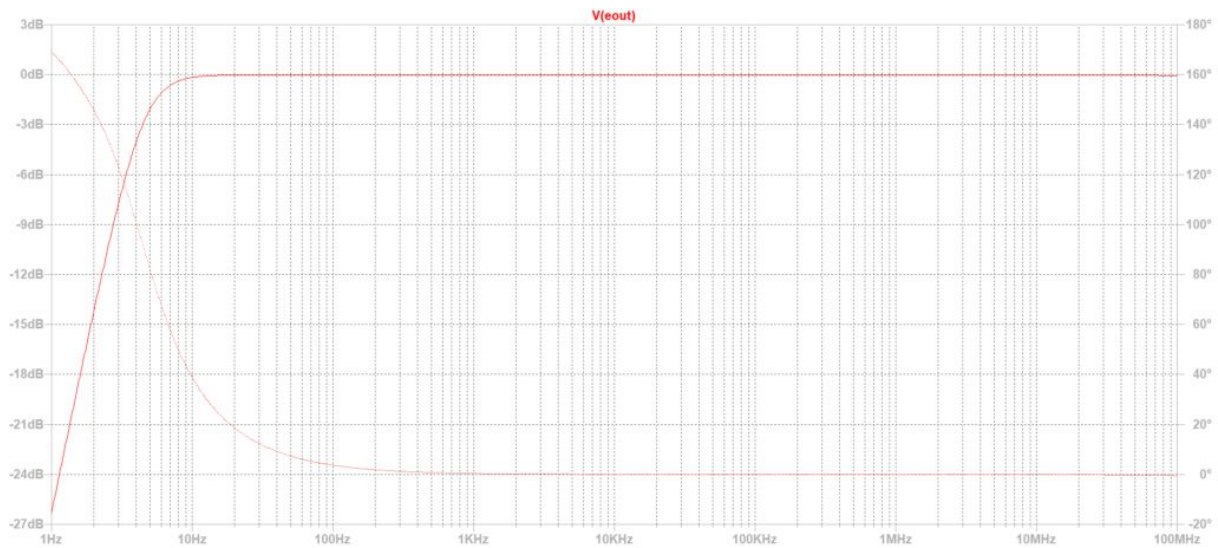


Fig. 29 – Resposta em frequência.

Referências:

1. MILLMAN, Jacob; HALKIAS, Christos. **ELECTRONIC DEVICES AND CIRCUITS**. 1ª ed. International Student Edition: McGraw-Hill Kogakusha LTD; 1967.
2. MILLMAN, Jacob; HALKIAS, Christos. **INTEGRATED ELECTRONICS: ANALOG AND DIGITAL CIRCUITS AND SYSTEMS**. 1ª ed. International Student Edition: McGraw-Hill Kogakusha LTD; 1972.
3. SCHILLING, Donald L.; BELOVE, Charles. **CIRCUITOS ELETRÔNICOS DISCRETOS E INTEGRADOS**. 1ª ed. Editora Guanabara Dois S. A.; 1979.
4. BOYLESTAD, Robert L.; NASHIELSKY, Louis. **DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS E TEORIA DE CIRCUITOS**. 11ª ed. Pearson Education do Brasil LTDA; 2013.

# Professional High Power Amplifier

# PA 1800 D



## ANÁLISE DO AMPLIFICADOR CYGNUS PA1800D

Marcelo Yared\*

Neste artigo relataremos a recuperação e as medições técnicas de um amplificador Cygnus, modelo PA1800D.

Famoso na época de sua fabricação, entre os anos 80 e 90, pelo design bonito e seu grande porte, era – eu diria mesmo ainda é – usado para PA e sonorização.

O PA1800, tanto o modelo D quanto o modelo X, tem uma verdadeira legião de adeptos e fãs, várias publicações sobre manutenção e modificações na Internet e ainda hoje é muito procurado para compra. O PA1800X foi uma modernização do D, e tem algumas diferenças nas alças, internas e de funcionalidades, mas ambos compartilham o mesmo circuito de amplificação.

O manual do equipamento traz as seguintes especificações:

<b>SENSIBILIDADE (1W RMS / 8 OHMS)</b>	73 mV
<b>SENSIBILIDADE (180W RMS / 8 OHMS)</b>	980 mV
<b>IMPEDÂNCIA DE ENTRADA</b>	49,7 K ohms
<b>RELAÇÃO SINAL / RUÍDO</b>	Melhor que 102 dB
<b>RESPOSTA EM FREQUÊNCIA</b>	3,5 Hz / 280 kHz (- 3dB)
<b>POWER BANDWIDTH</b>	10 Hz / 105 kHz (0dB)
<b>DISTORÇÃO HARMÔNICA (THD)</b>	Menor que 0,01%
<b>INTERMODULAÇÃO (IMD)</b>	Menor que 0,02%
<b>FATOR DE AMORTECIMENTO (8 OHMS)</b>	250 de 15 Hz a 30 kHz
<b>SEPARAÇÃO ENTRE CANAIS</b>	78,6 dB
<b>POTÊNCIA DE SAÍDA (SISTEMA ESTEREOFÔNICO)</b>	270 Watts RMS por canal (4 ohms) 190 Watts RMS por canal (8 ohms) 400 Watts IHF por canal (4 ohms) 285 Watts IHF por canal (8 ohms)
<b>POTÊNCIA DE SAÍDA (SISTEMA BRIDGE)</b>	550 Watts RMS (8 ohms) 920 Watts IHF (8 ohms)
<b>CONSUMO (EM REPOUSO)</b>	31,2 VA
<b>CONSUMO (MÁX. POTÊNCIA 8 OHMS)</b>	595,2 VA
<b>CONSUMO (MÁX. POTÊNCIA 4 OHMS)</b>	892,8 VA
<b>CONSUMO (MÁX. POTÊNCIA 8 OHMS) BRIDGE</b>	892, VA
<b>ALIMENTAÇÃO</b>	110 / 220 Volts - 50 / 60 Hz
<b>PÊSO</b>	23 Kg

Medidas feitas com sinal de 1KHz, alimentação 117 Volts

Dimensões Externas (mm)

\*Engenheiro Eletricista

São características de um amplificador bem potente para a época, e rivalizava com os modelos maiores da Gradiente e da Polyvox. Há um modelo da Cygnus mais potente, o PA2800, mais caro e que compartilhava o leiaute básico do 1800.

Dito isto, vamos ao equipamento que adquiri para recuperação, que foi bastante trabalhosa. Trata-se de uma unidade na cor preta, anodizada, e com a estética razoável. Muitos anos de uso e de poeira (na verdade terra mesmo) internamente. Foi feita uma limpeza geral e lavagem das partes mais sujas.



Foram substituídos todos os capacitores eletrolíticos do equipamento, sendo os principais, das fontes, ampliados de 5000uF/70V para 10000uF/80V da marca EPCOS. Nada contra manter os valores originais, mas a diferença de preço compensa a redução do *ripple* máximo das fontes.

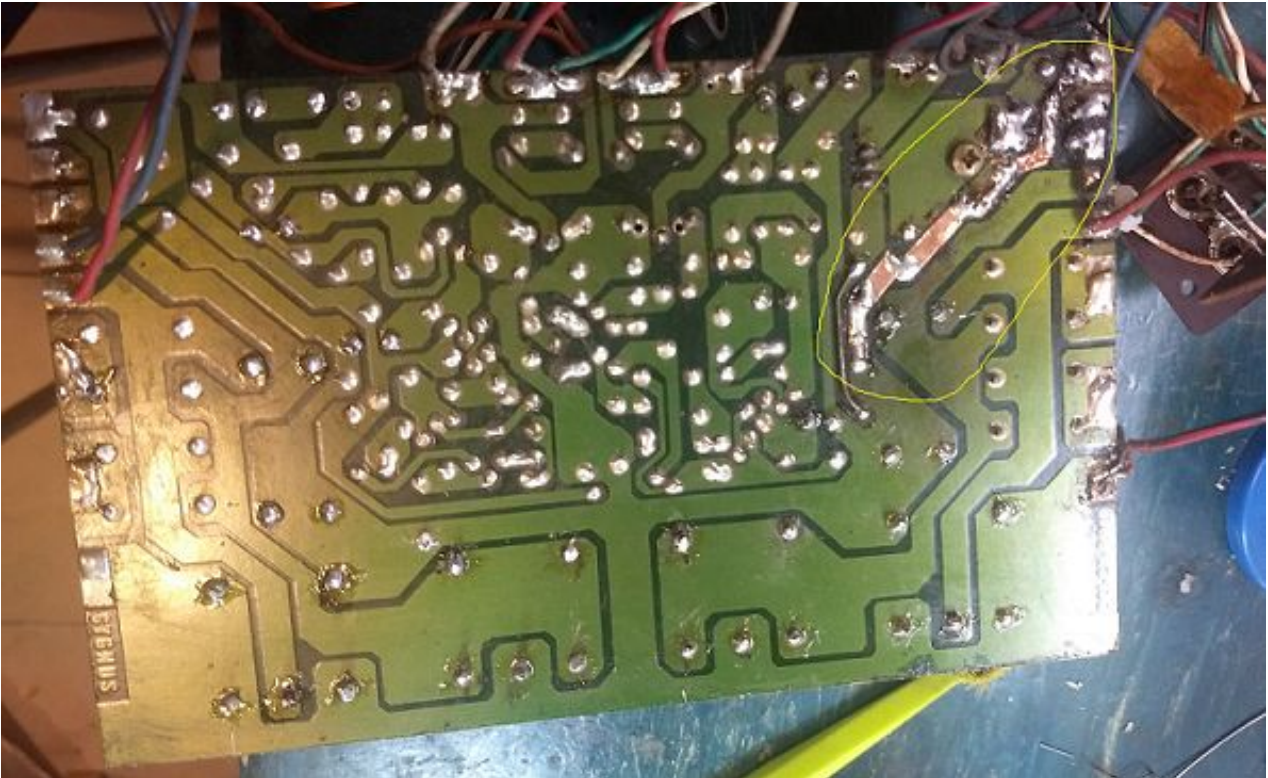




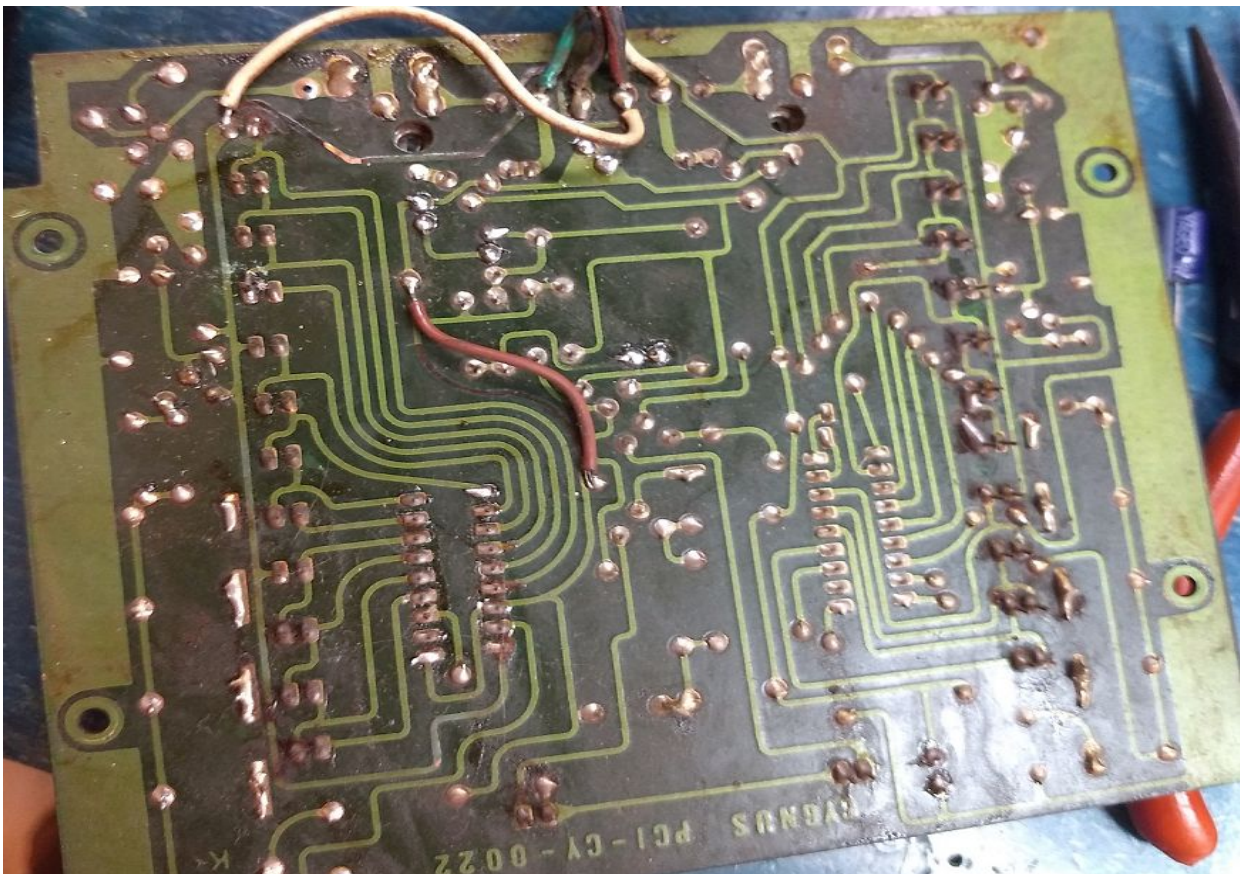
Também troquei os resistores de dreno das fontes, de 2k7 ohms por 2W de dissipação, por unidades de 5W. Os originais aqueciam bastante e foram soldados, de fábrica, bem próximos à placa de material fenólico, que, literalmente, foi queimada por eles. As novas unidades foram afastadas da superfície e seus terminais isolados por espaguets térmicos.

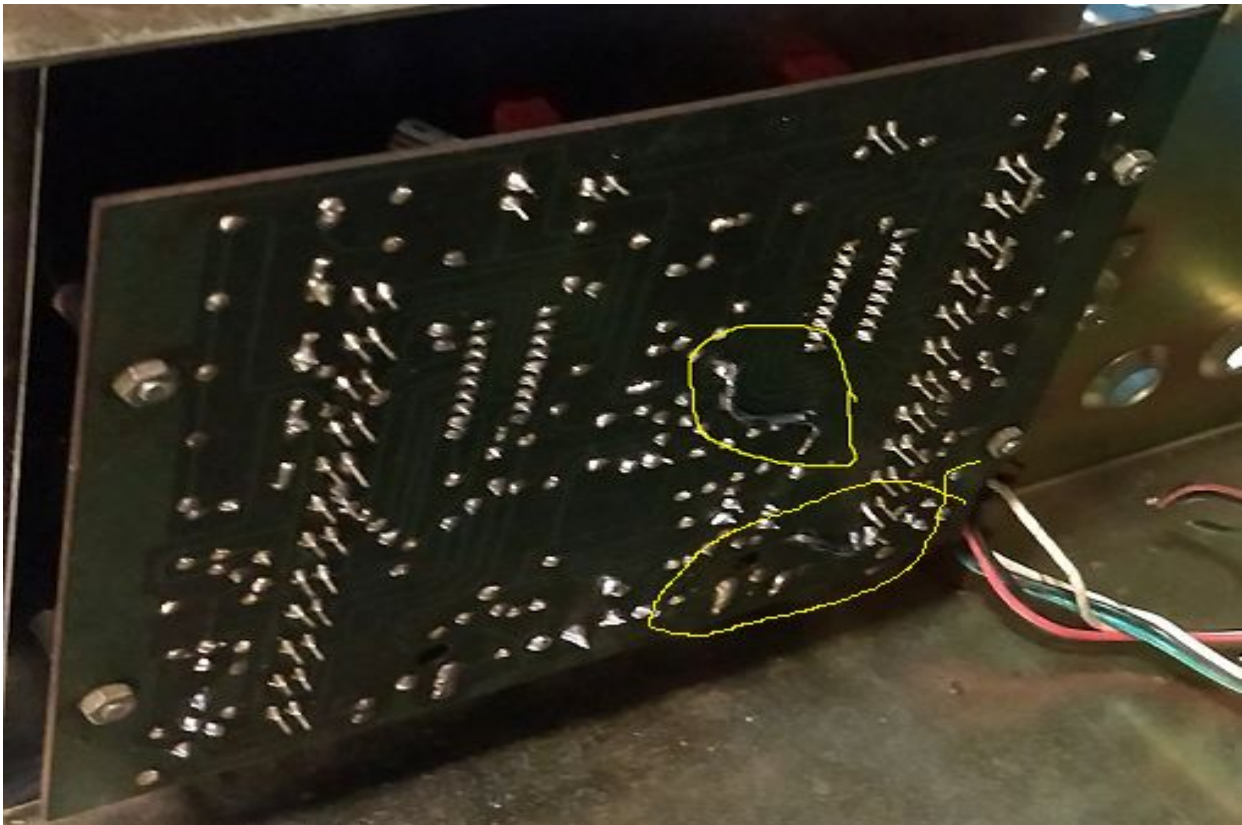


Outra manutenção necessária foi a recuperação de uma trilha de cobre de aterramento, que foi literalmente queimada em algum defeito e substituída por um pedaço de fio flexível. Fita de cobre adesiva, protegida por verniz, recuperou a trilha. O arame rígido ao lado foi mantido, pois estava firme e bem soldado, necessitando apenas de fixação com verniz.



A placa dos VUs apresentava as mesmas gambiarras, mas por serem trilhas muito finas, foram substituídas por fios isolados, colados na placa.



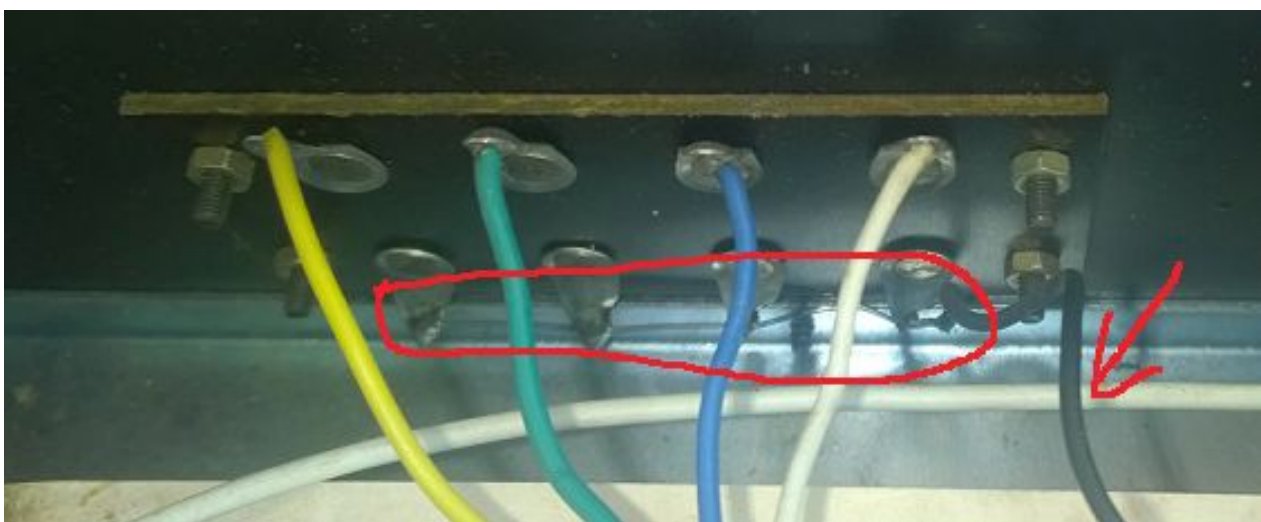


Aparentemente esse equipamento sofreu algum curto nessas fiações, pois os módulos amplificadores estavam perfeitos e originais.

Feito isto, chegou a hora da montagem da placa da fonte no chassis, junto com a placa de VU e os conectores e chaves.

