Conexões e Montagem de Sistemas de Áudio

Álvaro Carvalho de Aguiar Neiva

Rio de Janeiro

2008

1. Introdução

Na figura abaixo, mostramos a representação de um sistema de reforço sonoro muito simples, cujo objetivo é fornecer a um alto-falante certo valor de potência elétrica a partir do sinal fornecido pelo microfone.

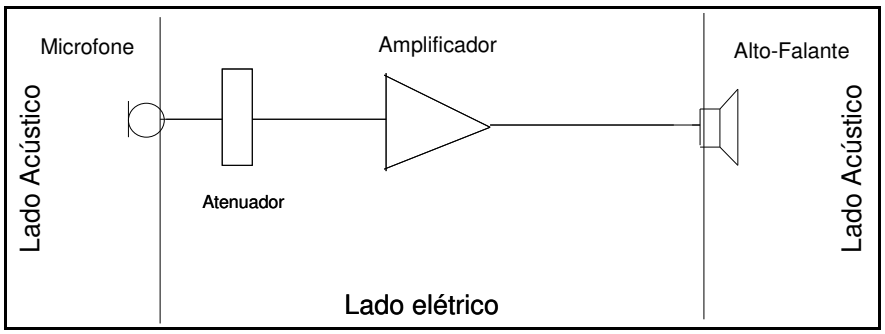


Fig. 1

Uma representação esquemática como esta é muito útil ao planejarmos um sistema, especialmente aqueles mais complexos. Chamamos esta representação de diagrama de blocos. Nela, eliminamos detalhes que ainda não nos interessam tais como: tipo dos conectores, cabos usados ou detalhes da montagem física dos amplificadores e alto-falantes, que serão resolvidos posteriormente.

Podemos ver que neste sistema coexistem dois pontos de vista: um acústico e outro elétrico. Na fronteira entre os dois, existem o **microfone** e o **alto-falante**, que transformam a energia acústica em elétrica e vice-versa. Tecnicamente, chamamos a ambos de **transdutores** por transformarem um tipo de energia em outro. O microfone será o transdutor de **entrada** de nosso sistema e o alto-falante o de **saída**.

Um microfone fornece tensões de saída na faixa de 1 a 100 mV_{rms} a uma impedância de carga entre 1000 e 10000 ohms, o que corresponde a potências entre 10^{-10} e 10^{-5} W, e alto-falantes precisam de tensões na faixa de 10 a 200 V_{rms} sobre impedâncias de 8 ou 4 ohms, correspondendo a potências entre 10 W a 10^4 W (10kW), durante seu funcionamento. Fica clara então a enorme necessidade de amplificação de tensão, corrente e potência para o funcionamento do sistema.

Este é um sistema que chamaremos de **reforço sonoro**, já que seu objetivo é fornecer um nível de pressão sonora em sua **saída**, o lado acústico correspondente ao alto-falante, maior que o emitido pela **fonte** que deverá existir no lado acústico correspondente ao microfone, ou seja, sua **entrada**.

Existe um **fluxo de energia** ao longo deste sistema, e seu **sentido** será: da **fonte** na **entrada** para o alto-falante ou **carga**, em sua **saída**. A energia que entra no sistema usualmente contém **informação** que nos interessa transmitir (música, locução e etc.) e então a chamamos de **sinal**. Existem em nosso sistema dois tipos de sinais: acústicos e elétricos. Os sinais elétricos que transportam a informação audível existente nos sinais acústicos são chamados **sinais de áudio**. Além do alto-falante, existirá um receptor, ou ouvinte, que irá interpretar a informação existente no sinal acústico emitido.

2. Definições

Para começar, vamos focalizar nossa atenção na cadeia de amplificação e, posteriormente, na cadeia de processamento de sinal que pode existir entre os dois transdutores do sistema.

Estaremos interessados neste texto principalmente em características elétricas tais como: ganho ou amplificação e as impedâncias de entrada e saída dos diversos subsistemas que compõem um sistema real formado por pré-amplificadores, equalizadores e amplificadores de potência. Pois são problemas elétricos que surgem ao interligarmos os equipamentos que constituem um sistema de sonorização. Ao falar dos transdutores (microfones e alto-falantes) teremos de lidar com grandezas acústicas como pressão sonora e níveis de pressão sonora e eletroacústicas como a sensibilidade de transdução.

Abaixo, a simbologia usada em nossos diagramas de sistemas eletroacústicos.

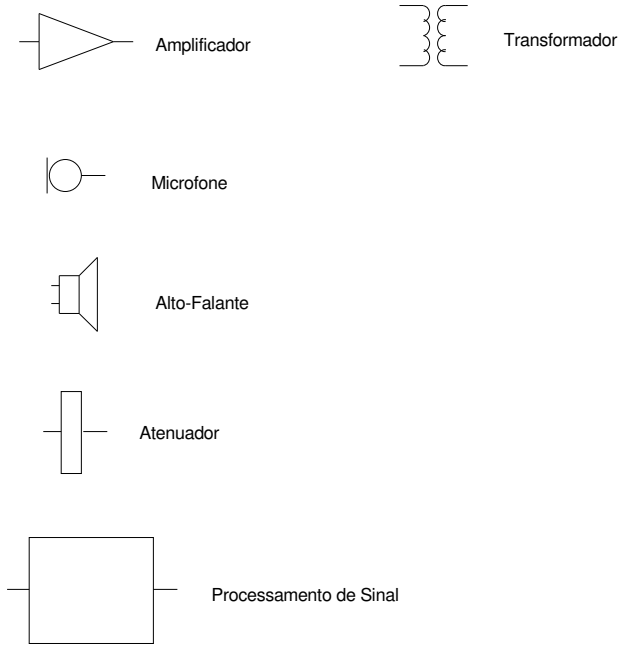


Fig. 2

3. Sistemas Elétricos

Vamos fazer uma rápida revisão de eletricidade básica para definir vários termos que irão aparecer ao longo do texto e lembrar de algumas técnicas usadas para resolver ou analisar os problemas que aparecem.

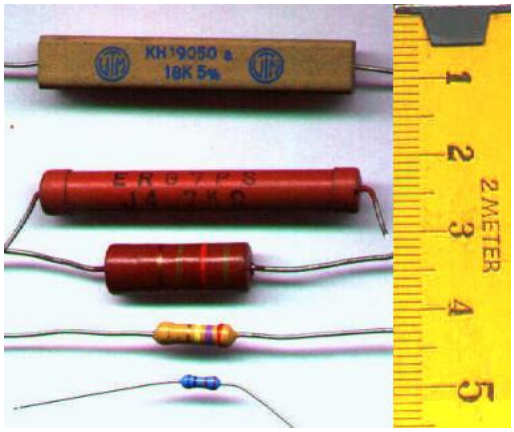
Um sistema elétrico será composto por uma **fonte de energia** interligada a um conjunto de elementos formando o que chamamos de **circuito ou rede**. Em um sistema elétrico, as grandezas fundamentais são: **tensão e corrente**, a tensão, medida em volts (V) indica o trabalho realizado sobre as cargas elétricas ao passar entre dois pontos do sistema, e a corrente, medida em ampères (A), indica a quantidade de carga elétrica que passa por unidade de tempo (s). A razão entre a tensão e corrente contínua é chamada de **resistência** e tem por unidade o ohm (Ω).

Fontes de energia elétrica como pilhas e baterias fornecem uma tensão entre seus terminais que é uma constante em qualquer instante de tempo. Ao ligarmos um resistor aos terminais da pilha ou bateria, circulará uma corrente com valor e sentido também constante. Chamamos este tipo de comportamento da corrente em um circuito de Corrente Contínua (CC).

Em um circuito de **corrente contínua**, o produto da tensão em volts (V) pela corrente em ampères (A) dá o valor da **potência** em watts (W) fornecida pela fonte e dissipada na resistência do circuito.

$$P = E \cdot I \qquad \text{(watts)}$$

O **resistor** é o componente que oferece oposição à passagem de corrente elétrica na forma de **resistência**. A potencia elétrica fornecida a um resistor é transformada em calor.