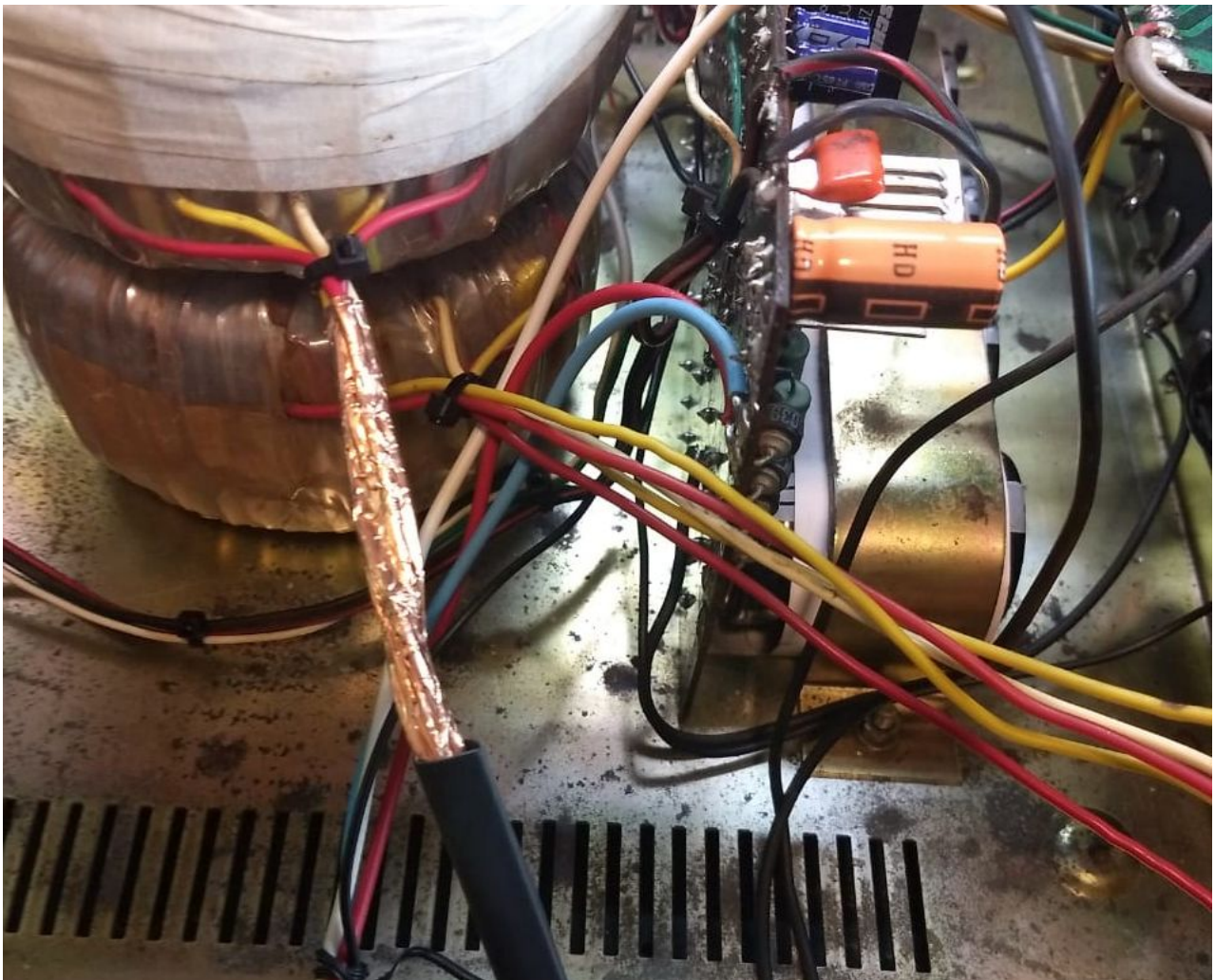
As fiações que alimentam os módulos de potência e as que os conectam às saídas de falantes foram substituídas por fios de bitola mais grossa, diminuindo as perdas de conexão.

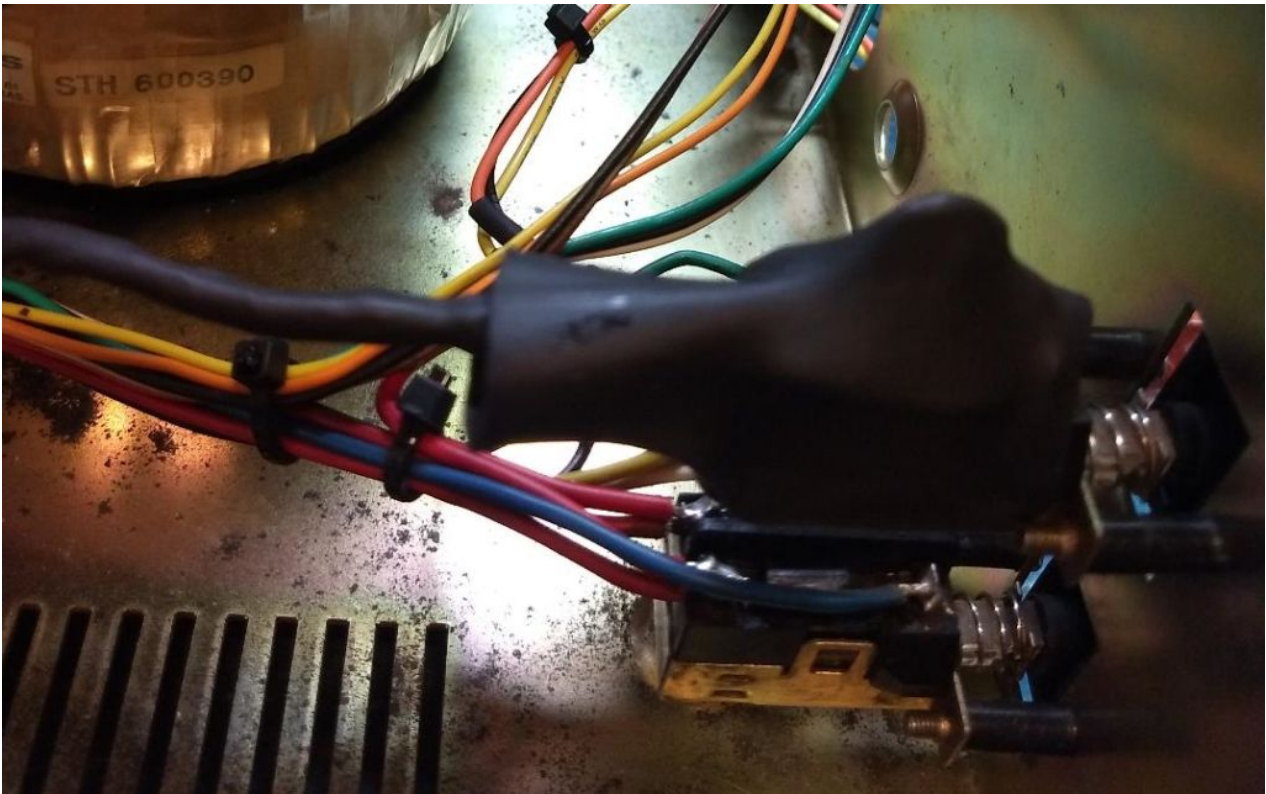
Aliás, eu já havia restaurado um PA800, amplificador menos potente mas que compartilha a mesma topologia do PA1800 e que tem montagem bastante parecida, e, tal como nele, observei que a fiação de ligação dos conectores de falante não seguia as melhores práticas quanto a compartilhamento de sinal. Vejam nas fotos abaixo, do PA800, que tem a conexão idêntica à do PA1800D, como a fiação de negativo é compartilhada entre os canais com um arame soldado. Foi retirado e substituído por cabos bitola 16AWG, ligados à fonte.



Aliás, como vocês verão nos testes, a utilização de dois transformadores para alimentação independente de cada canal foi uma boa providência (apesar de não ser recomendável empilhá-los como foi feito no PA1800D), mas a utilização de um circuito de fonte comum para os circuitos periféricos deixou o leiaute da placa com alguns problemas nos caminhos de aterramento, o que, com certeza, influenciou nas medições. O ideal seria isolar os caminhos de terra dos dois transformadores e fazer uma conexão em estrela ou um barramento para um aterramento comum.

Tratamos, então, de refazer a fiação interna, com chicotes feitos com cintas de plástico, pois aquelas amarrações com barbantes encerados originais sujam muito e quando soltam ficam muito ruins. Toda a fiação de primário e secundário do transformador de força, bem como a da chave liga-desliga, foi devidamente blindada com cobre e protegida, para redução do zumbido e proteção interna. Um capacitor cerâmico foi colocado na chave de força, para reduzir ruídos de comutação.





#### MANUTENÇÃO DOS MÓDULOS DE POTÊNCIA

Inicialmente os dois módulos dos canais foram separados do chassis, seus eletrolíticos foram substituídos e foram feitos os ajustes de corrente de repouso e de nível DC à saída. Sobre os resistores de emissor o ajuste foi de aproximadamente 27,5mV.

Tudo funcionou a contento e o módulo, com nossas fontes estabilizadas de laboratório fornecendo 62VCC simétricos, nos permitiu entregar 190W contínuos em 8 ohms de carga a 1kHz, mostrando compatibilidade com o especificado no manual do equipamento. Com a fonte não estabilizada do amplificador, entretanto, a situação foi diferente.

Comparando a placa com o esquemático oficial da Cygnus, verificamos alguns pontos que nos chamaram a atenção:

– os transistores Q106, Q107, Q206 e Q 207 deveriam ser os BD139/140, entretanto estavam colocados os TIP31C e TIP32C. Neste caso, os BD da época, fabricados pela Philips, tinham  $f_T$  máximo de 190MHz (BD139) e ganho máximo de 250, muito superiores aos dos TIPs, na casa dos 3MHz e ganho máximo de 50! Particularmente nessa função,  $f_T$  e ganho maiores são desejáveis e com certeza a performance do equipamento poderá ser prejudicada em relação ao componente constante do manual. A vantagem do TIP seria o maior VCEo, o que talvez tenha sido o motivo da troca. Desta forma, como não tínhamos mais os BD139 da Philips em nosso estoque, substituímos os TIPs pelo par 2SC4793/2SA1837, da Toshiba, ainda disponíveis no mercado e com características elétricas mais próximas dos BD originais. O VCEo de 230V foi um bônus bem vindo;

– Idem para os transistores Q111, Q112, Q211 e Q212. Que deveriam ser 2SD401 e 2SB546. Neste caso, apesar de similares em ganho e  $f_T$ , o VCEo do TIP31C é de 100V, o que não é recomendável para um amplificador que pode vir a trabalhar com até 124VCC de tensão de malha a malha (62V simétricos). Assim, foram substituídos pelo par MJE15032/MJE15033, com características um pouco superiores e VCEo em confortáveis 250V.

Com isso, temos também características que nos permitirão explorar com segurança os limites deste amplificador, como vocês verão mais abaixo.

Adicionalmente, providenciei as seguintes alterações, especificamente quanto à proteção contra curtos, que, pelo tipo de circuito, pode apresentar ruídos quando acionada, em tensões elevadas. Para uso em residências isso não é grande problema, a meu ver, pois o amplificador tem reserva de potência suficiente para audições em altos níveis sem saturar:

– considerando-se a potência nominal contínua em 4 ohms constante do manual e o tipo de circuito de proteção empregado, retirei R123, R124, R223 e R224 e substituí por capacitores bipolares de 10uF/50V em paralelo com resistores de 8k2 ohms, para permitir alguma inércia nos picos musicais sem acionamento indevido da proteção. Uma referência sobre isso pode ser encontrada em Cordell, **Designing Audio Power Amplifiers**, segunda edição, página 431. Esses valores podem ser alterados conforme a conveniência;

– Os valores de R126, R129, R226 e R229 foram alterados para o valor de 255 ohms (470 ohms em paralelo com 560 ohms), para maior precisão de acionamento na potência nominal.

Uma última alteração que providenciamos foi no circuito de VU meter. Alguns relatos nas redes e grupos de discussão citam degradação sonora com o uso desse circuito. Analisando-o pude observar que há uma coleta da tensão de saída do amplificador por intermédio de retificação em meia onda, com um integrador básico para o seletor de nível de sinal amostrado. Apesar dos baixos valores dos capacitores envolvidos, instantaneamente, em situações de transientes e em alta frequência, eles apresentam baixo módulo de impedância e poderiam acionar indevidamente os limitadores do estágio de saída. Não percebi maiores problemas com isso, mas preventivamente adicionei resistores de 82 ohms em série com as entradas da placa do VU. Esse valor é 10 vezes maior, em módulo, do que a impedância nominal de trabalho do amplificador e deve fornecer razoável isolamento em relação ao VU, que, a propósito, não tem muita precisão em altas potências, pelo menos o que está na minha unidade.

Também providenciamos blindagem de cobre em torno das áreas de baixo nível de sinal, para isolar o zumbido proveniente da chave seletora de tensão e do porta-fusível.



Tratamos, então de remontar o equipamento, para colocá-lo em funcionamento e providenciar os testes objetivos.

### **ANÁLISE OBJETIVA – MEDIÇÕES**

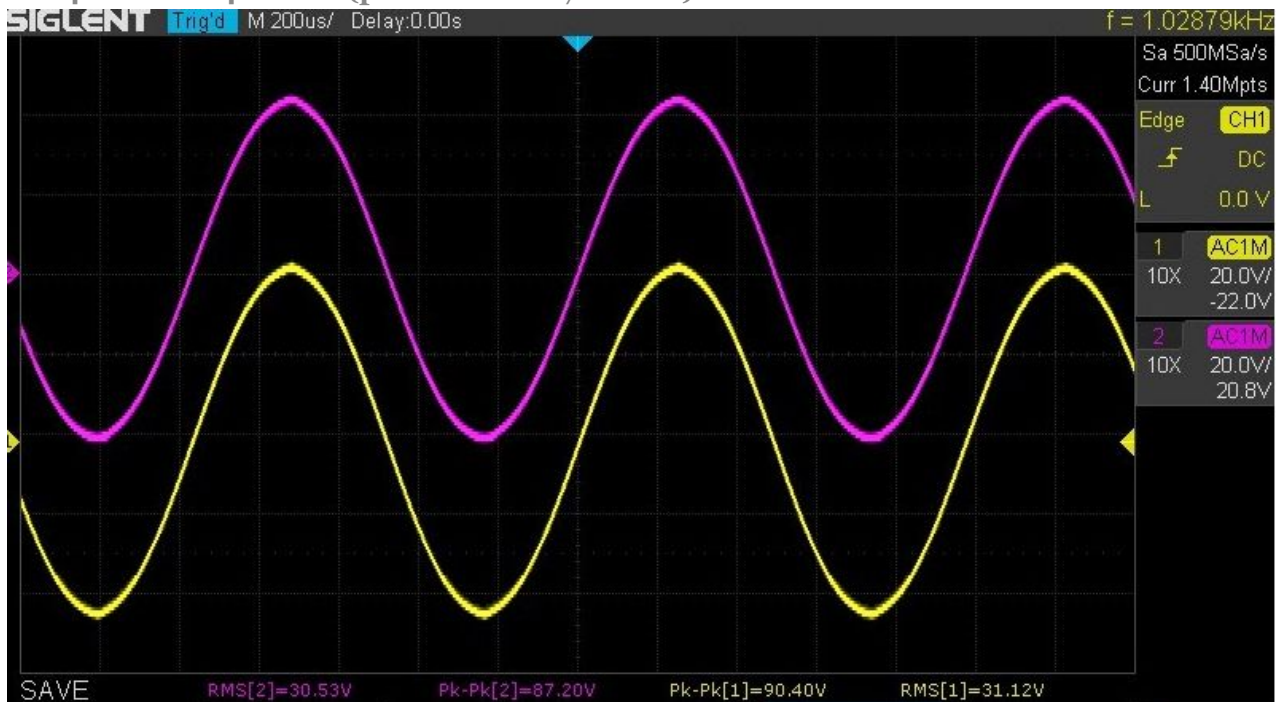
Feitos os ajustes e alterações acima descritas, procedemos então às medições das características técnicas descritas no manual do PA1800D, para confronto com os valores anunciados.

**Potência de saída por canal no limite do ceifamento** – Para a tensão de alimentação especificada no manual (117V), a 1kHz, obtivemos:

### Em 8 ohms – 143 watts (pelo manual 190 watts)

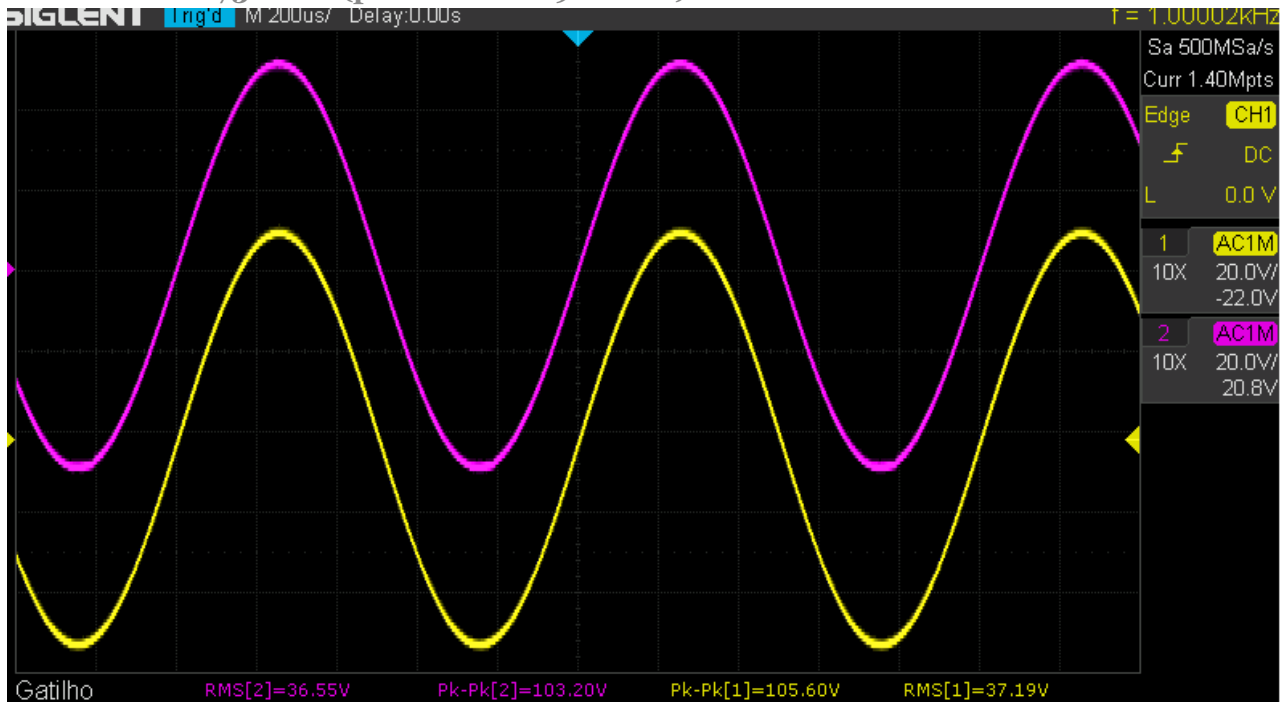


### Em 4 ohms – 242 watts (pelo manual 270 watts)

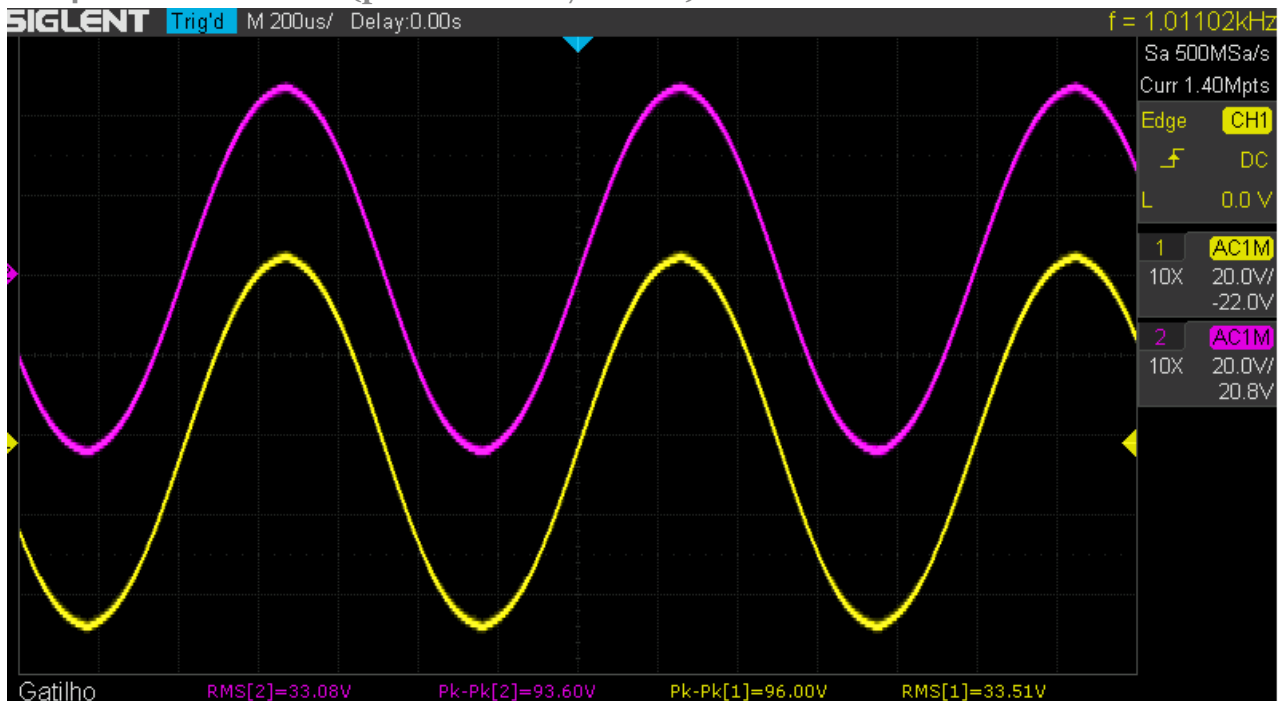


Os valores obtidos são menores e, tendo em vista os testes com as fontes estabilizadas, sabemos que decorrem da capacidade da fonte interna. Assim, considerando-se que a rede elétrica em vários estados do Brasil fornece 127VCA, procedemos também ao teste nesta condição e obtivemos:

### Em 8 ohms – 173 watts (pelo manual 190 watts)



### Em 4 ohms – 280 watts (pelo manual 270 watts)



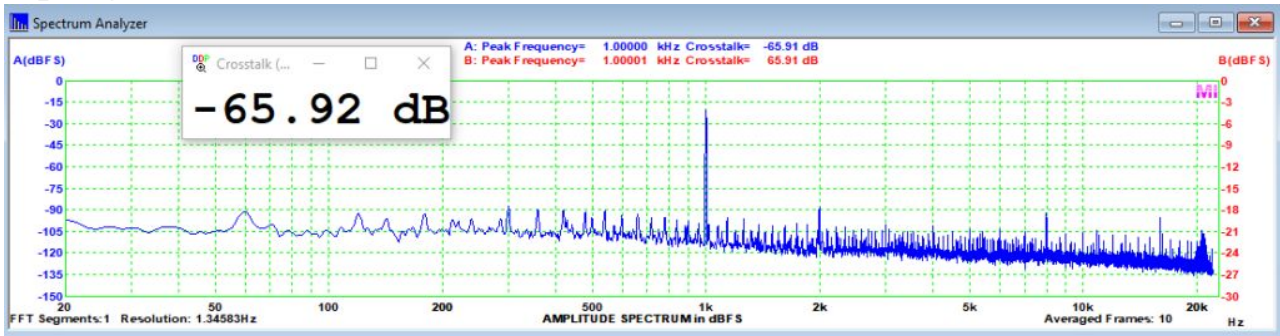
Assim, apesar do estresse no transformador, o equipamento cumpriria o especificado, praticamente, apenas em redes de 127VCA. Na tensão citada no manual, não atende. Fizemos os testes em 4 ohms para redes de 220VCA, comuns no restante do país, e obtivemos 216 watts à saída.