(ilustração da Wikipedia)

Para um resistor ou elemento resistivo de resistência R:

$$P = E \cdot I = E \cdot \frac{E}{R} = \frac{E^2}{R}$$

Fontes de energia elétrica como as tomadas do sistema elétrico de uma residência ou a saída de um amplificador de áudio fornecem uma tensão elétrica que muda sua polaridade em função do tempo, fazendo com que a corrente fornecida mude de sentido. Chamamos corrente com este tipo de comportamento de **Corrente Alternada (CA).** Uma fonte de tensão que muda de valor e polaridade em função do tempo é chamada de **fonte de tensão alternada**. O gráfico da variação em função do tempo da tensão é chamado de **forma de onda**.

Um exemplo de tensão alternada é a da rede elétrica da concessionária local (aproximadamente senoidal). A variação com o tempo tem um padrão que se repete periodicamente, chamado **ciclo**.

Se a tensão completa 60 ciclos por segundo, sua **freqüência** será então de **60 Hz** (hertz). O **período** (T) em segundos(s) é o intervalo de tempo em que um ciclo se completa e é igual ao inverso da freqüência (f) em Hz.

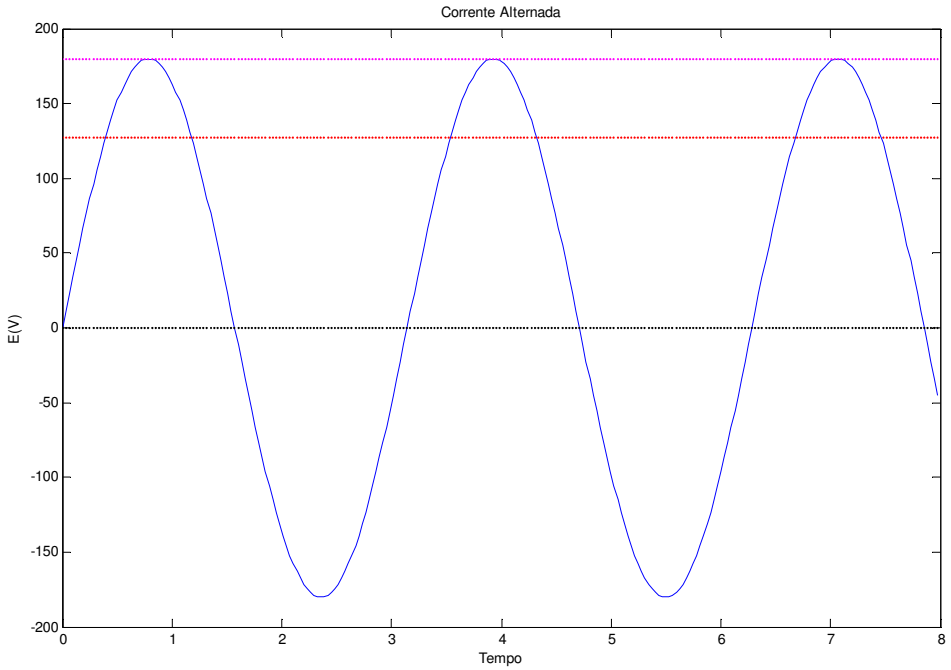


Fig.3

A **potência** em um circuito elétrico é dada pelo produto da tensão aplicada e(t) pela corrente i(t) que flui (potência instantânea).

$$p(t) = e(t) \cdot i(t)$$

A potência em um circuito de corrente alternada varia com o tempo, mas pode ter um **valor médio** diferente de zero.

O valor **rms ou eficaz** de uma tensão ou corrente alternada e(t) é o valor **constante** (CC) que dissiparia a mesma potência média em um **resistor** que a tensão alternada considerada. Corresponderia ao traço vermelho da figura 3.

$$P = E_{RMS} \cdot I_{RMS} = E_{RMS} \cdot \frac{E_{RMS}}{R} = \frac{E_{RMS}^{\ 2}}{R}$$

Observe no gráfico da tensão alternada da figura 3 o valor de pico (máximo) igual a 179 V (magenta) e o valor eficaz ou rms de 127 V marcado em vermelho. A **razão** entre estes dois valores (pico e eficaz) é uma função da **forma de onda** do sinal e uma característica dos sinais chamada **Fator de Crista**, definida para sinais com nível médio igual a zero.

Para uma senóide, esta razão é de √2 ou 1,414 aproximadamente.

A **razão, <u>considerando a diferença de fase</u>,** entre **tensão** e **corrente** em um elemento de um circuito é chamada de **<u>impedância</u>**, que é a **oposição à passagem da corrente** que o elemento ou componente oferece. Assim, quando aplicamos uma determinada tensão a um elemento de circuito, a corrente que irá circular dependerá do valor da impedância oferecida pelo elemento. A unidade da impedância é o **ohm**.

A impedância pode ser composta por duas parcelas:

I. **Resistência**, a parte que transforma a passagem de corrente em calor ou trabalho útil. Numa resistência, tensão e corrente estarão em fase, isto é, seus máximos e mínimos ocorrem no mesmo instante de tempo.

II. **Reatância**, a parte que armazena energia em um campo, seja elétrico no caso dos capacitores ou magnético, para os indutores ou elementos indutivos como as bobinas e transformadores. Em uma **reatância capacitiva**, a **tensão estará atrasada** em relação à corrente de 90° e em uma **reatância indutiva** a **tensão estará adiantada** em relação à corrente também de 90°. Uma reatância será representada então como um número complexo **+/-jX,** onde **j** é a unidade imaginária √-1, que representa a defasagem de 90° existente entre tensão e corrente, e **X** o **módulo** da reatância, que será uma função da freqüência e cuja unidade também será o ohm:

a) Módulo da Reatância capacitiva: $X_C = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot C}$, onde C é a capacitância do capacitor em **farads** e a reatância será dada em ohms.

$\phi := \frac{-\pi}{2}$

$f3(t) := \sin(2 \cdot \pi \cdot t + \phi)$ defasagem de -90º

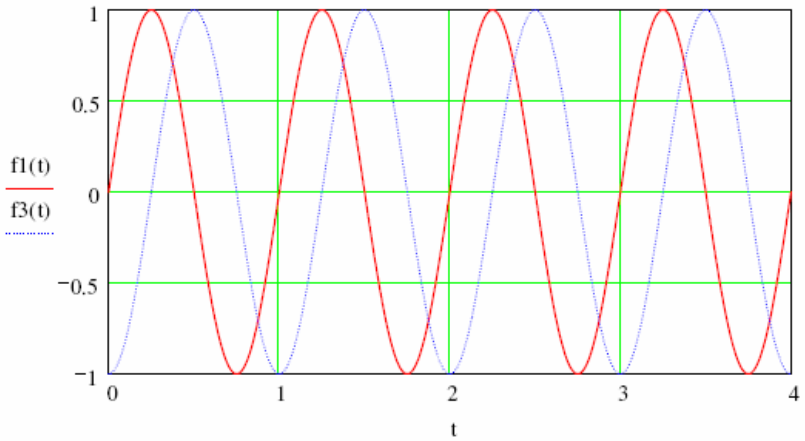
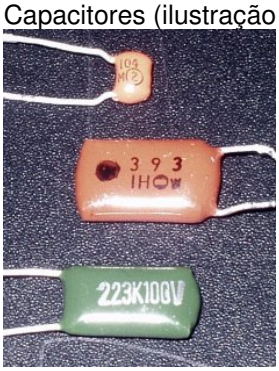


Fig. 4

Aqui f3 representa a tensão e f1 a corrente.

Capacitores (ilustração da Wikipedia e Epcos).



b) Módulo da Reatância indutiva: $X_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L$, onde L é a indutância do indutor em **henries**.

$$\phi := \frac{\pi}{2}$$

$$f2(t) := \sin(2 \cdot \pi \cdot t + \phi) \qquad \text{defasagem de } 90^o$$

$$f5(t) := f1(t) + f2(t)$$

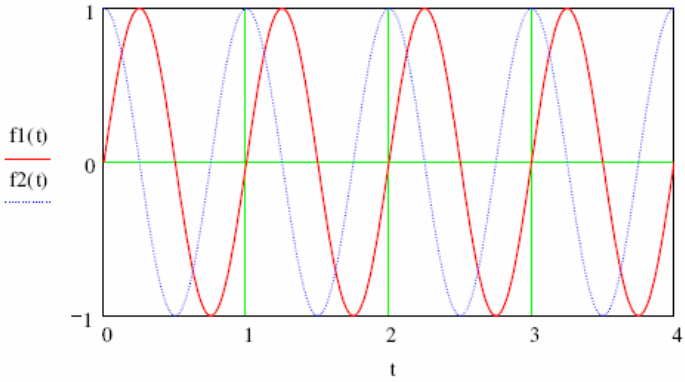
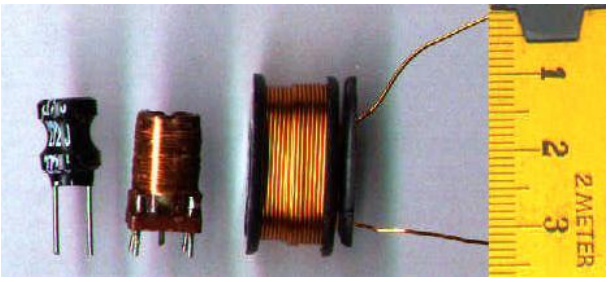


Fig. 5

Aqui f2 representa a tensão e f1 a corrente.