Não testamos essa característica em bridge e, aliás, em nossa opinião, a solução adotada para isso não é a melhor, particularmente em altas frequências, além de agregar mais ruído pela disposição física do conjunto. Para esse uso, sugerimos a utilização de um circuito inversor específico.

**Fator de amortecimento** – a 10W, 8 ohms e 1kHz, obtivemos o valor de 111, excelente, mas bem abaixo do especificado (250). Com certeza a utilização de fiação mais grossa ajudou, mas, de qualquer forma, é um valor muito bom e mais do que suficiente para um bom controle da carga pelo amplificador.

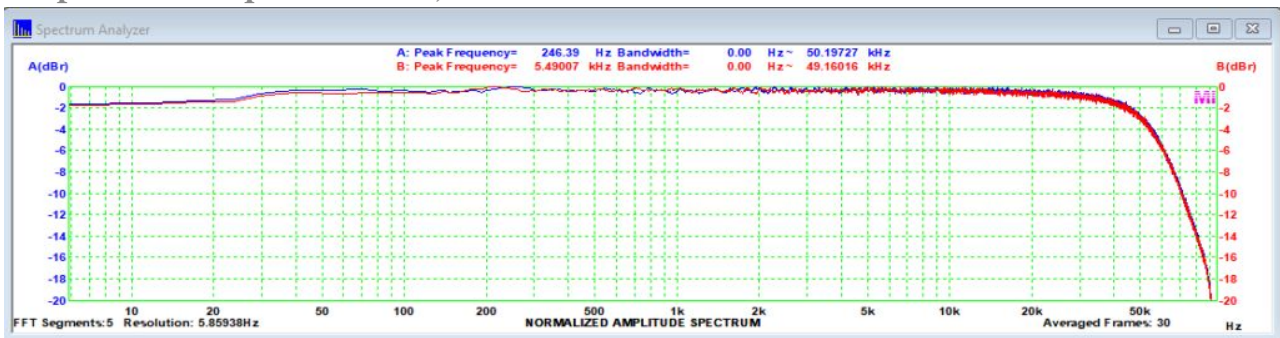


### Separação entre canais – a 1W, 8 ohms e 1kHz:



Valor inferior ao especificado (78,6dB). Poderia ser melhor se o design das fontes e o projeto do circuito de *bridge* fossem melhores, mas é um bom valor.

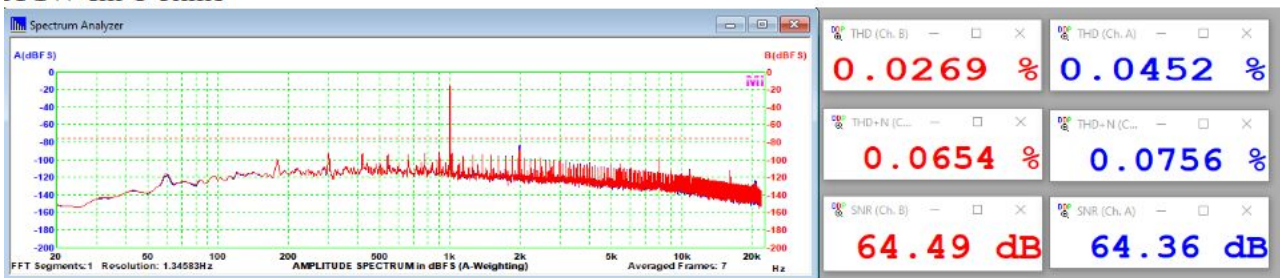
### Resposta em frequência – a 1W, 8ohms e 1kHz:



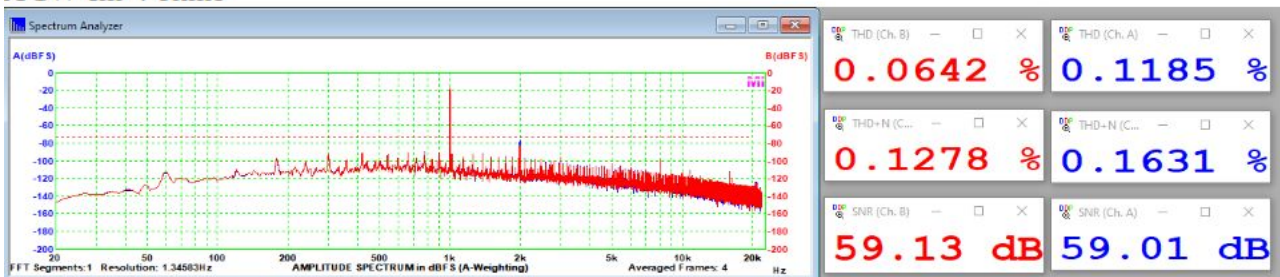
O teste mostra uma resposta bastante plana e muito boa, com queda de 3dB em torno de 50kHz e melhor que -2dB a 5Hz. Como os valores informados pela Cygnus são bem superiores (280kHz a -3dB e 105kHz a 0dB!) e extrapolam o limite superior de minha interface de medição em *loopback* (em torno de 60Khz), medi “à moda antiga” (manualmente) também e obtive em torno de 77kHz.

### Relação Sinal-Ruído, Distorsão Harmônica Total e DHT+Ruído – a 1kHz:

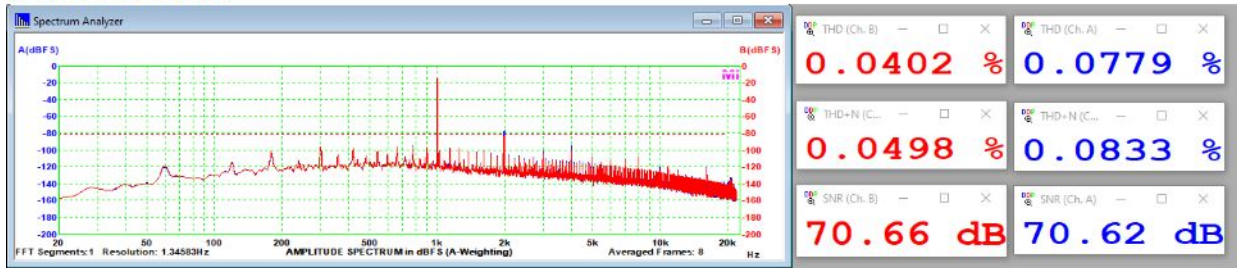
#### A 1W em 8 ohms



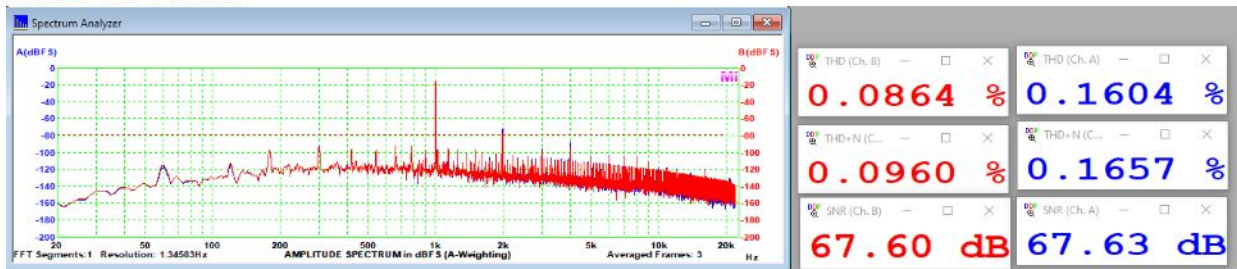
#### A 1W em 4 ohms



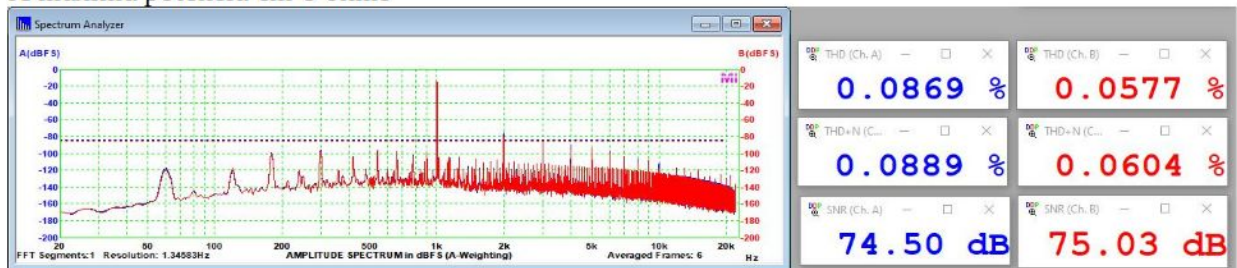
### A 10W em 8ohms



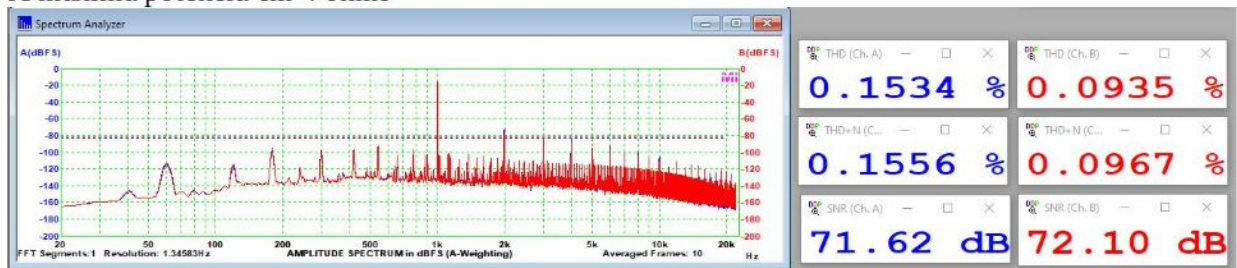
### A 10W em 4 ohms



### À máxima potência em 8 ohms



### À máxima potência em 4 ohms

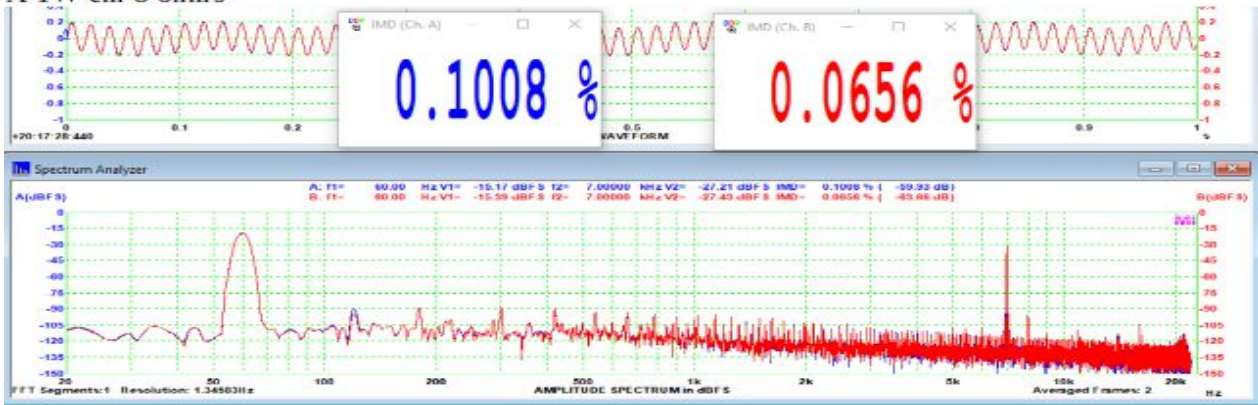


\*os valores obtidos para potência máxima foram medidos posteriormente e os canais foram invertidos no equipamento de medição, em relação aos demais.

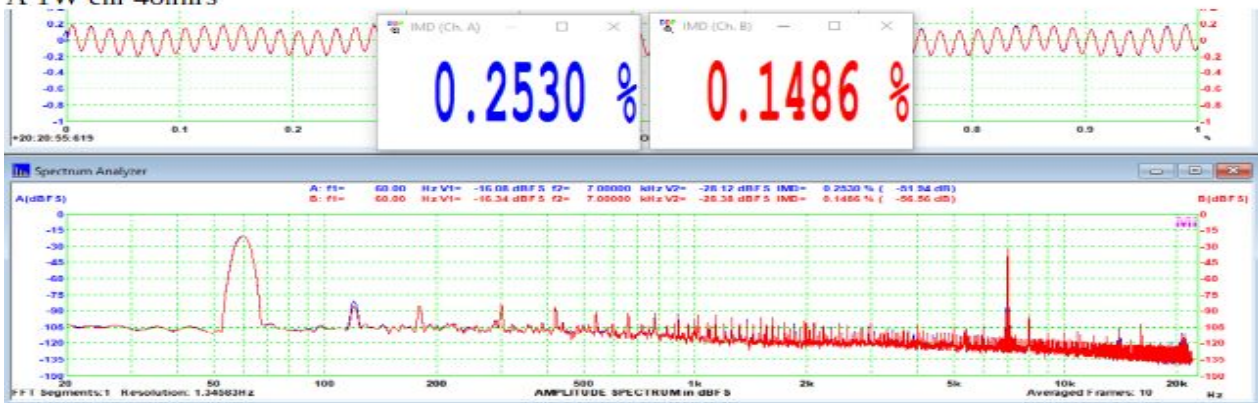
Esses valores de distorção são bons e, novamente, vê-se que a distorção em um canal é superior à do outro, o que eu atribuo ao leiaute da fonte. Nada obstante, estão bem distantes do especificado no manual (menor que 0,01% e SNR melhor que 102dB, o que eu suponho ser à máxima potência). Os valores de relação sinal/ruído poderiam ser bem melhores, mas não comprometem o desempenho do amplificador. Quando testei com minhas fontes estabilizadas, obtive, com o aparelho aberto na bancada, 85dB de SNR.

# Distorção por Intermodulação – SMPTE

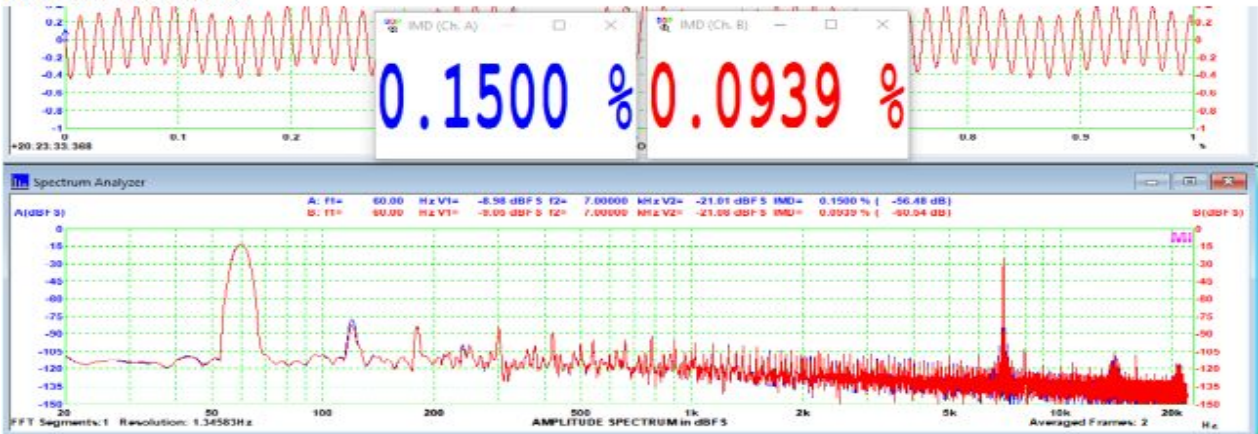
A 1W em 8 ohms



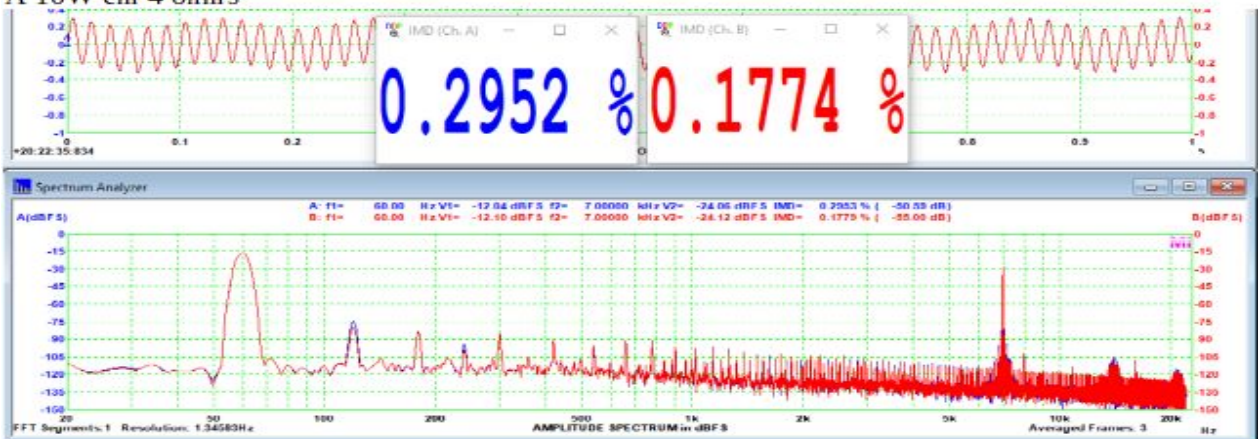
A 1W em 4ohms



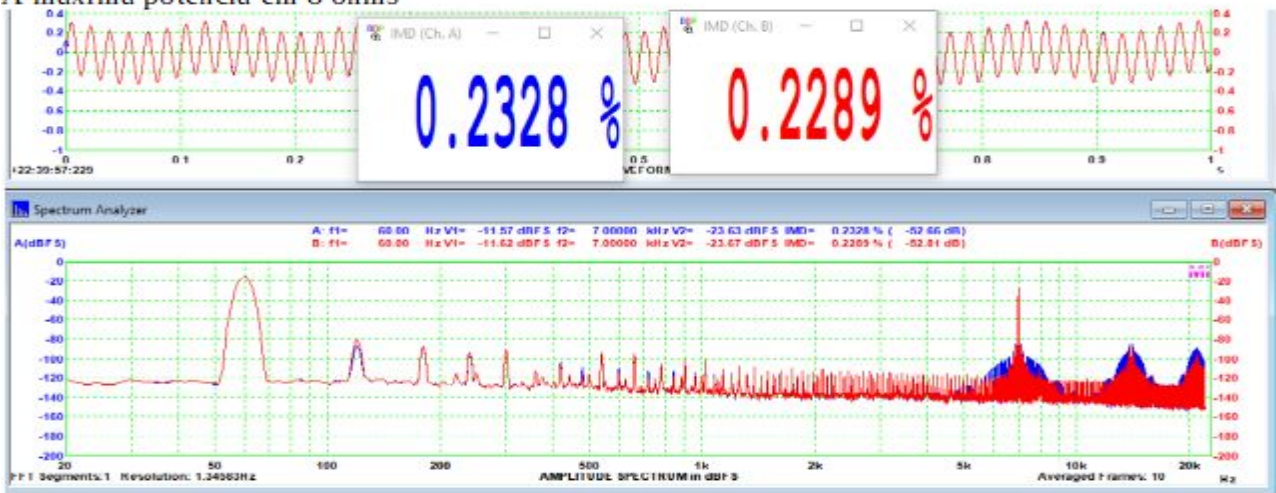
A 10W em 8 ohms



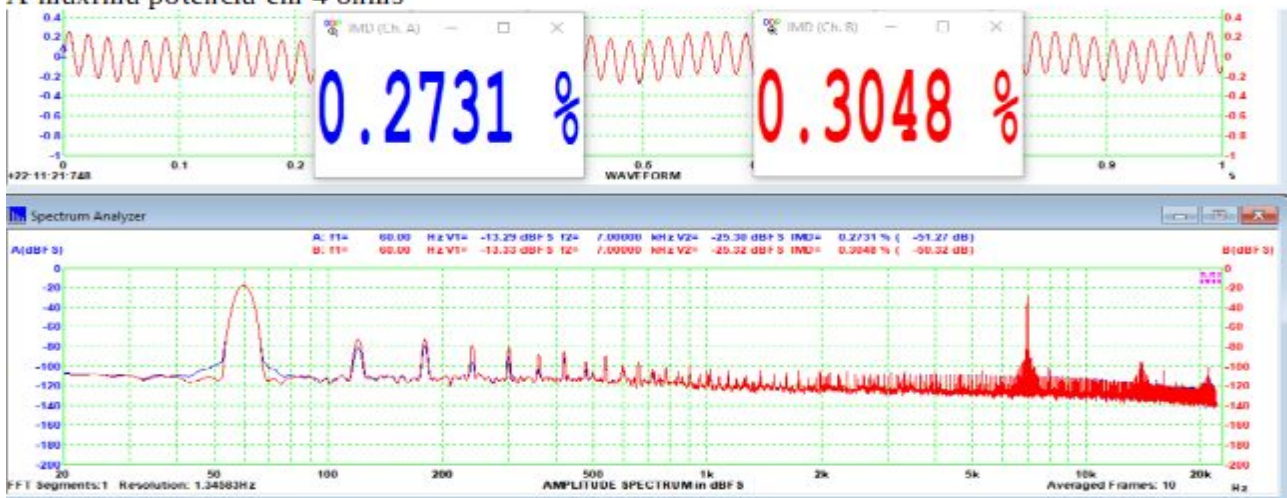
A 10W em 4 ohms



### À máxima potência em 8 ohms



### À máxima potência em 4 ohms



Os valores de DI não são ruins, mas poderiam ser melhores, consideradas as demais características. Novamente há diferença entre os canais, o que também crédito ao leiaute da fonte. Discrepam do valor informado no manual (0,02%), e repetem a ordem de grandeza do que medi no PA800, que tem o mesmo circuito básico. No PA800, entretanto, os valores de DI em baixa potência são um pouco menores, mas acima de 10W chegam ao dobro dos medidos no PA1800D. Naquele, foram mantidos os TIP31C.