Indutores (ilustração da Wikipedia)



Então, podemos medir com um voltímetro a tensão em volts existente entre dois terminais dos elementos de um circuito elétrico.

Para medir corrente, teremos que interromper algum fio ou medir o campo magnético gerado pela passagem de corrente como no caso dos amperímetros do tipo alicate, usados em eletrotécnica.

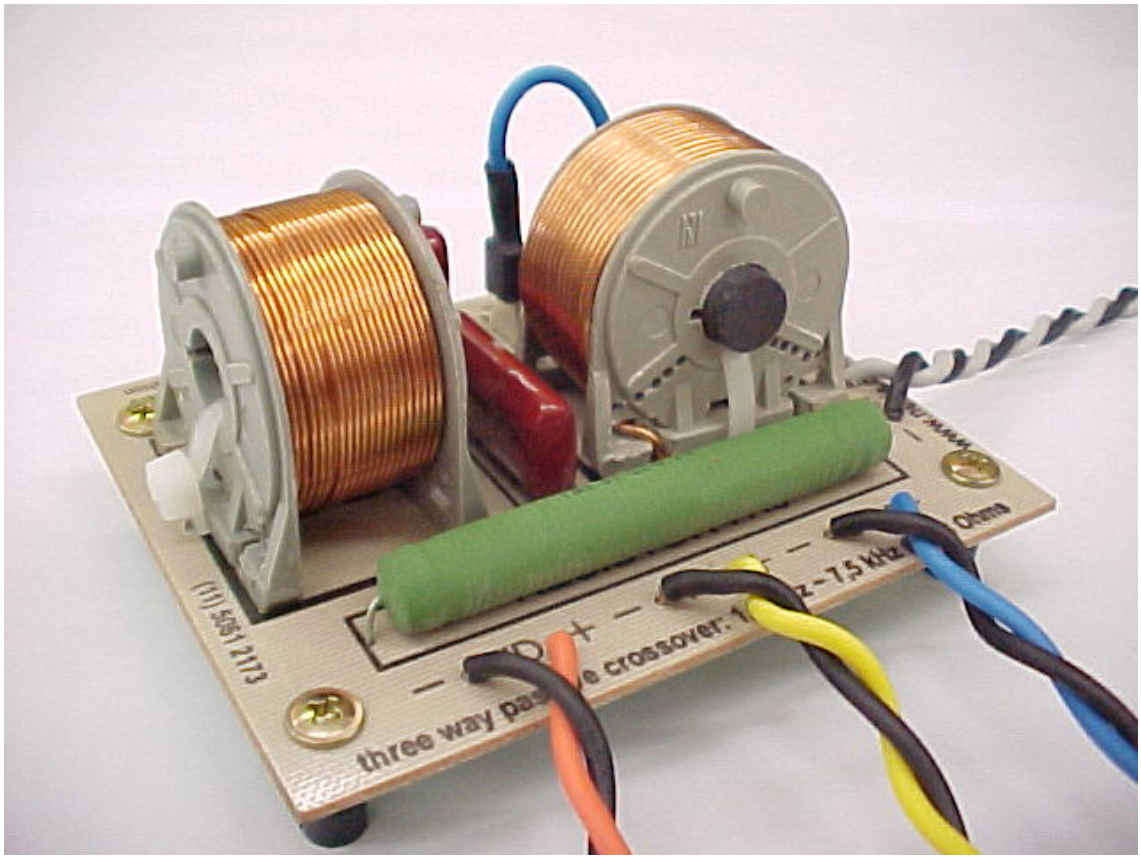
Para observar a variação em função do tempo da tensão ou corrente em um elemento de circuito, como mostrado acima, é usado o osciloscópio.

Fig. 6: Voltímetro digital

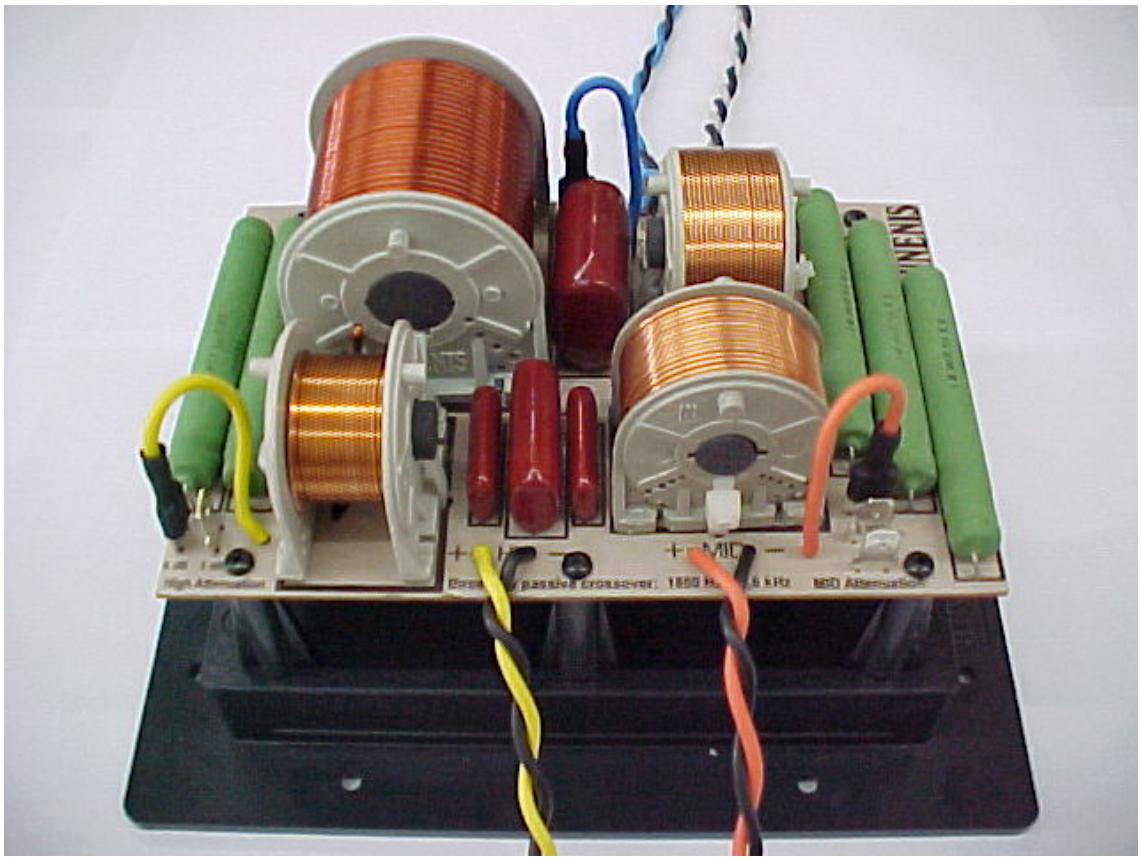
Fig. 7: Amperímetro alicate digital

Fig. 8: Osciloscópio analógico

Resistores, capacitores e indutores podem ser interligados formando **redes elétricas**, que tem propriedades definidas pela forma de interligação (topologia) e pelos valores de resistência, capacitância e indutância de seus componentes. Um exemplo muito importante são os divisores de freqüência (crossovers) passivos como os ilustrados abaixo (Fig. 9):



(Cortesia Nenis)



(Cortesia Nenis)

Eles fazem parte de uma classe de redes elétricas chamada de filtros seletores de sinais. Os filtros elétricos permitem a separação dos sinais em função de sua freqüência.