Concluindo, temos um amplificador potente, muito bonito, fisicamente grande para a potência que entrega e com boas características técnicas. Um projeto interno mais aprimorado poderia melhorar algumas características elétricas, mas o resultado final é bastante satisfatório.

Nada obstante alguns valores medidos estarem fora das especificações, horas de audição de vários tipos de música a volumes moderados foram bastante satisfatórios, sem fadiga ou cansaço auditivo.

E, como adendo, apenas como curiosidade, vejam a foto do PA1800D em minha bancada e, logo abaixo, uma (que peguei no eBay) do amplificador Nikko Alpha 450, fabricado a partir de 1980, antes, portanto, da Cygnus lançar aquele modelo.

Forte abraço para todos os amigos.



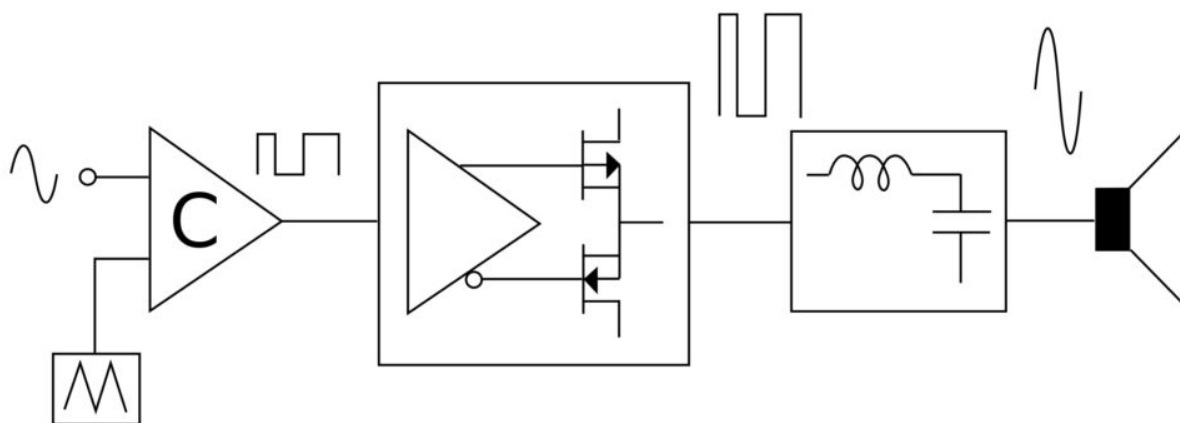


Image by Rohitbd, CC BY-SA 3.0

## **DISTORÇÕES EM MEDIÇÕES DE AMPLIFICADORES CLASSE D – FILTRO AES-17**

Francisco Monteiro\*

É possível projetar um equipamento de diferentes formas, cada qual com suas virtudes e propósitos. A qualidade final resultante de cada técnica é avaliada através de diferentes rotinas de teste, uma delas, e foco desse trabalho, é a THD+N (Distorção Harmônica Total Mais o Ruído de Fundo).

O processo é simples em amplificadores lineares, porém limitações inerentes a muitos dos amplificadores Classe D atuais podem causar interferências nos instrumentos de medição. Uma das soluções para este problema consiste em adicionar um filtro passa baixas passivo ou digital.

Com essa premissa, a Audio Engineering Society desenvolveu um padrão de filtro nomeado AES-17. Este trabalho avalia a influência do filtro AES-17, em medições de THD+N.

### **1. Introdução**

Amplificadores de áudio devem reproduzir o sinal de entrada, em qualquer nível de saída, da forma mais perfeita possível.

Essa é a principal premissa quando falamos em amplificadores. No entanto, algumas técnicas, que buscam maior eficiência, diminuição de custos, peso e tamanho, têm limitado a performance sonora, principalmente quando comparadas a técnicas já consagradas, porém mais pesadas, maiores e caras, como as dos amplificadores em classe AB, por exemplo.

Essa tendência tem se expandido com o aumento da competitividade no mercado de áudio endereçado ao público (PA), por muitos motivos. É muito mais fácil vender produtos ditos “digitais”, mesmo apresentando características sônicas inferiores.

### **2. Princípio de Funcionamento do Amplificador Classe D.**

Basicamente, amplificadores classe D tem como princípio de funcionamento comparar o sinal de entrada (música) a um sinal de onda triangular ou dente de serra de alta frequência. Existem outros tipos de modulação, mas essa é a analisada neste trabalho.

O resultado será um sinal de onda quadrada de frequência igual ao sinal triangular e largura de pulso variável, PWM (Modulação por Largura de Pulso). Esse sinal de onda quadrada contém a informação de áudio mais a informação da modulação que deve ser eliminada, bastando para isso um filtro passivo passa-baixas. A qualidade do sinal na saída do classe D é dependente da frequência da onda triangular, das características do filtro de saída e dos processos de realimentação, se existirem. Em nosso exemplo, o circuito funciona em malha aberta.

**\*Engenheiro Eletricista**

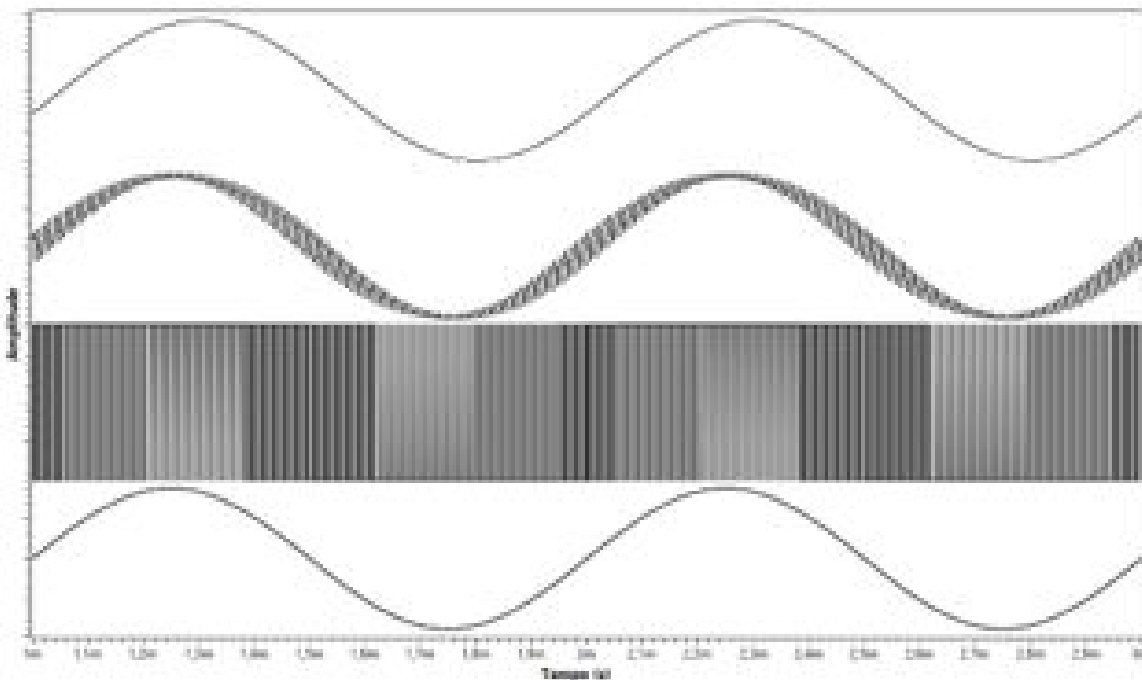
O filtro passa-baixas atenua a informação não musical, porém não a elimina totalmente. Além disso, todo o processo adiciona ao sinal distorções harmônicas de ordem par, ímpar e também por intermodulação, todas não eliminadas pelo filtro.

### 3. O Filtro AES-17.

Todo o conteúdo a partir da frequência da onda triangular para cima não é considerado distorção em amplificadores Classe D. Isso é um tanto estranho, pois no final todo o conteúdo não presente no sinal de entrada é enviado ao transdutor. A explicação do fato se dá pela curva de impedância dos transdutores apresentarem valores muito elevados na região do sinal triangular, então não é possível gerar potência acústica suficiente aos ouvidos humanos, principalmente quando comparada ao nível de pressão acústica do sinal de áudio. Todos esses pontos não são válidos para instrumentos sensíveis de medição, e é aí que entra o filtro AES-17; ele filtra o conteúdo considerado não significativo para que o mesmo não “atrapalhe” os instrumentos de medição.

A **Fig. 2.1**, exemplifica o resultado do sinal em cada estágio de um amplificador Classe D. De baixo para cima respectivamente, encontramos:

- Sinal de entrada, senoide perfeita de 1KHz.
- PWM resultante da comparação do sinal de entrada à onda triangular de 100KHz.
- Resultante pós filtro Butterworth de segunda ordem @ 40KHz.
- Sinal pós filtro AES-17.



**Fig. 2.1** – De baixo para Cima Respectivamente:

- Sinal de Entrada, Senoide Perfeita de 1KHz.
- PWM Resultante da Comparação do Sinal de Entrada à Onda Triangular de 100KHz.
- Resultante Pós Filtro Butterworth de Segunda Ordem @ 40KHz.
- Sinal Pós Filtro AES-17.

A FFT (Transformada Rápida de Fourier) de cada sinal mostra o conteúdo total do sinal no domínio da frequência, **Fig. 2.2; Fig. 2.3; Fig. 2.4; Fig. 2.5**.

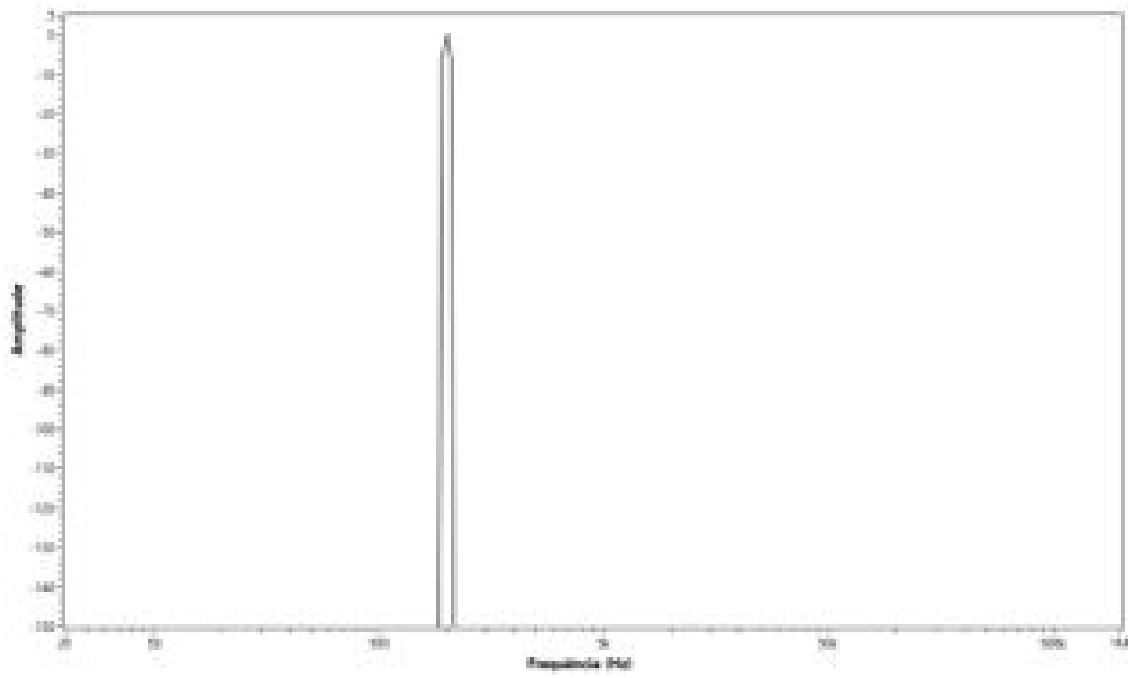


Fig. 2.2 – FFT Sinal de entrada, 1kHz

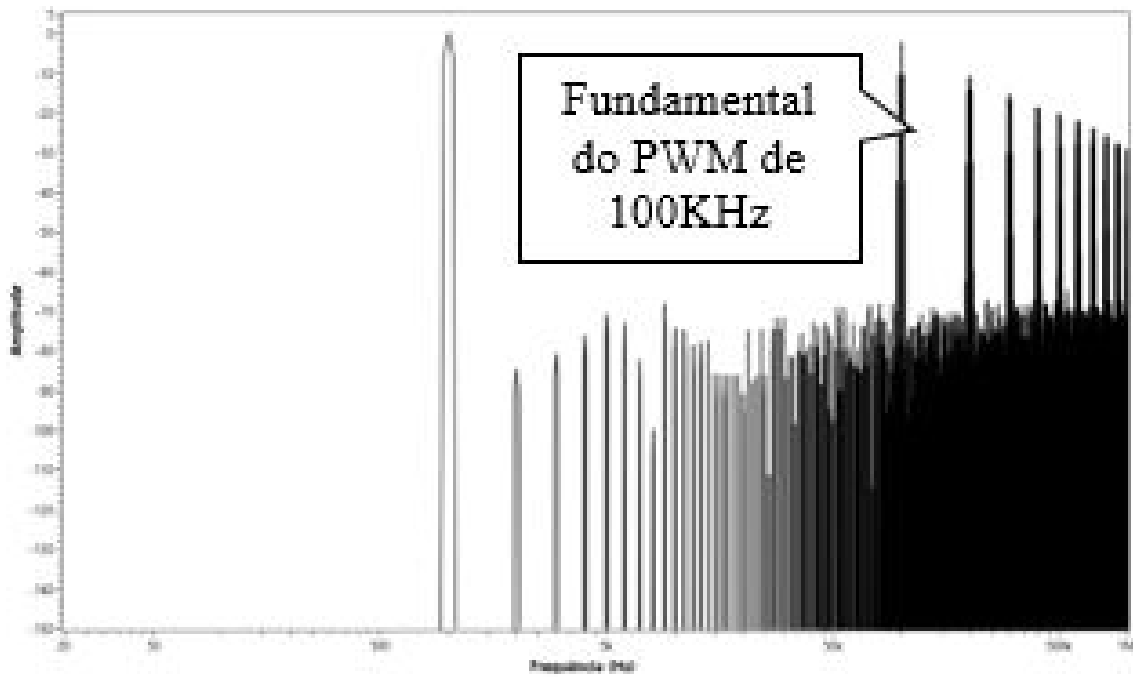
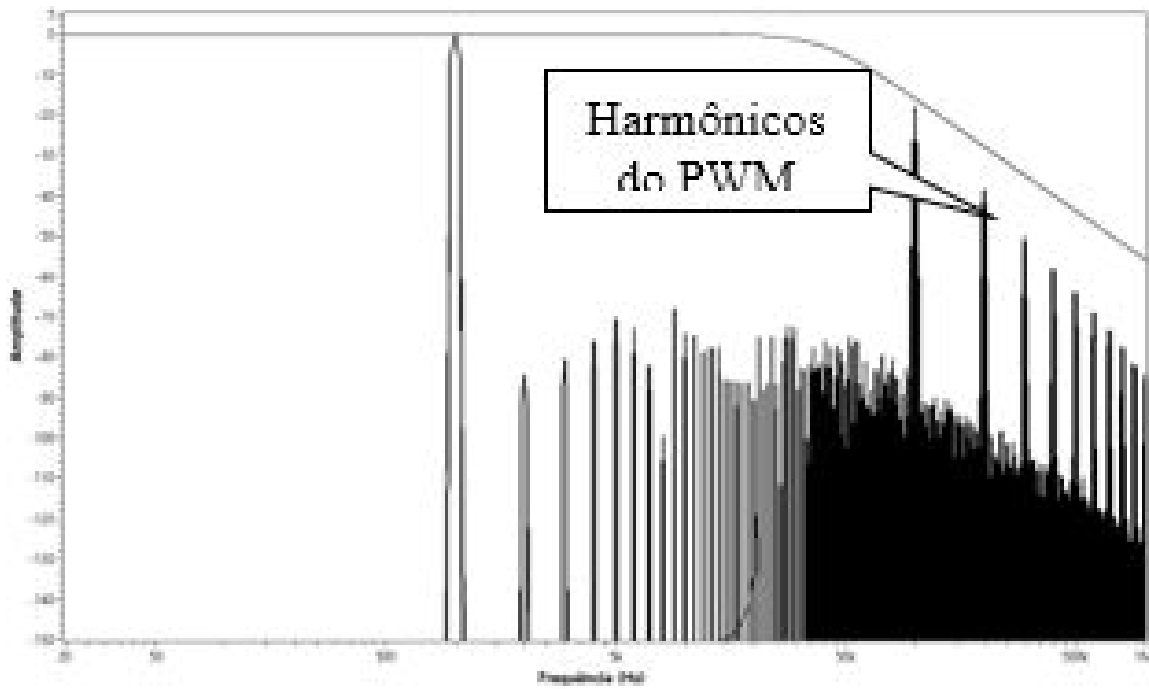
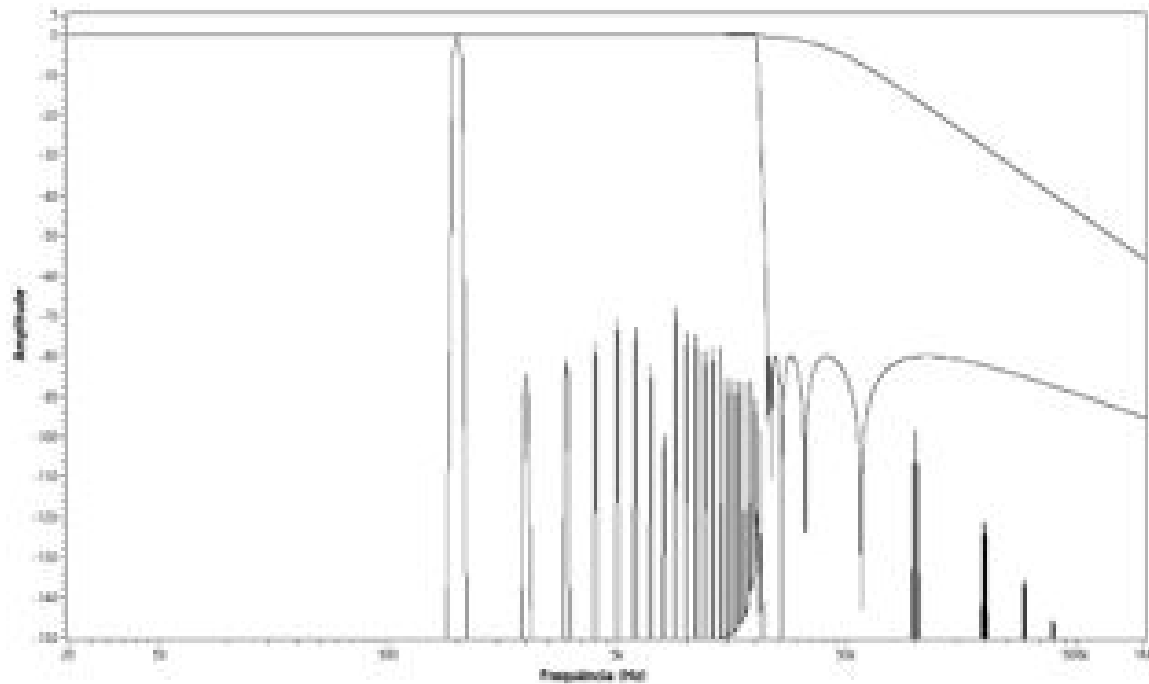