Neste curso, não iremos nos aprofundar nos detalhes de circuito dos equipamentos e os componentes dos sistemas de áudio serão descritos por parâmetros elétricos e acústicos tais como:

a) Níveis ou valores de pressão sonora, tensão, corrente e potência, presentes em cada um dos pontos de interesse do nosso sistema, usualmente em valores eficazes ou rms (caso sejam usados valores de pico isto deve ser claramente indicado);

b) Sensibilidade;

c) Ganho ou atenuação de cada um dos estágios;

d) Impedâncias de entrada e saída.

Vamos definir agora cada um destes termos.

4. Níveis

Quando posicionamos o valor de potência, pressão sonora, tensão ou corrente elétrica de um sinal em uma escala em dB, obtemos um **nível de sinal**.

As escalas em dB mais usadas são:

Nível de pressão sonora (Lp): **dB SPL**.

$$L_p = 20 \cdot Log\left(\frac{p}{p_0}\right) \qquad (1)$$

Onde p é a pressão sonora medida em pascal (Pa) e $p_0 = 20x10^{-6}$ Pa, o valor de pressão sonora correspondente ao limiar de audição a 1 kHz.

Nível de Potência (Lw): **dBW** ou **dBm**.

$$L_W = 10 \cdot Log\left(\frac{P}{P_{ref}}\right) \qquad (2)$$

Onde P é a potência em watts e P_{ref} = 1 W para níveis em dBW ou P_{ref} = 1 mW para níveis em dBm.

Nível de tensão elétrica: **dBV** ou **dBu**.

$$N_{dB} = 20 \cdot Log\left(\frac{e}{e_{ref}}\right) \qquad (3)$$

Onde *e* será a tensão elétrica medida, em volts, e_{ref} será 1 V para níveis em dBV ou 0,775 V para níveis em dBu.

Convertendo níveis de tensão (dBu ou dBV) em valores de tensão (V):

$$E_{dbV} = 10^{\frac{L_{dBV}}{20}}$$

$$E_{dBu} = 0,775 \cdot 10^{\frac{L_{dBu}}{20}}$$

Convertendo níveis de potência (dBW) em valores de potência (W):

$$P = 10^{\frac{L_{dBW}}{10}}$$

Convertendo níveis de pressão (dB SPL) em valores de pressão sonora p (Pa):

$$p = 20 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{\frac{L_{dBSPL}}{20}}$$

5. Sensibilidade

Num sistema de áudio, lidamos com dois tipos de sensibilidades elétricas:

5.1. Sensibilidade dos transdutores

É uma indicação da eficiência de conversão dos transdutores.

Teremos então:

5.1.1. **Sensibilidade dos microfones** (transdutores de entrada), S_M, dada de duas formas equivalentes:

i. $S_M = \frac{V}{Pa}$ Ou $S'_M = \frac{mV}{Pa}$, ou ainda, de forma generalizada:

$$\boxed{S_M = \frac{e_{ref}}{p_{ref}}} \qquad (4)$$

Onde:

e_{ref} = tensão de saída em circuito aberto do microfone, medida quando a pressão sonora de entrada for p_{ref}.

p_{ref} = valor de pressão sonora no qual é especificada a sensibilidade do microfone.

De forma que:

$$\boxed{e_{omic} = p \cdot S_M} \qquad (5)$$

Esta será a **tensão** de saída do microfone em volts ou milivolts, da mesma forma que for especificada a tensão de referência. Caso o valor de pressão p seja dado em valor eficaz, a tensão de saída também o será.

Ex: S_M = 2 mV/Pa

ii. S_{MdB} = (nível de tensão de saída, L_{omic} medido com um determinado nível de pressão sonora L_{pref}).

Ex: S_{MdB} = (-60 dBV, 94 dB SPL).

Pode ser obtida a partir de S_M, se observamos que:

$$e_{omic} = p \cdot S_M = \frac{p}{p_{ref}} \cdot e_{ref} \qquad (6)$$

E

$$\boxed{\frac{e_{omic}}{e_{ref}} = \frac{p}{p_{ref}}} \qquad (7)$$

Logo;

$$\boxed{\frac{e_{omic}}{e_{ref}} = \frac{p}{p_{ref}} = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{p_0}{p_{ref}}} \qquad (8)$$

E transformando em níveis:

$$20 \cdot \log\left(\frac{e_{omic}}{e_{ref}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_{ref}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0} \cdot \frac{p_0}{p_{ref}}\right) \qquad (9)$$

$$20 \cdot \log\left(\frac{e_{omic}}{e_{ref}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{p}{p_0}\right) - 20 \cdot \log\left(\frac{p_{ref}}{p_0}\right) \qquad (10)$$

Onde p_0 é a pressão de referencia para níveis em dB SPL, $20x10^{-6}$ Pa.

O lado esquerdo pode ser expandido da mesma forma que o direito em relação a uma tensão de referência escolhida (usualmente 1V para níveis em dBV ou 0,775V, para níveis em dBu) e chegaremos a:

$$\boxed{L_{omic} - L_{ref} = L_p - L_{pref}} \qquad (11)$$

Que chamaremos de **Equação do Microfone**.

Ela mostra que a variação em dB do nível de tensão de saída será igual à variação em dB do nível de pressão sonora de entrada.

Escrita de outra forma:

$$\boxed{L_{omic} = L_{ref} + \left(L_p - L_{pref}\right)} \qquad (12)$$

Então, o nível de saída de um microfone será igual à soma de seu nível de tensão de referência com a diferença entre o nível de pressão aplicado e o nível de pressão de referência da sua especificação.

5.1.2. **Sensibilidade dos alto-falantes** (transdutores de saída), dada normalmente como o nível de pressão sonora em dB SPL (Lp), gerado a 1 m de distância do falante com uma potência elétrica de 1 W aplicada. Chamarei a esta sensibilidade de $\mathbf{S_{AFdB}}$.

Ex: $\mathbf{S_{AFdB}}$ = 98 dB/1W/1m

5.2. Sensibilidade dos estágios de Amplificação:

Será o valor do sinal de entrada, geralmente uma tensão, que produz um valor determinado ou nominal de: tensão, corrente, ou potência de saída. Pode ser expressa na forma de um nível de sinal de entrada em dB.

6. Ganho

Damos o nome de ganho à razão entre as grandezas de saída e entrada de um sistema elétrico que transportam informação, de forma que:

Amplificador	Ganho
Tensão	$A_v = \frac{e_{out}}{e_{in}}$
Corrente	$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$

Quando as grandezas de entrada e saída tem a mesma natureza, como acima, **ganho** será **adimensional**, caso contrário, teremos **relações de transferência** com dimensões de resistência ou condutância, como abaixo:

Estágio	Relação de Transferência
Transcondutância	$G_m = \frac{i_{out}}{e_{in}}$
Transresistência	$R_m = \frac{e_{out}}{i_{in}}$

Teremos então quatro tipos de amplificadores possíveis em um sistema elétrico:

- Amplificadores de tensão

  - Possuem alta impedância de entrada e baixa impedância de saída, seu sinal de entrada será uma tensão elétrica e o de saída também. A grande maioria dos estágios de amplificação em um sistema de áudio funciona assim. São construídos pela interligação de vários componentes ativos como transistores, FET's ou válvulas eletrônicas com componentes passivos como resistores, capacitores e transformadores. A maioria dos estágios de amplificação em um sistema de áudio funciona como um amplificador de tensão.

- Amplificadores de corrente

  - Possuem baixa impedância de entrada e alta de saída, seu sinal de entrada será uma corrente elétrica e o de saída também. Um transistor é um exemplo de amplificador de corrente.

- Amplificadores de transresistência

  - Possuem baixa impedância de entrada e de saída, seu sinal de entrada será uma corrente e o de saída uma tensão.

- Amplificadores de transcondutância.

  - Possuem alta impedância de entrada e saída, seu sinal de entrada será uma tensão elétrica e o de saída uma corrente.