Fig. 2.3 – FFT PWM



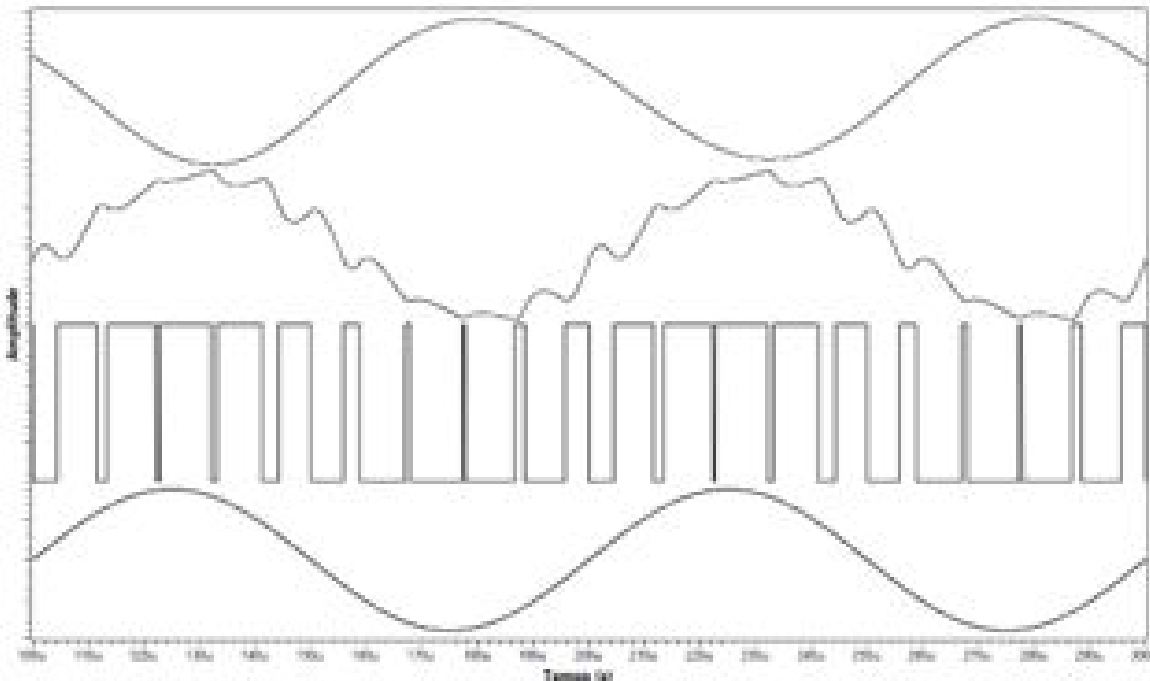


**Fig. 2.4.** – FFT pós filtro passa-baixas passivo Butterworth, segunda ordem @ 40KHz e função de transferência do mesmo.



**Fig. 2.5.** – FFT pós filtro passa-baixas passivo Butterworth, segunda ordem @ 40KHz, pós Filtro AES-17 @ 20KHz e função de transferência de ambos.

Para facilitar a visualização, agora as formas de onda com um sinal senoidal de 10KHz, **Fig. 2.6**.



**Fig. 2.6.** – De baixo para cima, respectivamente:

- Sinal de Entrada, Senoide Perfeita de 10KHz.
- PWM Resultante da Comparação do Sinal de Entrada à Onda Triangular de 100KHz.
- Resultante Pós Filtro Butterworth Segunda Ordem @ 40KHz.
- Sinal Pós Filtro AES-17 @ 20KHz

Uma maneira de elevar a qualidade sonora do amplificador Classe D, é aumentando a frequência do sinal triangular, porém a eficiência final é prejudicada nesse processo.

#### 4. Medindo THD+N.

A faixa de medição do THD+N é a mesma utilizada por muitos analisadores de áudio, compreendida entre 20Hz e 200KHz.

Ao efetuar a medição de THD+N em cada sinal da **Fig. 2.1** e **Fig. 2.6**, temos:

• Entrada	-268,9dB.	-295,9dB.
• PWM	-3,1dB.	-3,1dB.
• Pós Filtro Passivo	-17,0dB.	-16,6dB.
• Pós Filtro AES-17	-63,3dB.	-47,0dB.
THD+N	<b>Fig. 2.1.</b>	<b>Fig. 2.6.</b>

A diferença na THD+N entre os sinais de entrada é grande, porém irrisória devido ao extremo baixo nível.

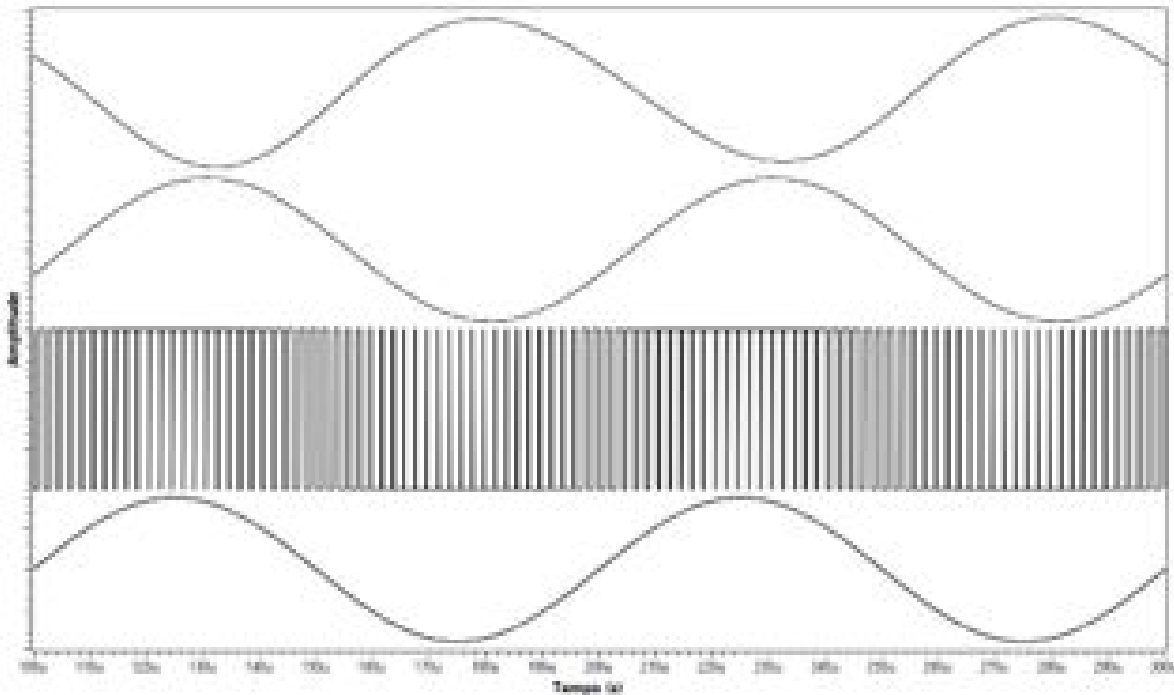
No PWM os níveis são elevados devido à frequência do PWM estar dentro da faixa de análise do instrumento de medição.

A medição pós filtro passivo apresenta valores mais baixos, mas ainda elevados. A atenuação não é suficiente e continua dentro da faixa de análise do instrumento de medição.

O filtro AES-17 @ 20KHz complementa o nível de rejeição suficiente ao equipamento de medição e a curva apresenta aspecto visualmente próximo ao sinal original, porém com uma grande rotação de fase.

## 5. As Não Linearidades.

Até o momento os resultados das medições foram satisfatórios e esperados, principalmente devido a frequência da onda triangular ser baixa, 100KHz. Subindo para 400KHz temos:

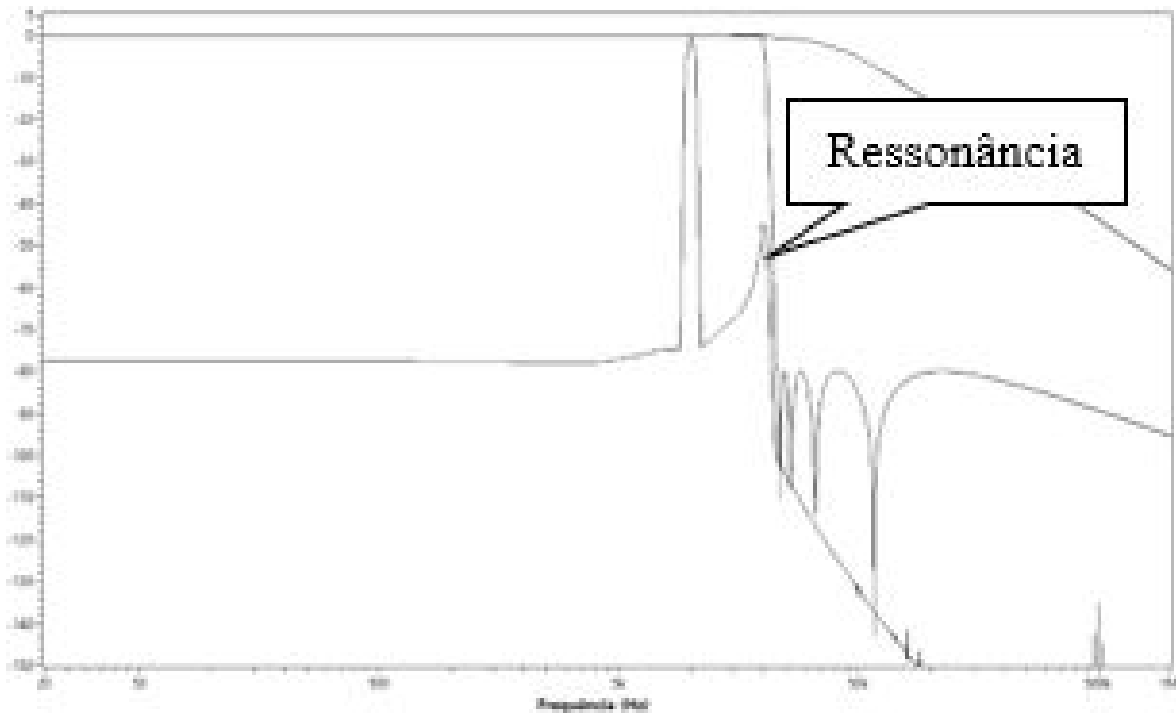


**Fig. 5.1.** De baixo para cima, respectivamente:

- Sinal de Entrada, Senoide Perfeita de 10KHz.
- PWM Resultante da Comparação do Sinal de Entrada à Onda Triangular de 400KHz.
- Resultante Pós Filtro Butterworth Segunda Orden @ 40KHz.
- Sinal Pós Filtro AES-17 @ 20KHz.

• Entrada	-295,9dB.	-295,9dB.
• PWM	-3,1dB.	-43,0dB.
• Pós Filtro Passivo	-16,6dB.	-49,6dB.
• Pós Filtro AES-17	-47,0dB.	-46,5dB.
THD+N	<b>Fig. 2.6.</b>	<b>Fig. 5.1.</b>

A elevação da frequência da onda triangular melhorou a performance do amplificador classe D, o tornou menos ruim, atingindo um nível de THD+N próximo a 0,3%. A frequência do PWM é superior à banda do equipamento de medição de THD+N. Boas medições são, então, possíveis, mesmo aplicadas diretamente ao sinal de PWM. A preocupação está no sinal pós Filtro AES-17 @ 20KHz. O elevado *slope* causou uma ressonância próxima à região de corte (**Fig. 5.2**), ainda dentro da região audível e isso elevou artificialmente o nível de THD+N a um valor não real. Neste caso, seria melhor eliminar o filtro AES-17 nas medições.



**Fig. 5.2.** FFT pós filtro passa-baixas passivo Butterworth, segunda ordem @ 40KHz, pós Filtro AES-17 @ 20KHz e função de transferência de ambos.

As principais distorções encontradas em qualquer amplificadores de áudio são:

**Onda Quadrada:** Acontece quando o nível de entrada é superior ao nominal ou algum circuito de proteção aciona.

**Onda Triangular:** Acontece quando circuitos não possuem velocidade de resposta (Ou Slew Rate) alta suficiente para reprodução do sinal.

Os resultados da adição do filtro AES-17 @ 20KHz em amplificadores que estejam gerando onda quadrada em sua saída serão:

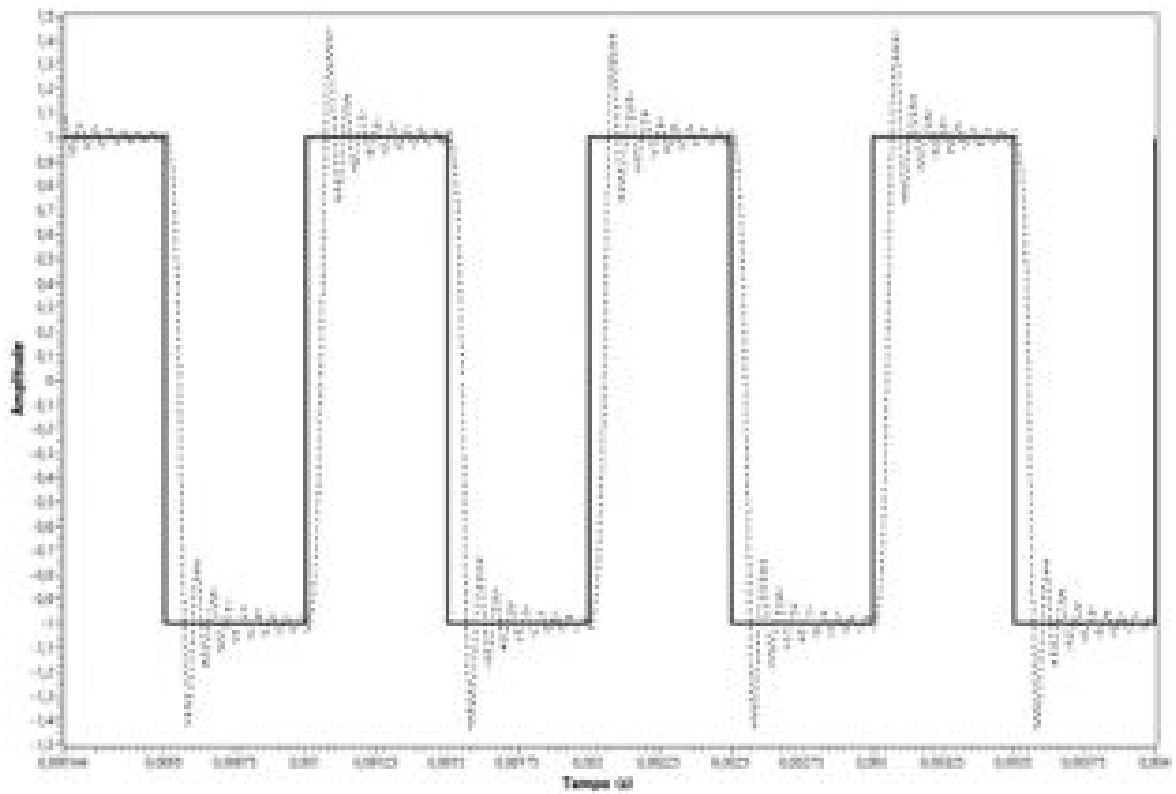


Fig. 5.3. Onda quadrada de 1kHz, pré e pós Filtro AES-17

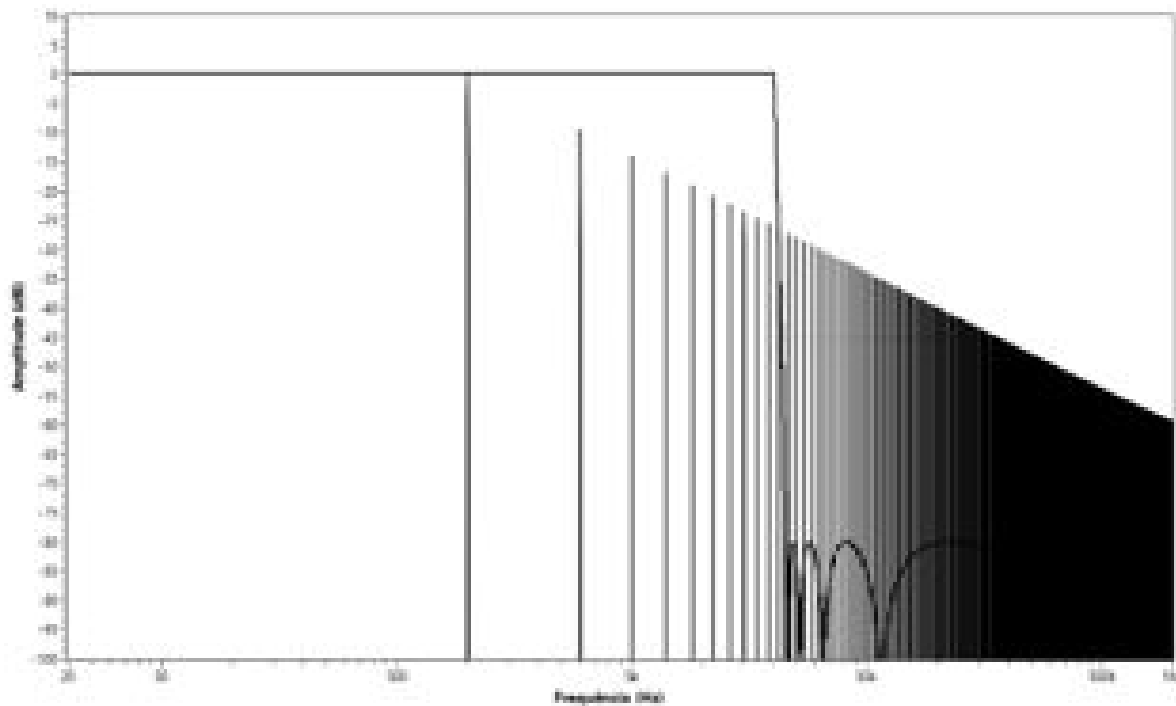


Fig. 5.4. FFT da onda quadrada de 1KHz, pré e pós Filtro AES-17 e função de transferência do

mesmo.

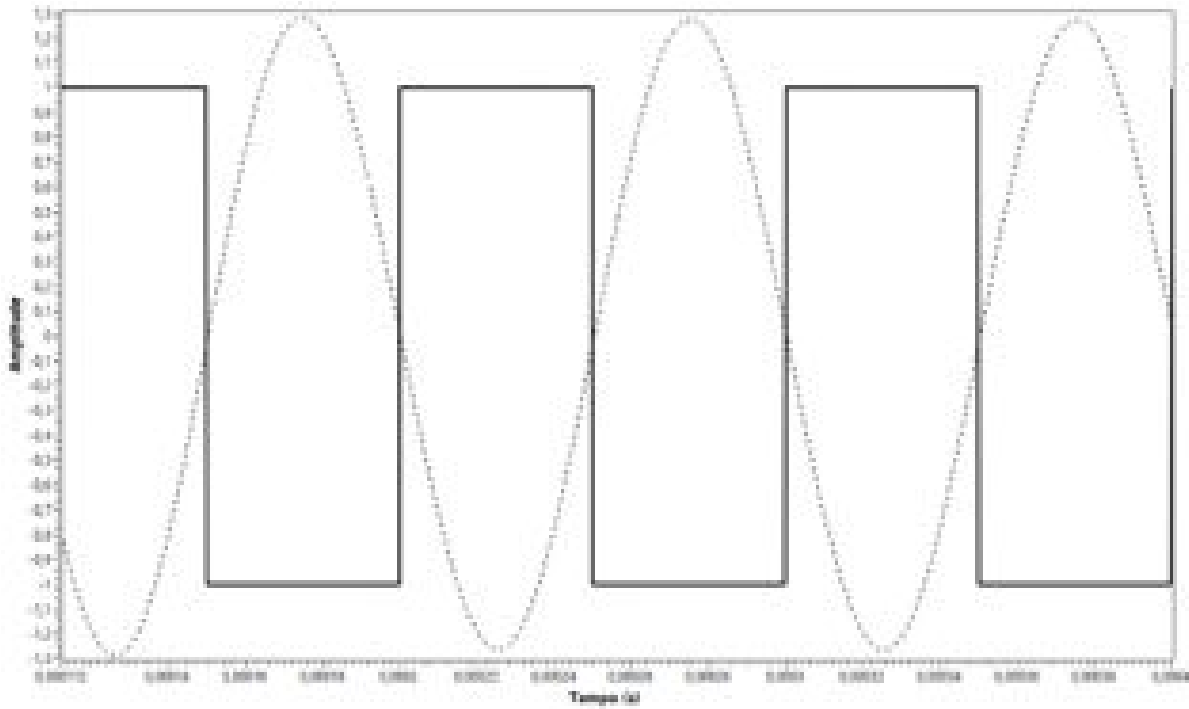


Fig. 5.5. Onda quadrada de 10KHz, pré e pós filtro.