Todos os quatro tipos podem ser usados para se conseguir o **ganho de potência G_P** definido como:

$$\boxed{G_P = \frac{P_{out}}{P_{in}}} \qquad (13)$$

Amplificador	Ganho	Ganho de Potência
Tensão	$A_v = \frac{e_o}{e_{in}}$	$G_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{e_{out}^2}{R_L} \cdot \frac{R_{in}}{e_{in}^2} = \frac{e_{out}^2}{e_{in}^2} \cdot \frac{R_{in}}{R_L} = A_v^2 \cdot \frac{R_{in}}{R_L}$
Corrente	$A_i = \frac{i_o}{i_{in}}$	$G_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{i_{out}^2 \cdot R_L}{i_{in}^2 \cdot R_{in}} = \frac{i_{out}^2}{i_{in}^2} \cdot \frac{R_L}{R_{in}} = A_i^2 \cdot \frac{R_L}{R_{in}}$
Amplificador	Relação	Ganho de Potência
Transcondutância	$G_m = \frac{i_{out}}{e_{in}}$	$G_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{i_{out}^2 \cdot R_L}{\frac{e_{in}^2}{R_{in}}} = \frac{i_{out}^2}{e_{in}^2} \cdot R_L \cdot R_{in} = G_m^2 \cdot R_L \cdot R_{in}$
Transresistência	$R_m = \frac{e_{out}}{i_{in}}$	$G_P = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{e_{out}^2}{R_L} \cdot \frac{1}{i_{in}^2 \cdot R_{in}} = \frac{e_{out}^2}{i_{in}^2} \cdot \frac{1}{R_L \cdot R_{in}} = R_m^2 \cdot \frac{1}{R_L \cdot R_{in}}$

6.1. Ganho em dB

Resulta muito mais conveniente expressar o ganho dos estágios em dB para não ter que lidar com números muito grandes. Isto será possível para os ganhos adimensionais como os de tensão, corrente e potência.

Para tensão, corrente e potência, podemos calcular o ganho em dB dos estágios de amplificação através das expressões:

Amplificador	Ganho	Ganho de tensão ou corrente em dB
Tensão	$A_v = \frac{e_o}{e_{in}}$	$G_{dB} = A_{vdB} = 20 \cdot \log(A_v) = 20 \cdot \log\left(\frac{e_{out}}{e_{in}}\right)$
Corrente	$A_i = \frac{i_o}{i_{in}}$	$G_{dB} = A_{idB} = 20 \cdot \log(A_i) = 20 \cdot \log\left(\frac{i_{out}}{i_{in}}\right)$

6.1.1. Ganho de Potência em dB

Calcula-se o ganho de potência em dB pela seguinte expressão:

$$\boxed{G_{PdB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)}$$

Assim:

Amplificador	Ganho	Ganho de Potência em dB
Tensão	$A_v = \frac{e_{out}}{e_{in}}$	$G_{PdB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = 10 \cdot \log\left(A_v^{\,2} \cdot \frac{R_{in}}{R_L}\right) = 20 \cdot \log(A_v) + 10\log\left(\frac{R_{in}}{R_L}\right)$
Corrente	$A_i = \frac{i_{out}}{i_{in}}$	$G_{PdB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = 10 \cdot \log\left(A_i^{\,2} \cdot \frac{R_L}{R_{in}}\right) = 20 \cdot \log(A_i) + 10\log\left(\frac{R_L}{R_{in}}\right)$
Transcondutância	$G_m = \frac{i_{out}}{e_{in}}$	$G_{PdB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = 10 \cdot \log\left(G_m^{\,2} \cdot R_L \cdot R_{in}\right)$
Transresistência	$R_m = \frac{e_{out}}{i_{in}}$	$G_{PdB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) = 10 \cdot \log\left(R_m^{\,2} \cdot \frac{1}{R_L \cdot R_{in}}\right)$

Onde:

e_{out} = tensão de saída do amplificador;

e_{in} = tensão de entrada do amplificador;

i_{out} = corrente de saída do amplificador;

i_{in} = corrente de entrada do amplificador;

R_{in} = resistência de entrada do amplificador;

R_{out} = resistência de saída do amplificador;

A_v = ganho de tensão;

A_i = ganho de corrente;

G_m = transcondutância;

R_m = transresistência.

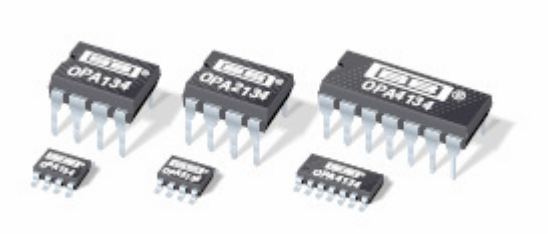
7. Amplificadores

Os amplificadores ou estágios de amplificação empregados em sistemas de áudio são, em sua grande maioria, **amplificadores de tensão** e, portanto, possuem baixa impedância de saída e alta impedância de entrada.

O bloco fundamental da moderna eletrônica analógica é o **amplificador operacional de tensão**, ou **opamp**.

Em torno destes componentes constroem-se estágios de ganho, pré-amplificadores, equalizadores e filtros analógicos.

Alguns exemplos:



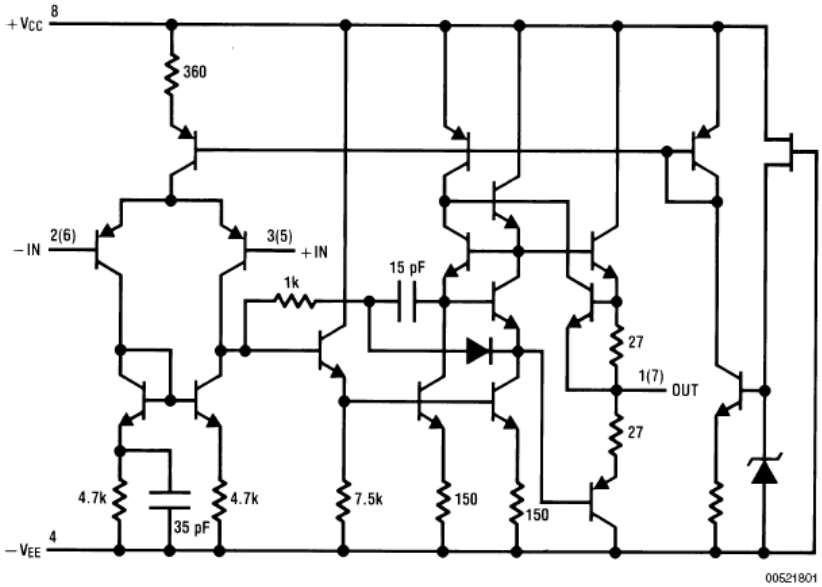
OPA 134, 2134, 4134

Opamps de alto desempenho, tecnologia bi-fet, atuais. (Texas Instruments / Burr-Brown)
http://www.ti.com

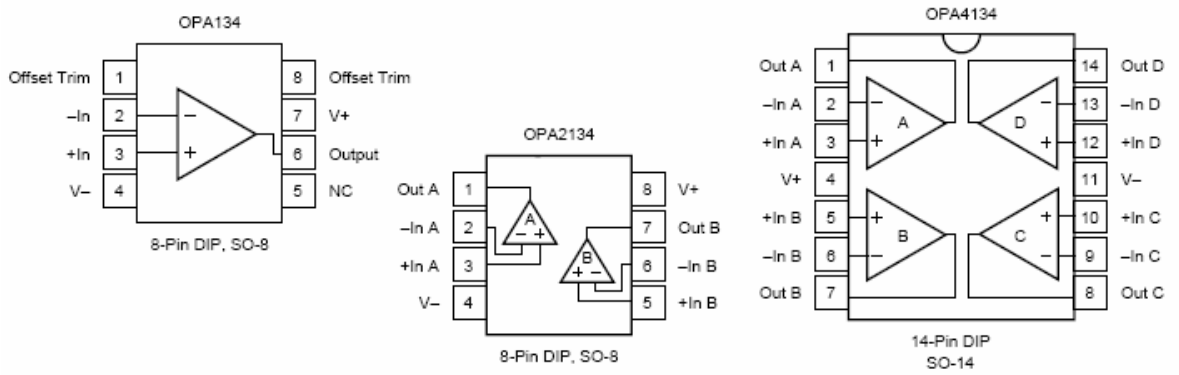
Acima, um dos pioneiros, o 741, não usado em áudio de qualidade.