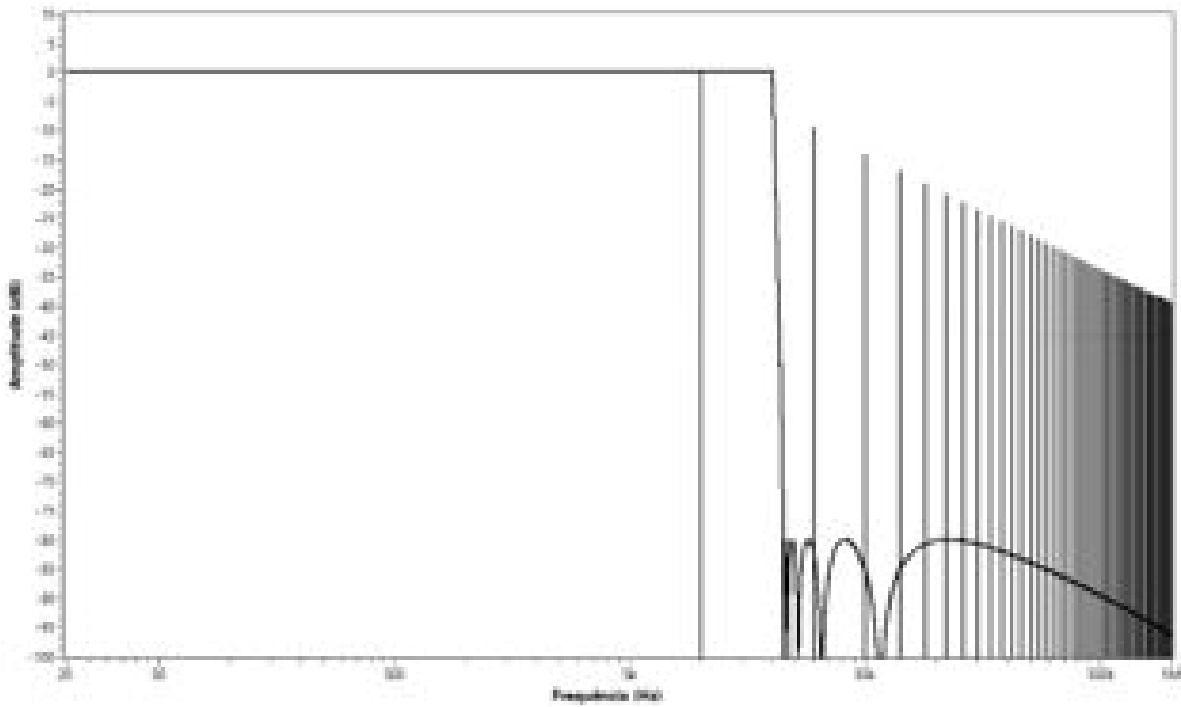
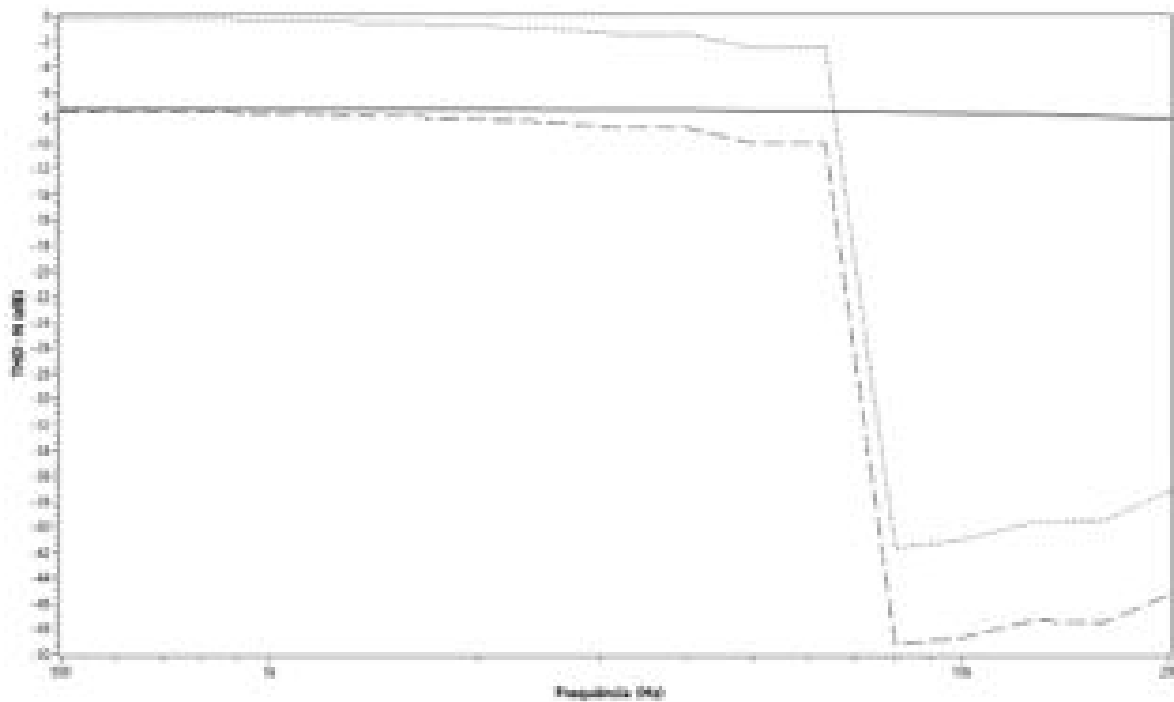
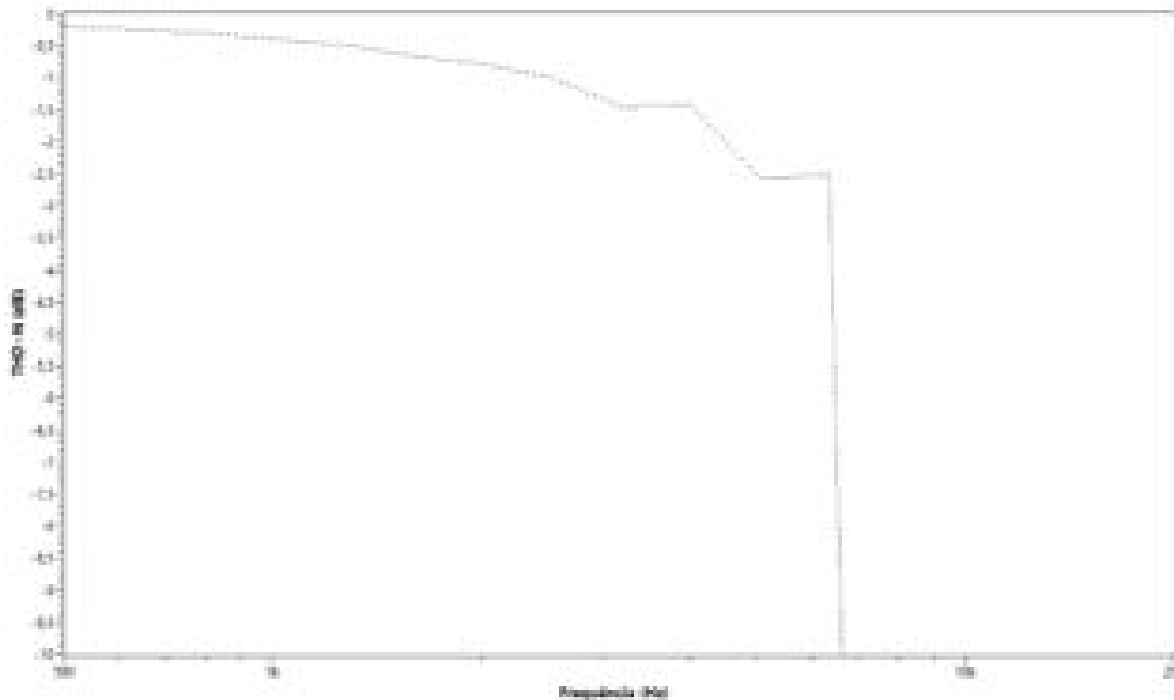


Fig. 5.6. FFT da onda quadrada de 10KHz, pré e pós Filtro AES-17 e função de transferência do mesmo



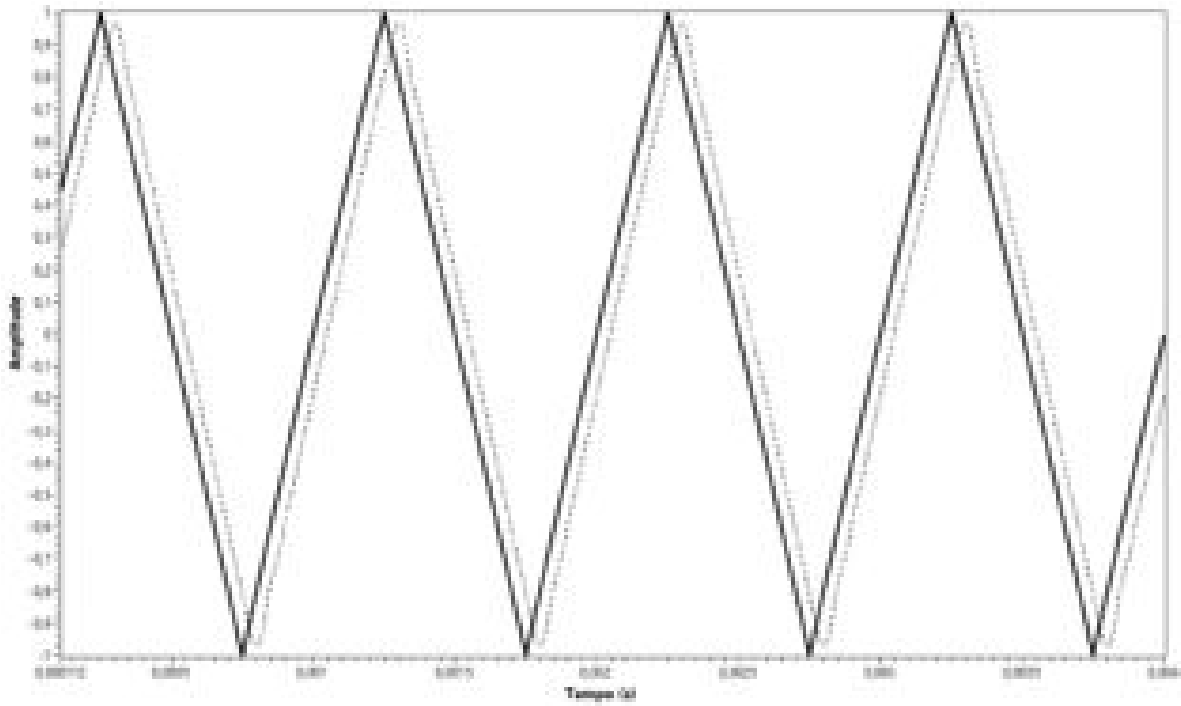
**Fig. 5.7.** THD+N X Frequência Onda Quadrada:

- Grosso – Pré Filtro AES-17.
- Traço – Pós Filtro AES-17.
- Fino – Erro Total.

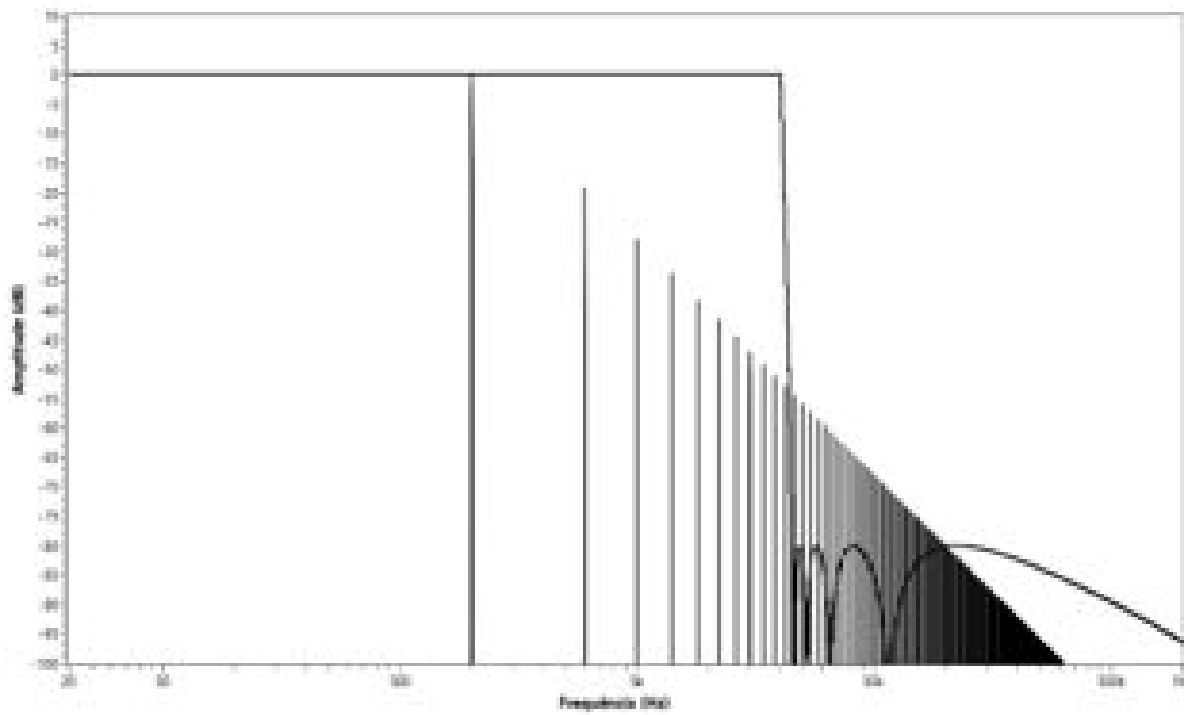


**Fig. 5.8.** Zoom na Curva de Erro Total, Onda Quadrada.

Os resultados da adição do filtro AES-17 @ 20KHz em amplificadores que estejam gerando onda triangular em sua saída serão:



**Fig. 5.9.** Onda Triangular de 1KHz, Pré e Pós Filtro.



**Fig. 5.10.** FFT da Onda Triangular de 1KHz, Pré e Pós Filtro AES-17 e Função de Transferência do mesmo.



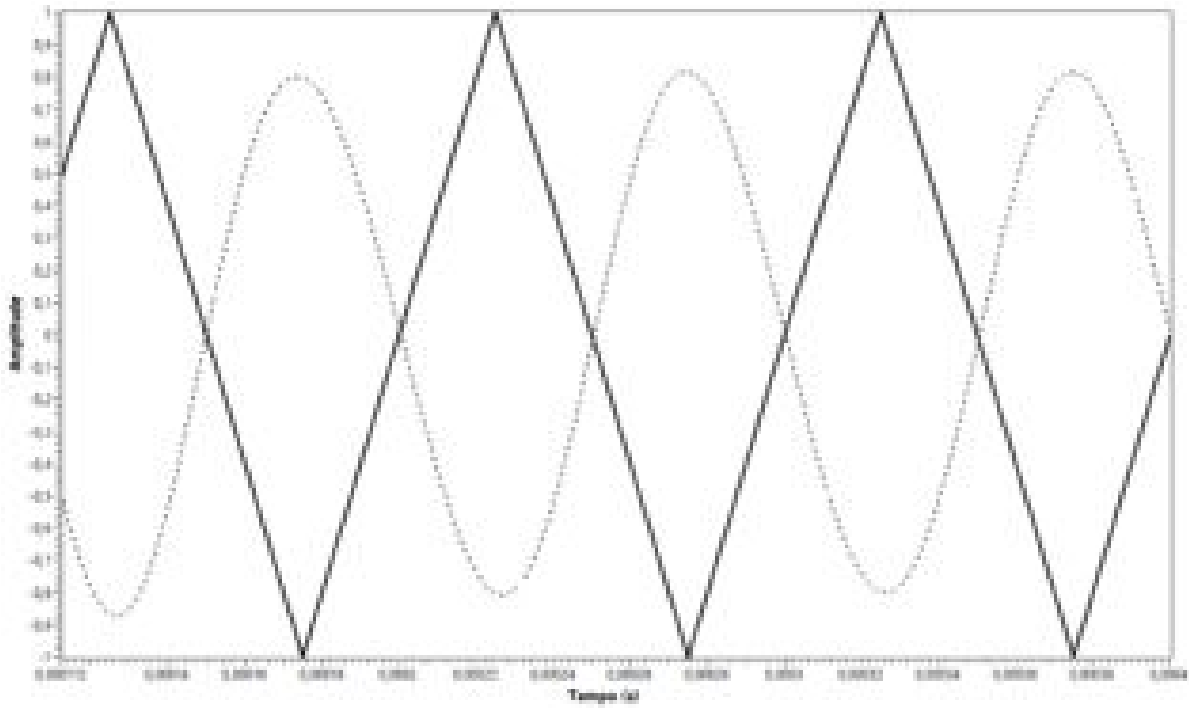


Fig. 5.11. Onda Triangular de 10KHz, Pré e Pós Filtro.