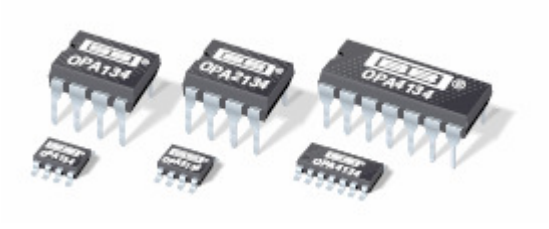
Abaixo, o diagrama esquemático equivalente a cada um dos dois amplificadores encontrados em um circuito integrado LM 833 (National Semicondutor):

Schematic Diagram (1/2 LM833)



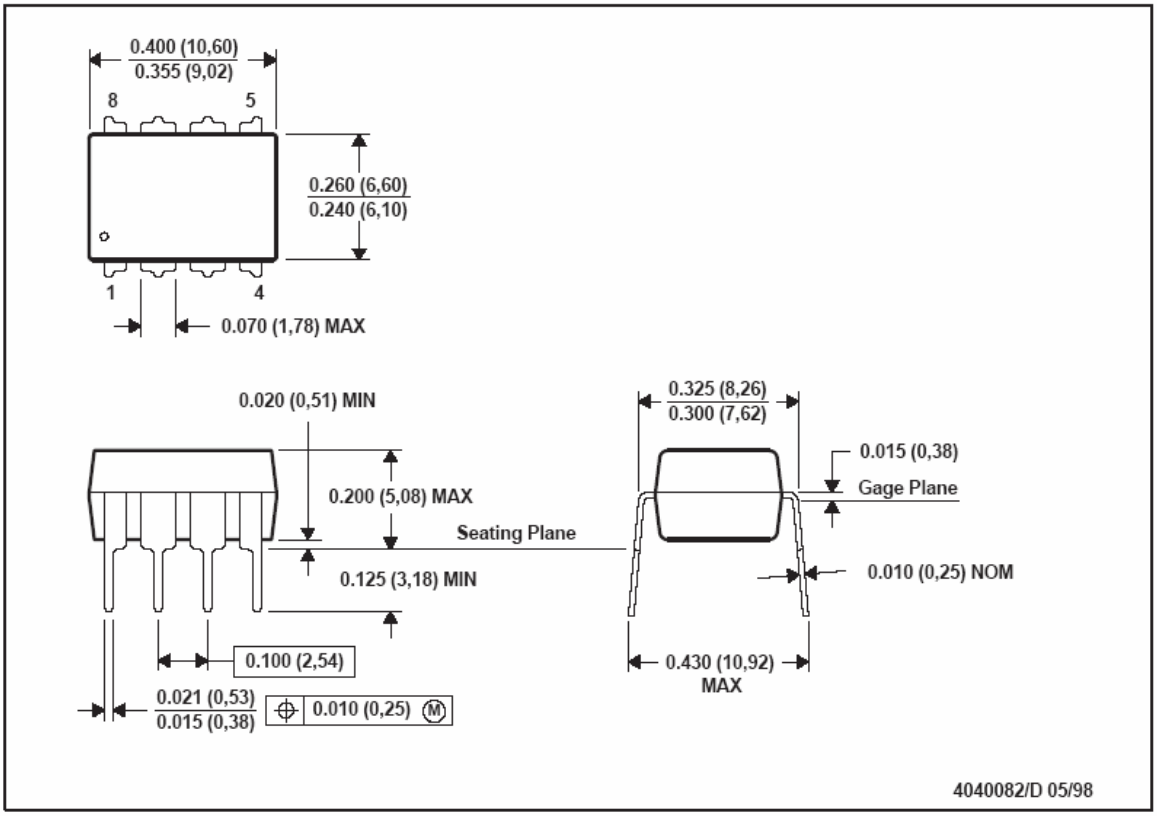
Diagramas de pinagem de alguns amplificadores operacionais comerciais:





Desenho do invólucro de oito pinos em linha (DIP):

P (R-PDIP-T8) PLASTIC DUAL-IN-LINE



NOTES: A. All linear dimensions are in inches (millimeters).
B. This drawing is subject to change without notice.
C. Falls within JEDEC MS-001

(Texas Instruments)

7.1. Amplificadores Operacionais

O texto nas caixas a seguir foi obtido no site do MIT.

Os amplificadores operacionais são dispositivos extremamente versáteis com uma imensa gama de aplicações em toda a eletrônica.

Os amplificadores operacionais são amplificadores de acoplamento direto, de alto ganho, que usam realimentação para controle de suas características. Eles são hoje encarados como um componente, um bloco fundamental na construção de circuitos analógicos. Internamente, são constituídos de amplificadores transistorizados em conexão série. Externamente, são geralmente representados pelo símbolo,

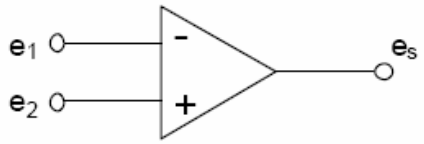


Fig. 1 Símbolo de um amplificador operacional

em que convencionalmente só entradas e saídas aparecem e não as conexões das fontes de alimentação.

Os amplificadores operacionais são usados em amplificação, controle, geração de formas de onda senoidais ou não em freqüências desde C.C. ate vários Megahertz. Com emprego na realização das funções clássicas matemáticas como adição, subtração, multiplicação, divisão, integração e diferenciação, os amplificadores operacionais são os elementos básicos dos computadores analógicos. São úteis ainda em inúmeras aplicações em instrumentação, sistemas de controle, sistemas de regulação de tensão e corrente, processamento de sinais, etc.

As propriedades de um circuito amplificador operacional ideal são:

a) ganho de tensão diferencial infinito

b) ganho de tensão de modo comum igual a zero

c) tensão de saída nula para tensão de entrada igual a zero

d) impedância de entrada infinita

e) impedância de saída igual a zero

f) faixa de passagem infinita

g) deslocamento de fase igual a zero

h) deriva nula da tensão de saída para variações de temperatura

Na prática, as limitações dos amplificadores operacionais são muitas, ocorrendo, entretanto, um contínuo aperfeiçoamento das características dos mesmos pelos seus fabricantes.

Algumas considerações

Ganho de tensão - Normalmente chamado de ganho de malha aberta, medido em C.C.(ou em freqüências muito baixas), é definido como a relação da variação da tensão de saída para uma dada variação da tensão de entrada. Este parâmetro, notado como A ou Avo, tem seus valores reais que vão desde alguns poucos milhares até cerca de cem milhões em amplificadores operacionais sofisticados. Normalmente, A_{v0} é o ganho de tensão diferencial em C.C.. O ganho de modo comum é, em condições normais, extremamente pequeno.

Os amplificadores operacionais apresentam, geralmente, circuitos de entrada em configuração diferencial. A figura 2 mostra as entradas inversora (-), não inversora (+), as tensões de entrada e_A , e_B e a tensão de saída e_S.

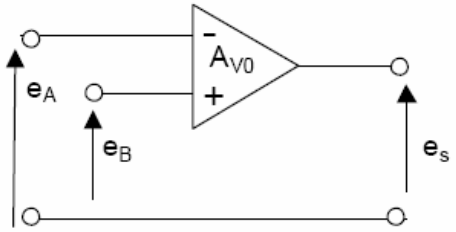


Fig. 2 Representação das tensões de entrada e de saída do Amplificador Operacional

A tensão de saída , por causa do circuito diferencial é, portanto, independente das tensões e_A e e_B , dependendo sim, de sua diferença, ($e_B - e_A$). Exemplificando, sendo e_B=10,001 e e_A = 10,000 V, a entrada efetiva é 0,001 V como se e_B fosse 0,001 V e e_A igual a zero. Esses 10 Volts são então chamados de tensão de modo comum e um amplificador operacional ideal rejeitará essa tensão de modo comum, respondendo apenas ao 0,001 Volt.

Admitindo um amplificador operacional alimentado com + 15 Volts, sua tensão de saída será de no máximo, cerca de + 13 Volts, valores em que ocorrem as saturações. Esses limites só serão maiores se foram aumentadas às tensões de alimentação.

A figura 3 mostra um amplificador operacional que é linear apenas na faixa dos + ou - 10 Volts. Através da curva de transferência, podemos obter o valor do ganho de malha aberta.

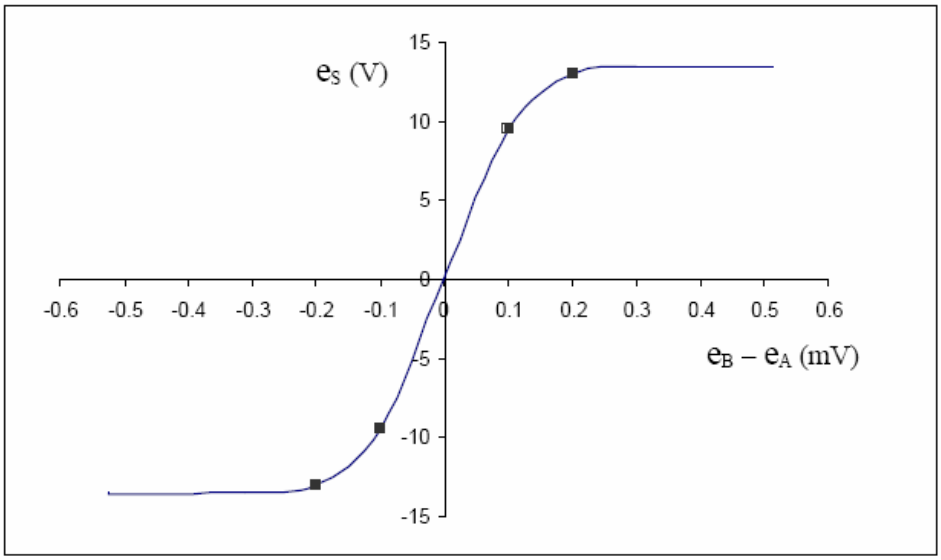


Fig. 3 Curva de transferência típica de um amplificador operacional.

Na região linear, fig. 3, o ganho de malha aberta , será $A_{V0} = \Delta v_{saída}/\Delta v_{entrada} = 100.000$ já que a saída de + 10 V necessita de uma entrada de apenas 0,1 mV. Se considerarmos A_{V0} no limite da região de saturação, o ganho será menor , $A_{V0} = 13$ V/0,2 mV ~ 65.000.

O circuito básico em configuração inversora pode ser visto na figura 4.

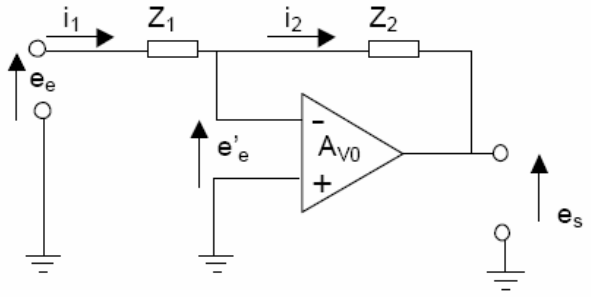


Fig. 4 Circuito amplificador básico em configuração inversora.

Admitindo que o amplificador operacional tenha propriedades ideais, sua impedância de entrada é infinita e não há corrente fluindo em suas entradas. Assim, $i_1 = i_2$.

A tensão de saída desta configuração é, por definição,

$$e_S = -A_{V0} e'_e \tag{3}$$

e temos que

$$i_1 = \frac{e_e - e'_e}{Z_1} = \frac{e'_e - e_s}{Z_2} = i_2 \tag{4}$$

Isolando-se e'_e de (4) e substituindo-se em (3) fica:

$$\frac{e_S}{e_e} = -\frac{Z_2}{Z_1} \cdot \frac{1}{1 + \frac{1}{A_{V0}}\left(1 + \frac{Z_2}{Z_1}\right)} \tag{5}$$

Lembrando que o ganho Avo é arbitrariamente grande,

$$\frac{e_S}{e_e} = -\frac{Z_2}{Z_1} \qquad e_s = -\frac{Z_2}{Z_1} e_e \tag{6}$$

Podemos notar que com o amplificador operacional ideal a função de transferência dependente apenas das impedâncias Z_1 e Z_2 , não dependendo do ganho A_{V0}. Alem disso,

pelo fato do amplificador ter o ganho arbitrariamente alto, no ponto de soma de tensões, e_e aproxima-se de zero, o que faz desse ponto um terra virtual.

A figura 5 mostra a configuração básica não inversora. O sinal a ser processado é aplicado na entrada não-inversora e o sinal de saída é realimentado na entrada inversora.

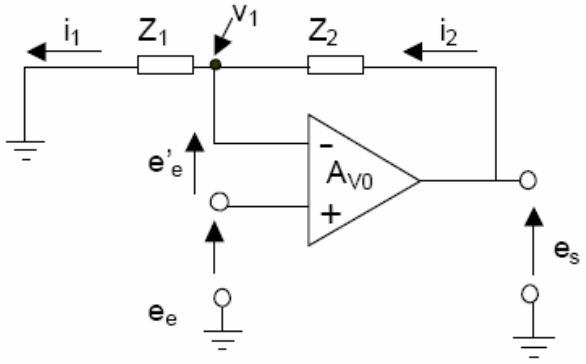


Fig. 5 Configuração básica não-inversora.

Admitindo que i_1 seja igual a i_2 e Avo arbitrariamente grande,

$$v_1 = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} e_S \tag{7}$$

$$v_1 = e_e + e'_e$$

como $e_S = -A_{V0} e'_e$ (8)

$$v_1 = e_e - \frac{e_s}{A_{V0}} \cong e_e \tag{9}$$

Combinando (7) e (9),

$$\frac{e_S}{e_e} = 1 + \frac{Z_2}{Z_1} \tag{10}$$

Dada a expressão (11)

$$e_S = -\frac{Z_2}{Z_1} e_e \qquad (11)$$

Se as impedância Z_1 e Z_2 foram puramente resistivas, vemos que o amplificador pode executar operações de multiplicação e divisão do sinal de entrada por uma constante.

O circuito da figura 6 é o de um somador, com inversão de sinal de saída.

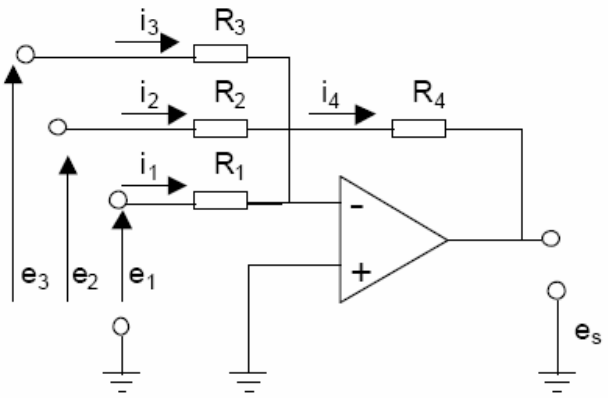


Fig. 6 – Circuito Somador

$$e_S = -R_4\left(\frac{e_1}{R_1} + \frac{e_2}{R_2} + \frac{e_3}{R_3}\right) \qquad (12)$$

Lembrando que a corrente I_4 e a soma de I_1 , I_2 e I_3, observa-se que o circuito é um amplificador somador, em que cada entrada pode ser operada com fatores de escala diferentes.

O texto dentro das caixas acima foi obtido e pode ser encontrado no site do MIT.

Sobre amplificadores operacionais, consultar as referências:

- Pertence Jr., Antonio; Amplificadores operacionais e filtros ativos, McGraw-Hill, 1988;
- Wait, John V.; Huelsman, Lawrence P.; Korn, Arthur G.; Introduction to operational amplifiers and applications; McGraw-Hill, 1975.
- Jung, Walter G.; IC OP-AMP Cookbook, second edition, 1980, H.W.Sams & Co.

8. Ganho e Atenuação

Quando a razão A = $\frac{e_{out}}{e_{in}}$, $\frac{i_{out}}{i_{in}}$ ou $\frac{P_{out}}{P_{in}}$ **for maior que um**, teremos um **ganho** de tensão, corrente ou potência. Quando estas razões **forem menores que 1**, teremos uma **perda** ou **atenuação** de sinal. Definiremos então a razão AT = $\frac{P_{in}}{P_{out}}$, $\frac{i_{in}}{i_{out}}$ ou $\frac{e_{in}}{e_{out}}$ como o <u>valor desta perda ou atenuação</u>.

Observe que uma razão é o inverso da outra.