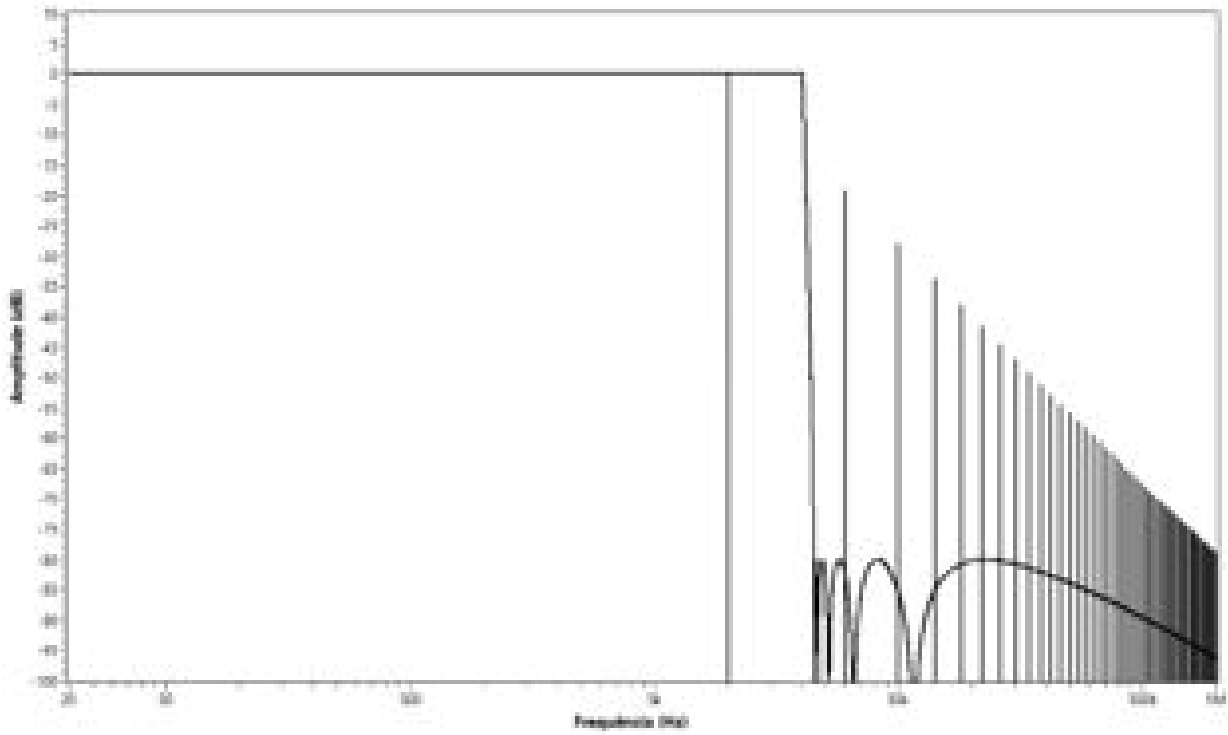
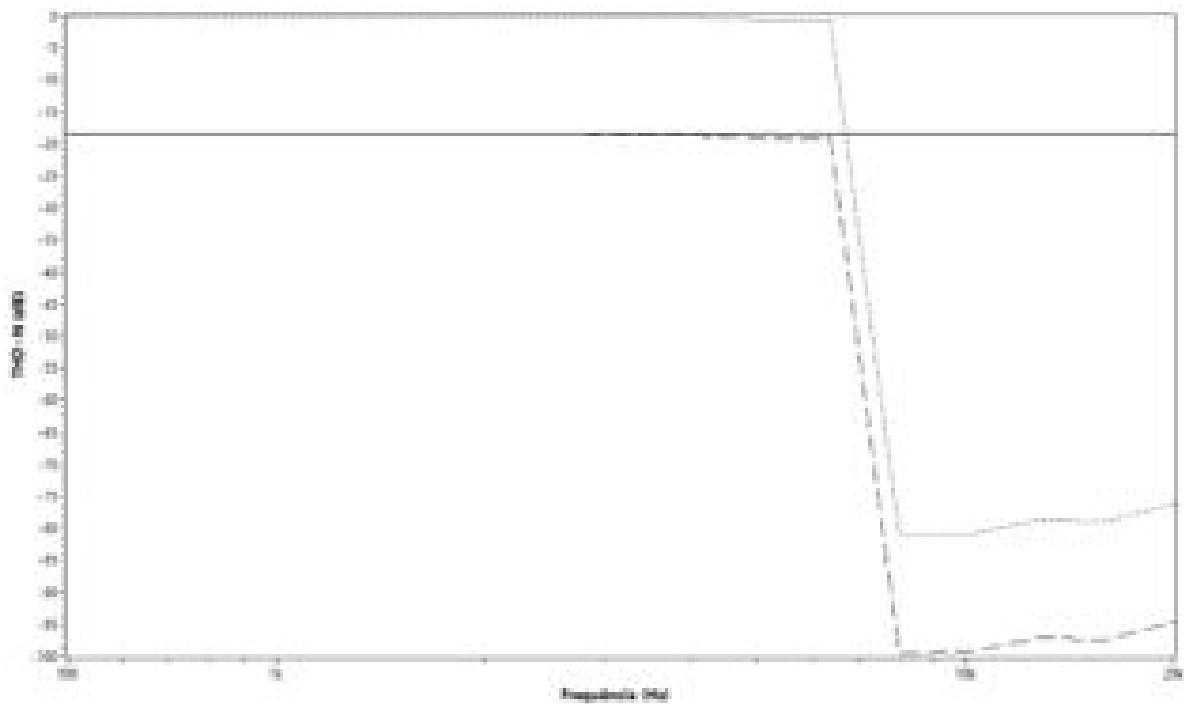
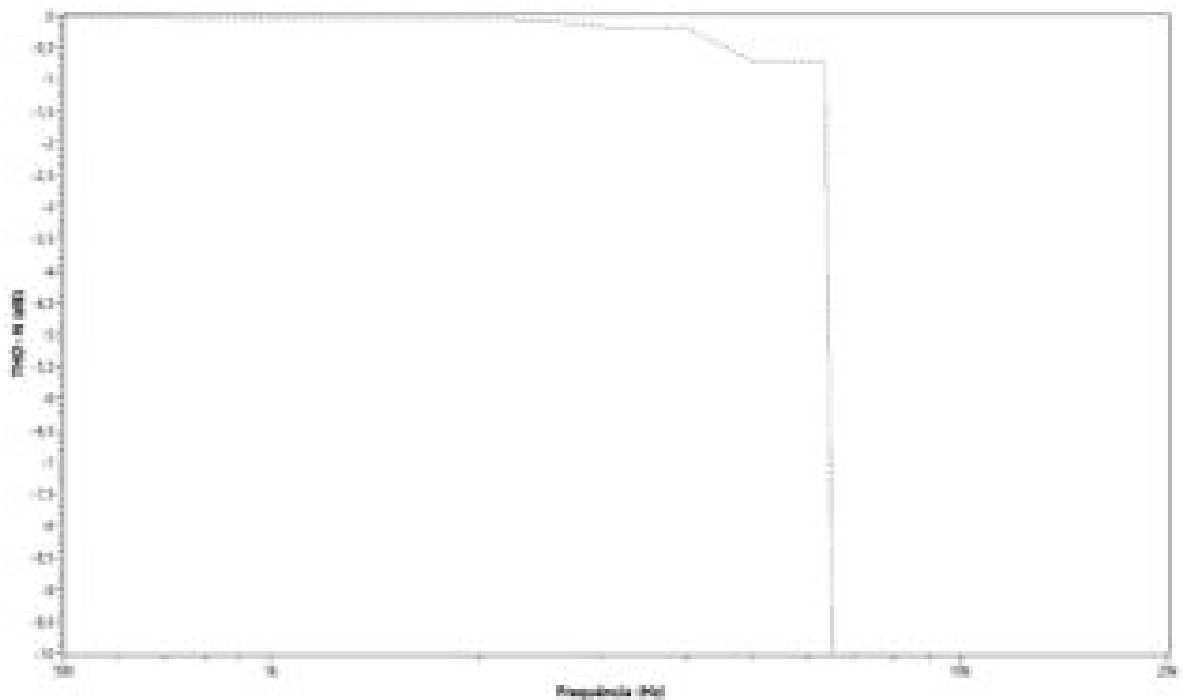


Fig. 5.12. FFT da Onda Triangular de 10KHz, Pré e Pós Filtro AES-17 e Função de Transferência do mesmo.



**Fig. 5.13.** THD+N X Frequência Onda Triangular:

- Grosso – Pré Filtro AES-17.
- Traço – Pós Filtro AES-17.
- Fino – Erro Total.



**Fig.**

**5.14.** Zoom na Curva de Erro Total, Onda Triangular.

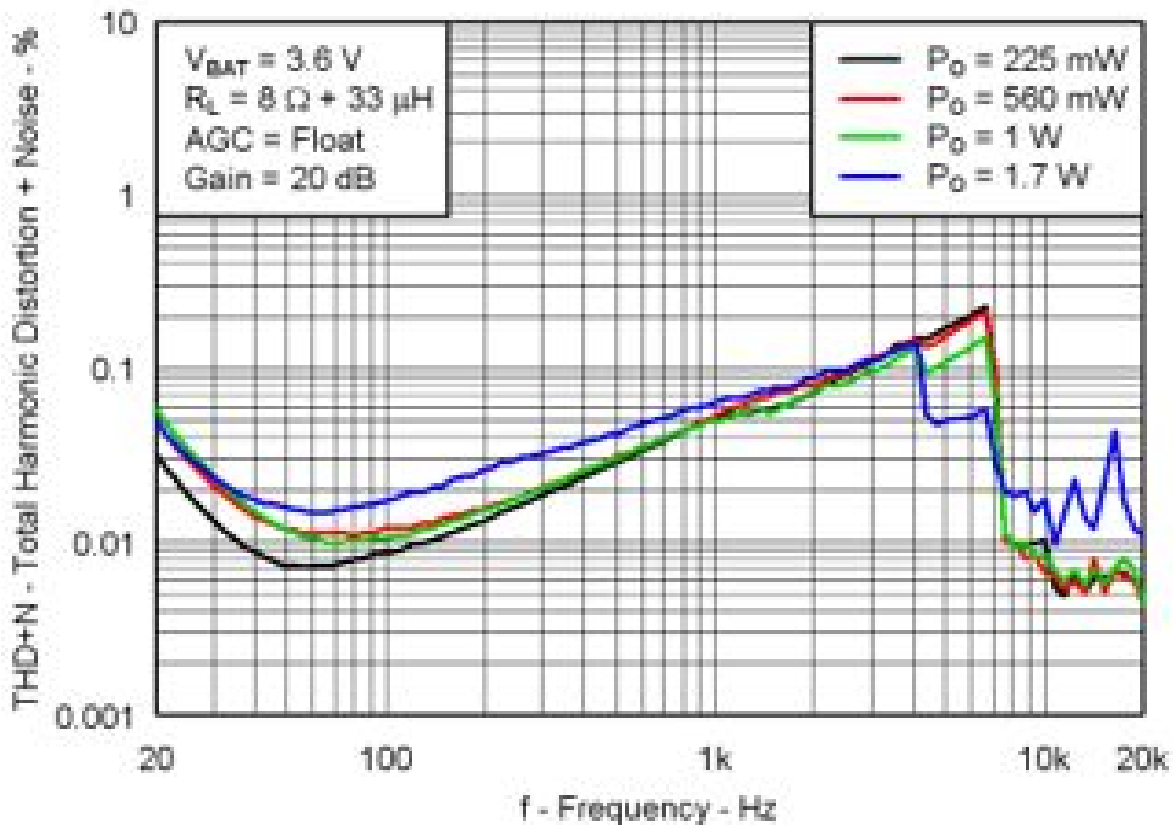
A seqüência de figuras evidencia diversos problemas de medição causados pelo filtro AES-17, tais como:

- Tensão de Pico.
- Tensão RMS.
- Fator de Crista.
- Slew Rate.
- THD e THD X Frequência.
- THD+N e THD+N X Frequência.

Os problemas têm ligação com a eliminação das frequências harmônicas do sinal distorcido, **Fig. 5.4**, **Fig. 5.6**, **Fig. 5.10**, **Fig. 5.12**.

O efeito da ressonância causada pelo filtro AES-17 também é notado na **Fig. 5.7**, **Fig. 5.13**.

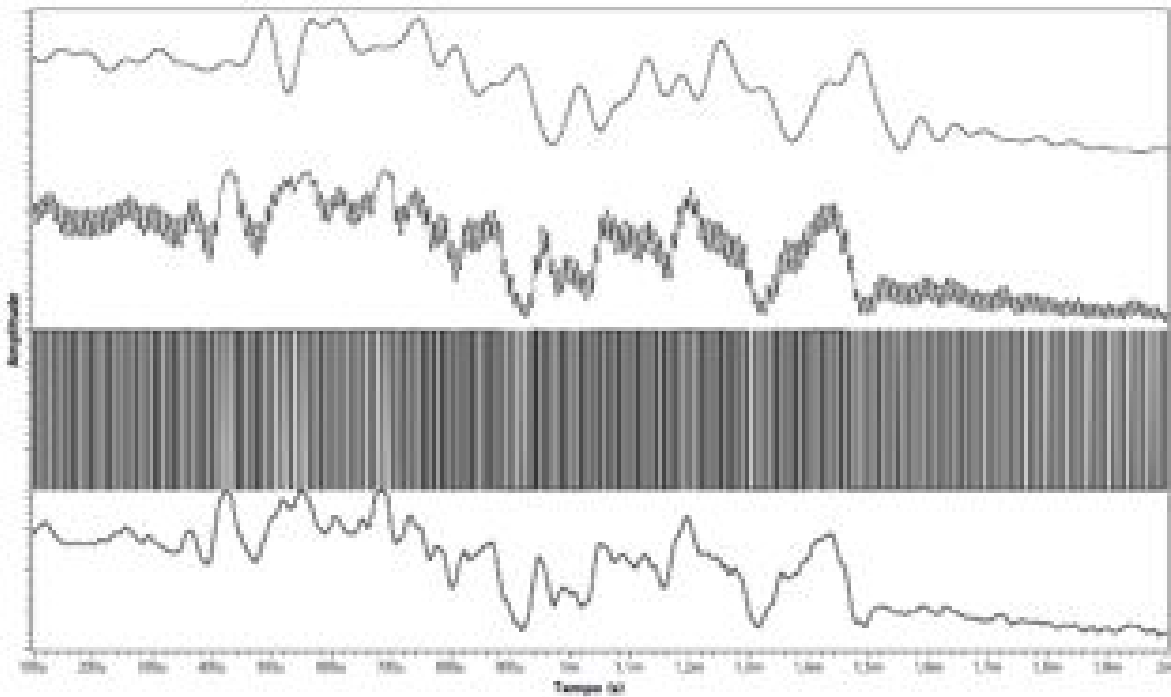
A mesma característica de não linearidade na medição da THD+N X Frequência é encontrada no datasheet do CI amplificador Classe D da Texas Instruments®, **Fig. 5.15**.



**Fig. 5.15.** THD+N de Um CI Classe D da Texas Instrumentes® com filtro AES-17.

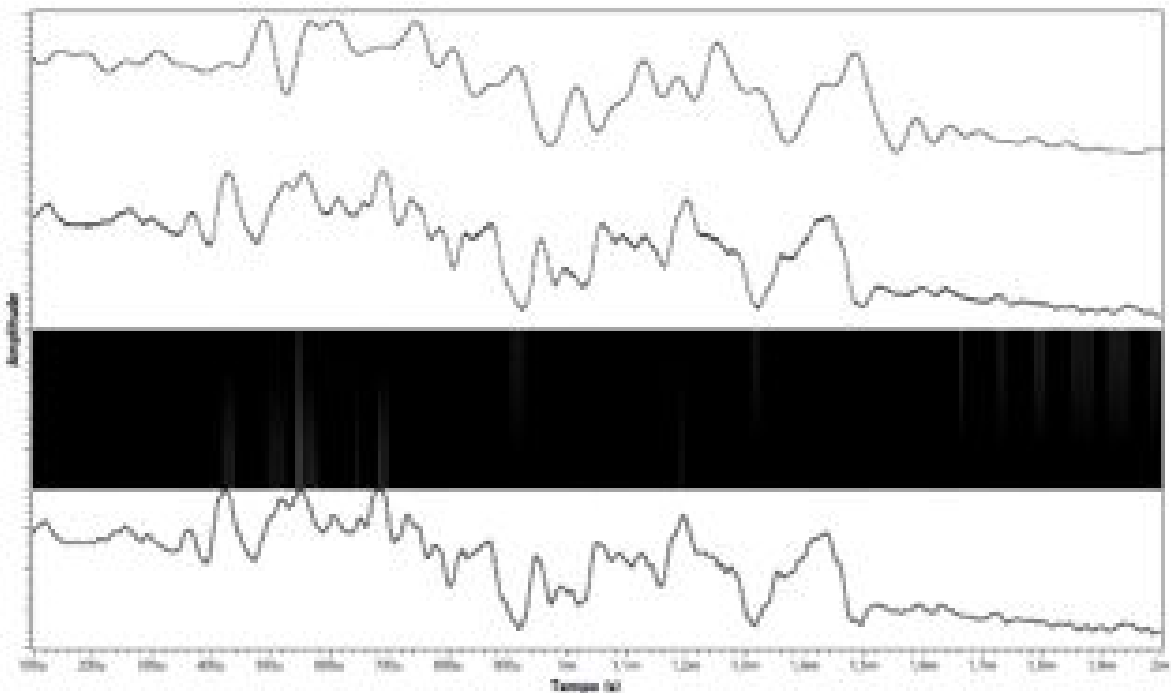
[https://www.ti.com/ods/images/SLOS717B/Fig05\\_Total\\_Harmonic\\_Distortion\\_Plus\\_Noise\\_vs\\_Frequency\\_8ohms\\_los717.png](https://www.ti.com/ods/images/SLOS717B/Fig05_Total_Harmonic_Distortion_Plus_Noise_vs_Frequency_8ohms_los717.png)

A análise da performance por sinais senoidais é importante, pois elucida separadamente cada componente e processo e permite medições precisas. No uso normal, amplificadores reproduzem sinais musicais, para emula-los, utilizou-se um sinal aleatório do tipo Ruído Rosa de 20Hz a 20KHz, **Fig. 5.16** e **Fig. 5.17**.



**Fig. 5.16.** De baixo para cima, respectivamente:

- Sinal de Entrada, Ruído Rosa 20Hz a 20KHz.
- PWM Resultante da Comparação do Sinal de Entrada à Onda Triangular de 100KHz.
- Resultante Pós Filtro But Segunda Orden @ 40KHz.
- Sinal Pós Filtro AES-17 @ 20KHz.



F

**Fig. 5.17.** De baixo para cima, respectivamente:

- Sinal de Entrada, Ruído Rosa 20Hz a 20KHz.
- PWM Resultante da Comparação do Sinal de Entrada à Onda Triangular de 400KHz.
- Resultante Pós Filtro But Segunda Orden @ 40KHz.
- Sinal Pós Filtro AES-17 @ 20KHz.

É fácil notar as limitações e diferenças na performance do amplificador Classe D causadas pela elevação da frequência do sinal triangular. A adição do filtro AES-17, em ambos os casos, resultou em grande perda de informação do sinal original e inseriu distorções severas.

## **6. Conclusão.**

Compreender os princípios técnicos que envolvem qualquer tipo de medição, não simplesmente “pilotar” softwares ou equipamentos, são práticas vitais a qualquer bom profissional. As medições apresentam erros positivos ou negativos todas as vezes que métodos e conceito são generalizados. O filtro AES-17 insere gradativamente erros nas medições, em frequências maiores ao corte do filtro AES-17 / 20.

Não existe obrigatoriedade na utilização do filtro AES-17 na medição de qualquer amplificador Classe D, mas hoje são ainda fortemente recomendados devido às grandes limitações ainda presentes nos produtos atuais de mercado.

Em um futuro próximo, será fácil atingir frequências do PWM de pelo menos 1MHz, a partir daí amplificadores Classe D poderão talvez apresentar performance próxima a de um bom Classe AB, por exemplo. Também, devido à alta frequência do PWM, menor pode ser a necessidade de se utilizar o filtro AES-17 e também as interferências aos equipamentos de medição.

Para garantir resultados fidedignos com erros abaixo de 1dB, é prudente considerar valores precisos somente em sinais abaixo de 1KHz.

Esses pontos levantados não significam que o filtro AES-17 não seja adequado, são um guia do que devemos esperar e considerar nos resultados dos testes quando o mesmo é inserido.

# UMA PEQUENA HISTÓRIA, NÃO OFICIAL, DO COMEÇO DA GRADIENTE

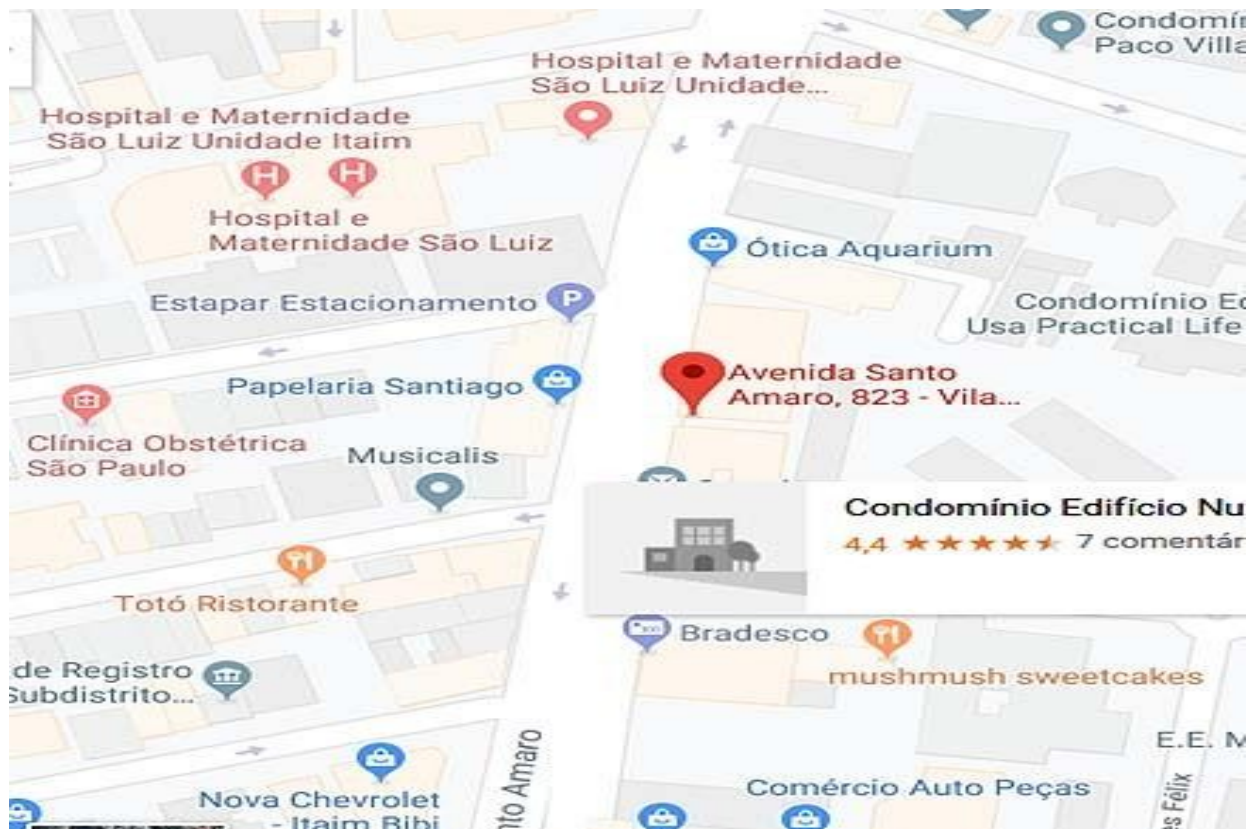
Marcelo Yared\*

Quem tem mais que trinta anos de idade com certeza conhece a marca Gradiente. Originada na década de sessenta do século passado, a empresa detentora da marca ainda hoje atua no mercado. Seu histórico simplificado pode ser visto [aqui](#).

A Gradiente cresceu muito na década de setenta e tornou-se líder em vários segmentos da eletrônica nacional durante esse período e boa parte da década de oitenta. A partir do começo deste século passou por dificuldades mas resistiu às mudanças no mercado e continua ativa, oferecendo produtos eletroeletrônicos e operando na Zona Franca de Manaus. Na década de sessenta, fabricava equipamentos de som, incluindo amplificadores e caixas acústicas, além de sintonizadores.

Tinha representantes comerciais e revendedores e, de um deles, Alberto Gonçalves da Silva Netto, recebemos o relato que transcrevemos abaixo. O Sr. Alberto conheceu os responsáveis pela empresa em seu início e nos disponibilizou fotos e imagens de sua autoria.

“A história da Gradiente que circula pela Internet não esta 100% correta e completa. Para mim, que negocie com ela desde seu início, 1964, ela começou na Avenida Santo Amaro, 823, loja 12, numa galeria, na esquina com a Rua Domingos Fernandes na Vila Nova Conceição, SP, onde eu tinha minha firma – Acoustic Comércio e Assessoria de Som e Imagem – que revendia produtos dela e da Inbelsa (Philips), e fabricava aparelhos para sonorização de ambientes, igrejas, estações de rádio e tv, dentre outros.



Localização

\*Engenheiro Eletricista



Av. Santo Amaro, 823

“Seus donos eram o Nelson Sampaio Bastos, os irmãos Luis Carlos e Luis Paulo, donos de um banco em cuja residência, no sótão, na Rua Argentina, nos fundos do Clube Harmonia, eram feitos os testes dos aparelhos inspirados nos McIntosh, Marantz, JBL entre outros, os melhores do mundo na época, e o Salvatore.”



“Um pouco mais tarde ela se mudou para a Rua Turiassú, 1.371 quando eu já tinha saído do ramo de áudio e começado a trabalhar no de telecomunicações. Fui lá algumas vezes.

O Eugenio Staub não foi seu fundador como falam todos os sites. Seu pai era dono da Staub Rádio e Televisão na Avenida João Dias, no bairro de Santo Amaro, que fabricava televisores, rádios e aparelhos de som montados em grandes móveis de decoração. Ele veio a comprar a Gradiente alguns anos depois.”

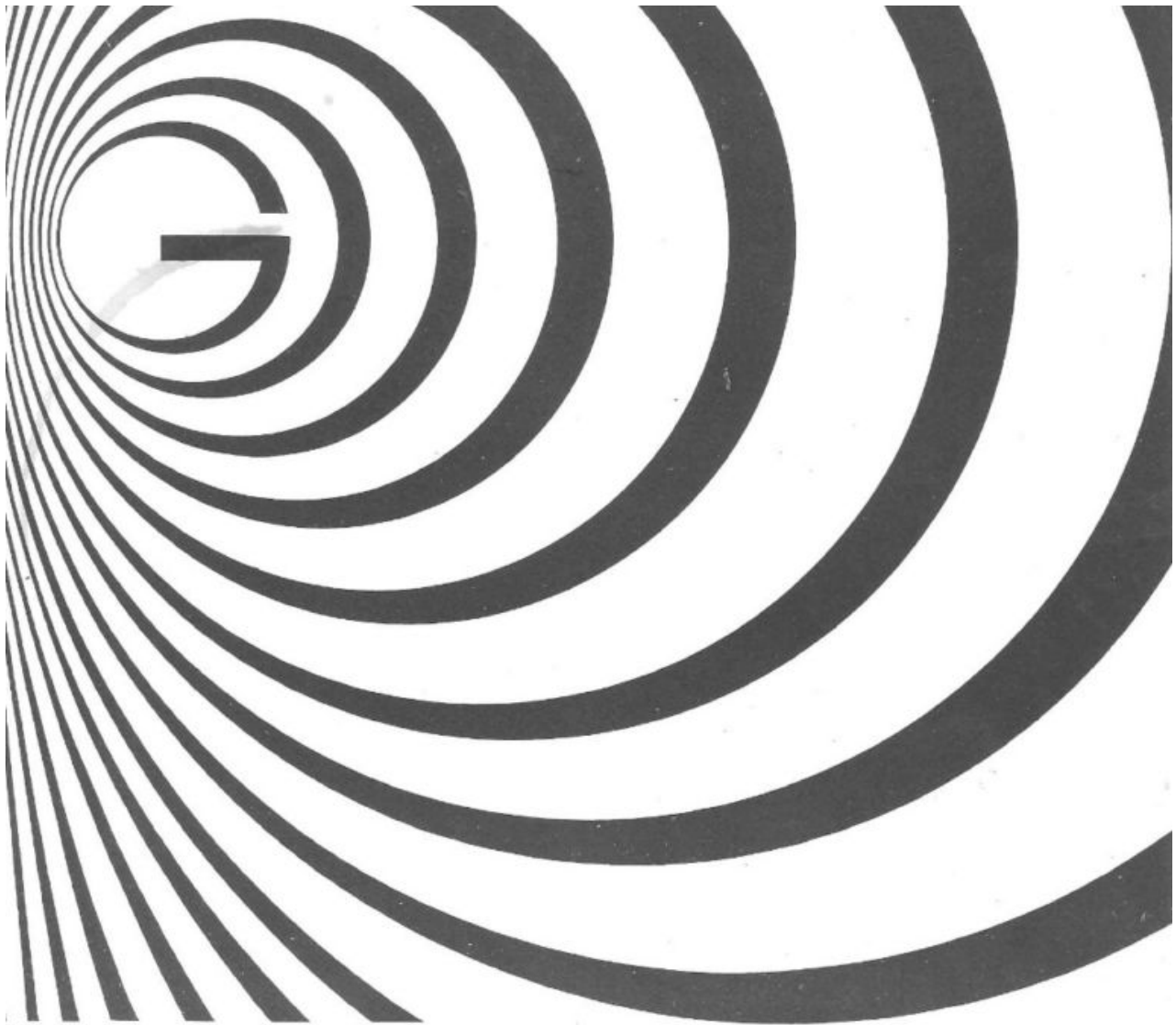
Os equipamentos da Gradiente, na época, apresentavam desenho industrial sóbrio e boas características elétricas. O Sr. Alberto produzia móveis e fazia integração de equipamentos da empresa, montando conjuntos bastante bonitos e sofisticados, para a época.



# ACOUSTIC NORDISCHE LINE



Desde sua fundação, a Gradiante também fabricava equipamentos para sonorização e profissionais. Em seu apogeu apresentava grande diversificação e exportava, além de ter atuação direta fora do país.



# gradiente

A MAIS COMPLETA LINHA DE EQUIPAMENTO DE SOM TRANSISTORIZADO FABRICADA NO BRASIL

BOM SOM TEM MARCA  
BOM SOM É

**gradiente**

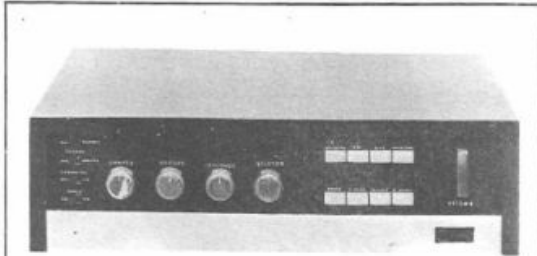


- Amplificadores estereofônicos
- Sintonizadores e receptores de FM
- Caixas acústicas
- Equipamento profissional de audio
- Conjuntos estereofônicos completos

INDÚSTRIA E COMÉRCIO DE PRODUTOS ELETRÔNICOS  
A pioneira na fabricação de amplificadores transistorizados no Brasil

AVENIDA SANTO AMARO, 823 - LOJA 12 - TELEFONE 80-0182 - SÃO PAULO

# Seleção rigorosa de componentes eletrônicos garante a qualidade de conjuntos de alta fidelidade

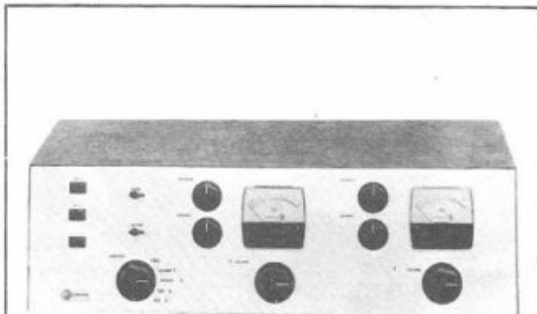


**ST-120** — Incorpora os últimos aperfeiçoamentos de técnica de semicondutores. Construído inteiramente com transistores de silício, possui fonte regulada para o pré-amplificador e proteção automática contra curto-circuitos. Apresentando controles de volume, graves, agudas, balanço, seletor de saída, filtros de alta frequência, compensação de audibilidade, fase, monitor e 41 semicondutores, é provavelmente o mais requintado amplificador estereofônico de alta fidelidade produzido no Brasil. Seus 120 watts (IHFM "standard") proporcionam reserva de potência mesmo para os mais ineficientes sistemas acústicos.

**ST-50** — Apresenta as mesmas características do ST-120, exceto na potência de saída, que é de 50 watts. Construído para oferecer a mesma flexibilidade de controles, incluindo a entrada para cabeça de gravador, é indicado para os usos em que a reserva de potência do ST-120 não seja necessária.



**Stereo Compact** — Sistema estereofônico completo, inclui amplificador ST-20 (com possibilidade de colocação de um sintonizador de FM), toca-discos importado de alta qualidade, com cápsula magnética e 2 caixas acústicas Mini Oito. Móvel em jacarandá; tampo em acrílico translúcido cinza.



**Equipamento profissional** — Projetado e construído em função das rigorosas especificações exigidas pelo uso profissional. Consolos de som, amplificadores de potência e misturadores modulares ("mixers") de alta qualidade, com grande banda passante, excelente resposta de frequência e relação sinal-ruído. Máxima confiabilidade e fácil manutenção fazem deste equipamento o mais indicado para teatros, "boites" e estúdios de gravação.



**PA-40** — Amplificador para uso profissional, em difusão de som. Dispõe de misturador de entradas com 4 canais, cada um comportando um microfone, uma cápsula de cristal ou sinal de linha. Controles de volume, graves, agudas e filtro para voz, com o fim de diminuir os problemas de realimentação acústica. O misturador é modular, proporcionando grande facilidade de manutenção. Tem 40 watts de potência senoidal contínua (RMS), com proteção automática contra curto-circuito. Saída de pré para gravador e para mais 2 amplificadores ser-vos. Também pode ser fornecido com 2 canais de 40 watts cada (modelo PA-80).

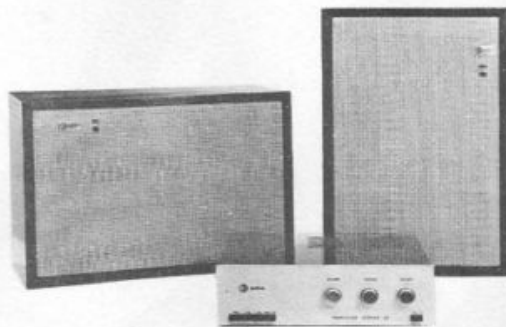
O homem moderno habituou-se a exigir muito dos aparelhos que adquire, mesmo daqueles destinados a amenizar sua vida, como é o caso dos equipamentos sonoros de alta fidelidade e estereofônicos. Essa exigência tem obrigado tanto fabricantes de discos como de equipamentos especializados a aprimorar seus produtos, através da importação de componentes de alta qualidade e contratação de "know-how" altamente credenciado.

Atualmente, poucas são as firmas com possibilidade de colocar, à disposição do mercado, produtos no nível de qualidade necessário, que exigem alto investimento em equipamentos, técnicos e, principalmente, na seleção rigorosa de componentes. A Gradiente Indústria e Comércio de Produtos Eletrônicos é uma delas.

Fundada em fins de 1964, tendo como finalidade a fabricação de uma linha completa de equipamentos de



**ST-36** — Amplificador estereofônico integrado "todo-transistor", de 36 watts de potência. Contrôles autônomos de graves, agudos e volume, um por canal, com seleção de entradas por teclas, acomodando toca-discos, FM e gravador. Sua saída para gravador permite a realização de gravações diretas, de discos ou FM. Com distorção muito baixa, associada às outras características de alta fidelidade, apresenta excelentes condições de qualidade e durabilidade. O ST-36 e o ST-20 podem também ser adquiridos em versão monoaural, de alta fidelidade, modelos MT-10 e MT-18.



ST-36, acompanhado de 2 caixas acústicas Mini Oito. As caixas acústicas Gradiente são executadas em diversos modelos, com sistema acústico exclusivo. Acabamento em jacarandá da Bahia.



**ST-20** — Amplificador estereofônico integrado (com amplificador de potência e pré-amplificador), "todo-transistor", de 20 watts de potência, com entradas para toca-discos (cápsula magnética ou cerâmica) e FM, além de entradas e saídas para gravador. Contrôles de volume, graves, agudos e seletor de entradas. Extremamente compacto, não necessita de ventilação podendo ser embutido em qualquer móvel.



**FM-5** — Sintonizador de frequência modulada de grande sensibilidade. Incorpora um efetivo "Contrôle Automático de Frequência" (AFC), que impede as variações de sintonia, tão comuns em aparelhos a válvula. Pode ser também fornecido com demodulador de Multiplex, ou no modelo FMR-10, com amplificador de 10 watts de potência e com controles de volume, graves e agudos.

"áudio", alta fidelidade e estereofonia, empregando exclusivamente transistores, a Gradiente lançou, em dezembro de 1964, seu primeiro amplificador. Tratava-se de empreendimento pioneiro, pois este campo era até então inexplorado no Brasil. O primeiro amplificador, "todo-transistor", o ST-30, permaneceu único em seu gênero até meados de 1966, quando apareceram os primeiros similares no mercado.

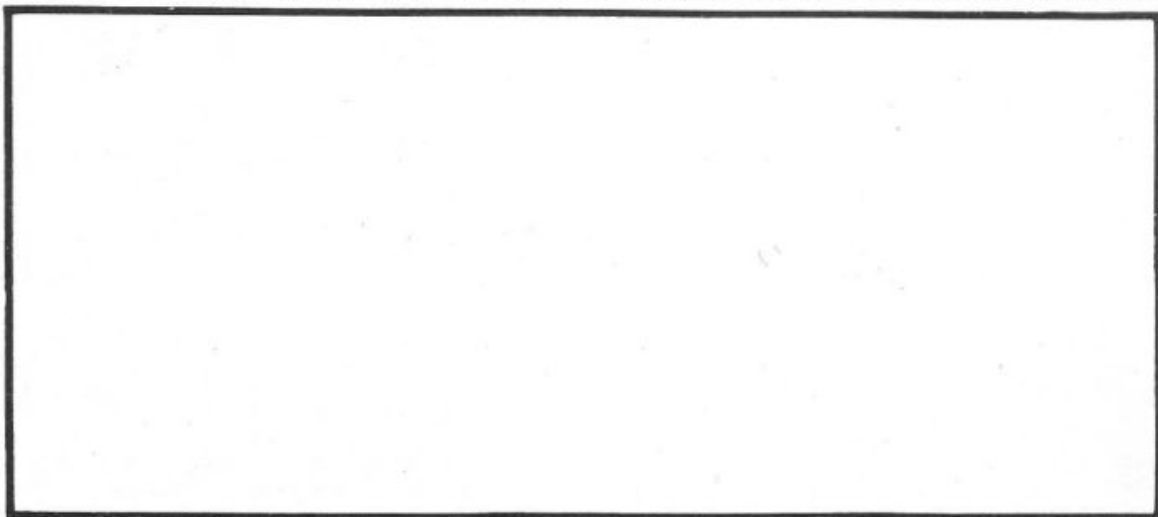
Desde então manteve a Gradiente esta liderança, lançando o primeiro sintonizador de FM "todo-transistor", o primeiro amplificador de alta potência, o primeiro amplificador a utilizar exclusivamente transistores de silício e a primeira linha de equipamento profissional "todo-transistor". Graças às novas técnicas desenvolvidas, apresenta produtos com o mesmo padrão uniforme de qualidade das melhores marcas estrangeiras.

Para esclarecimentos sôbre as características técnicas dêstes e de outros  
produtos GRADIENTE  
solicite folhetos específicos à fábrica.



**Bom som tem marca...  
bom som é GRADIENTE  
Componentes de  
alta qualidade**

TODOS OS PRODUTOS GRADIENTE TÊM SEIS MÊSES DE GARANTIA E ASSISTÊNCIA TÉCNICA PERMANENTE



**IMPORTANTE** - A garantia só é válida, para qualquer defeito ou reparação, se o canhoto deste talão for devidamente preenchido e devolvido à fábrica dentro de dez dias da data da compra.  
Os pedidos de conserto em garantia só serão atendidos quando acompanhados deste certificado.

COMPRADOR	TIPO ST-30	N.º 5003
NOME _____		
ENDEREÇO _____		
DATA DE VENDA _____		
ACQUSTIC, INDÚSTRIA, COMÉRCIO E ASSESSORIA DE SOM E IMAGEM LTDA. Revendedor _____		

**GARANTIMOS** ao comprador deste aparelho **GRADIENTE**, o bom funcionamento do mesmo, em condições normais de trabalho, pelo prazo de 6 meses, a partir da data de compra.

**GARANTIA TOTAL** - Garantimos ao proprietário deste, o reparo livre de custo, de qualquer parte do aparelho, dentro do prazo de garantia.

Caso o aparelho seja aberto para consertos, modificações ou qualquer outro motivo, fora de nossos laboratórios, cessa nossa responsabilidade e, o presente termo de garantia perde inteiramente o seu valor.

A garantia não abrange desgastes normais ou defeitos provenientes de maltrato ou negligência no uso do aparelho, tais como quedas, ligações erradas, e curto circuito.

O acabamento externo não está coberto pela presente. Para fazer válida esta garantia, o aparelho deve ser entregue em nossa Fábrica diretamente, ou através dos nossos revendedores autorizados.

Certificado de Garantia fornecido com os primeiros equipamentos fabricados pela Gradiente.

## GRADIENTE ST-30 TODO TRANSISTOR

### AMPLIFICADOR ESTÉREOFÔNICO DE ALTA FIDELIDADE



#### ESPECIFICAÇÕES

<p>Entradas: estéreo para cápsula magnética ou relutância variável, FM e Aux. Saídas: estéreo para gravador (não afetadas pelos controles, 0,5 volt de sinal) e alto-falantes. Controles: volume, graves, agudos, um por canal, independentes e concêntricos. Ação dos controles de tonalidade: de mais 12 db a menos 12 db ambos. Distorção Harmônica: 0,7% DHT a 1.000 ciclos em 15 watts. Barulho e zumbido: fono-47 db, FM e Aux-55 db. Distorção de intermodulação: menor de 1% Impedância de entrada: fono 47K, FM e Aux 330K ohms</p>	<p>Sensibilidade: fono 7mv, FM e Aux 0,5 volt para 15 watts. Potência de saída senoidal contínua: 16 watts por canal no corte, a 0,7% DHT. Potência de saída musical: 22 watts por canal (IHFM music power rating). Resposta de frequência: 20 a 20.000 ciclos, mais ou menos 1 db. Impedância de saída: 4 a 16 ohms, 8 ohms recomendada para potência máxima. Fator de amortecimento: 65 (damping factor) Consumo: 60 watts. Tamanho: 30 x 29 x 8,5 cms. Peso: 5.500 g. Acabamento: cinza fosco e alumínio escovado.</p>
--	---



IND. COM. DE PRODUTOS ELETRÔNICOS Avenida Santo Amaro, 823 - Loja 12 - Telefone: 80-0182 - São Paulo

Primeiro amplificador fabricado pela empresa

Uma atualização desse amplificador foi o modelo ST36 e posteriormente o ST36s, que já foi reformado e analisado por nós. Em breve publicaremos algumas fotos e medidas efetuadas nele em um artigo específico na seção da Revista do Som. Fiquem de olho.

# TELECOMUNICAÇÕES

Todos os que estudaram engenharia elétrica ou física em nível superior tiveram contato com **AS EQUAÇÕES DE MAXWELL**

A matemática envolvida nas equações é bastante complexa e deve ter sido motivo de dores de cabeça e desencorajamento para seguir no estudo do eletromagnetismo por parte de muitos interessados.

Essas equações, junto com a Equação de Schrödinger, constituem pilares do entendimento do eletromagnetismo e da eletrônica. Custaram muito suor e sacrifício para cientistas e engenheiros do mundo inteiro. Hoje, temos esse conhecimento gratuito e fácil de ser acessado. Com um pouco de boa vontade e alguma esforço mental poderemos diminuir um pouco nosso desconhecimento sobre o que elas significam na natureza e como o ser humano as utiliza para modificar o mundo.

As Equações de Maxwell apenas procuram descrever, de forma matemática, o que ocorre na vida real, no mundo, em relação ao eletromagnetismo. Sem entendermos o que é essa interação, será mesmo difícil compreendermos o que elas são e para que servem.

Neste [link](#) o leitor encontrará uma descrição dessas interações, com linguagem e explicações amigáveis sobre as tais equações.

Se conseguirmos autorização do autor, iremos traduzir o seu conteúdo e publicar nesta seção no futuro. Entretanto, hoje em dia, os tradutores on-line ajudam bastante aqueles que têm dificuldades com a língua inglesa, e, por enquanto, são uma boa opção para a leitura do sítio.

Este é um link permanente e importante para a formação de quem deseja entender a eletrônica moderna e as telecomunicações. Sem entendermos o comportamento básico dos componentes e elementos da natureza que utilizamos em nossa vida profissional e acadêmica, seremos apenas copiadores e repetidores das ideias e criações de outros.

Ignorância nunca foi boa companheira e nenhum país do mundo se desenvolveu na escuridão científica.