Em dB teremos:

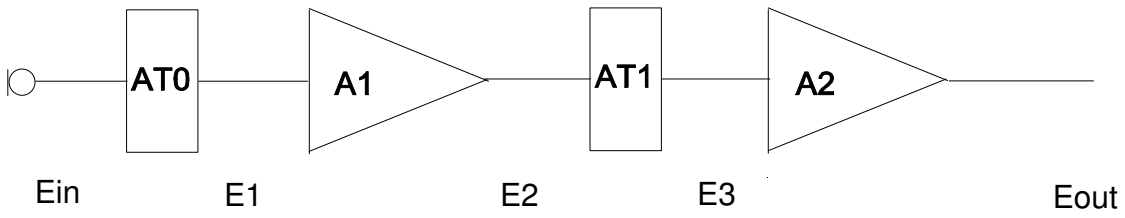
Atenuação $AT_{dB} = -A_{dB}$ ou $-G_{dB}$ (13)

Dito de outra forma,

$$AT_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{e_{in}}{e_{out}}\right)$$ para tensão. (14)

$$AT_{dB} = 10 \cdot \log\left(\frac{P_{in}}{P_{out}}\right)$$ Para potência. (15)

8.1. Ganho de Estágios em Cascata



Dificilmente, em um sistema de áudio, teremos todo o ganho necessário entre o transdutor de entrada (microfone) e o de saída (alto-falante), obtido em um único estágio.

Podemos então usar vários estágios ligados de forma que a tensão de saída de um seja a tensão de entrada do outro e, caso a impedância de entrada de um estágio seja muito maior que a de saída do anterior, poderemos escrever para o ganho total:

$$\frac{e_{out}}{e_{in}} = \frac{e_{out}}{e_3} \cdot \frac{e_3}{e_2} \cdot \frac{e_2}{e_1} \cdot \frac{e_1}{e_{in}} = \frac{A_{v2} \cdot A_{v1}}{A_{T1} \cdot A_{T0}} \qquad (16)$$

Ou, em dB:

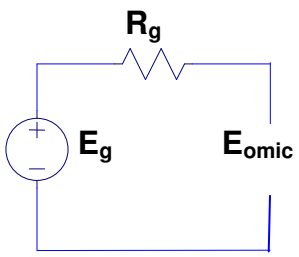
$$A_{vdBtotal} = L_{out} - L_{in} = \left(A_{dB1} + A_{dB2}\right) - \left(AT_{dB0} + AT_{dB1}\right) \qquad (17)$$

O que pode ser generalizado para um número qualquer de estágios, dizendo-se que o **ganho total será dado pela soma dos ganhos menos a soma das atenuações no percurso de sinal**.

9. Microfones

No presente estudo, não estaremos interessados nem na forma de transdução nem no padrão polar do microfone, mas apenas em suas características elétricas como: **tensão de saída em circuito aberto** e **impedância de saída**.

Modelo elétrico linear do microfone:



Onde:

E_g = tensão de saída do microfone em circuito aberto;

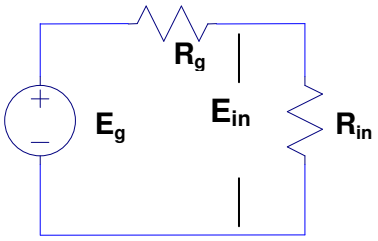
E_{omic} = tensão observada nos terminais de saída do microfone;

R_g = impedância de saída do microfone.

Aqui, a fonte de tensão terá o valor da tensão em circuito aberto, ou sem carga, fornecida pelo microfone com um determinado valor de pressão sonora. O resistor terá o valor da impedância nominal do microfone, que suporemos resistiva.

Usando este modelo, poderemos avaliar a redução da tensão de saída em função da carga ligada aos terminais do microfone.

Ao ligarmos o microfone em um pré-amplificador, o circuito equivalente passará a ser como abaixo, desprezando-se a impedância dos cabos:



Onde R_g é a impedância de saída do microfone e R_{in} a impedância de entrada do pré-amplificador.

A tensão de saída do microfone, E_{omic}, caso não haja perda no cabo, será igual à tensão de entrada para o pré-amplificador E_{in}, e terá o valor dado pela expressão abaixo:

$$\boxed{E_{omic} = E_{in} = \frac{E_g \cdot R_{in}}{R_g + R_{in}}} \qquad (16)$$

Um exemplo de especificações de um microfone real:

Technical Data

Pick-up pattern	cardioid
Frequency response	40 – 16,000 Hz
Sensitivity (free field, no load, 1 kHz)	2.7 mV/Pa
Nominal impedance	350 Ω
Min. terminating impedance	1 kΩ
Dimensions	Ø 48 x 180 mm
Weight	330 g

O valor de tensão de saída deste microfone, carregado com o valor mínimo indicado e exposto a uma pressão sonora de 1 Pa, será calculado da seguinte forma:

a) Obtemos a tensão de saída do microfone em circuito aberto;

$$E_g = p \cdot S_M = \frac{1Pa \cdot 2,7\times10^{-3}V}{1Pa} = 2,7\times10^{-3}V$$

b) Calculamos o efeito da carga sobre a tensão de saída.

$$E_{omic} = E_{in} = \frac{E_g \cdot R_L}{R_g + R_L} = \frac{2,7\times10^{-3}V \cdot 1000}{350+1000} = 2\times10^{-3}V$$

Podemos calcular a perda ou atenuação ocorrida em dB, achando:

$$20 \cdot \log\left(\frac{E_g}{E_{omic}}\right) = 20 \cdot \log\left(\frac{2,7 \times 10^{-3}}{2,0 \times 10^{-3}}\right) = 2,6\text{dB}$$

Ou

$$\boxed{AT_{dB} = 20 \cdot \log\left(\frac{R_g + R_{in}}{R_{in}}\right)}$$

Os valores de tensão entregues pelos microfones são muito pequenos e necessitam de amplificação para serem utilizados.

Os amplificadores ou estágios de amplificação empregados em sistemas de áudio são, em sua grande maioria, amplificadores de tensão. Alguns amplificadores de potência atualmente em uso funcionam como amplificadores de transcondutância, mas são casos raros.

10. Amplificadores

Uma das funções mais importantes em um sistema de áudio é a amplificação. Tão importante e corriqueira que, muitas vezes, não prestamos atenção na quantidade e variedade de estágios de amplificação que estão a trabalhar em um sistema de áudio, a não ser que alguma coisa saia diferente do planejado. Numa hora destas ou quando planejamos a interligação dos componentes de nosso sistema de som, conhecer as características dos diversos tipos de amplificadores e suas limitações será fundamental para que possamos extrair o melhor desempenho dos sistemas que montamos e operamos.

Um estágio amplificador será caracterizado por seu ganho, usualmente de tensão, e suas impedâncias de entrada e saída. Um bloco de circuito para ser considerado amplificador sempre terá um ganho de potência, ou será um atenuador, transformador ou estágio de acoplamento. Vamos demonstrar que um ganho de potência pode ser desmembrado como o produto de um ganho de tensão ou corrente ao quadrado e uma relação entre a resistência de entrada e a de carga de um amplificador.

Em um sistema real poderemos ter o ganho total necessário distribuído entre (no mínimo) três etapas:

- **Pré-amplificador**;

  É o primeiro estágio de ganho em um sistema, e faz a interface deste com os microfones. Suas características mais importantes são o ganho de tensão, a impedância de entrada e seu nível de ruído. Sua tensão máxima de saída ou nível máximo antes do ceifamento (clipping) e sua linearidade serão dados importantes para definir a sonoridade deste estágio. Pode fazer parte dos canais de entrada de uma console ou ser um equipamento independente. A potência fornecida pelos estágios de pré-amplificação é, no máximo. da ordem de 20 dBm.

- **Amplificador de linha**;

É um estágio intermediário entre um console, pré-amplificador ou crossover e a amplificação de potência, sendo usado por possuir menor impedância de saída ou maior capacidade de corrente e/ou tensão que o estágio anterior. Pode também contribuir com uma parcela para o ganho total de tensão do sistema. Amplificadores de linha trabalham com níveis de tensão de entrada entre -20 e 0 dBu e devem fornecer níveis de saída entre +4 a + 30 dBu. Um amplificador deste tipo pode fornecer níveis de potência entre 0 e +30 dBm (10^{-3} a 1 W).

- **Amplificadores de potência**.

Aqui temos, na maior parte dos casos, ganho de tensão e de corrente e uma impedância de carga muito menor que a de entrada. Valores elevados de tensão, corrente e potência elétrica podem ser encontrados em suas saídas. Por exemplo, um amplificador capaz de entregar 2500 W a uma carga resistiva de 4 ohms estará fornecendo uma tensão de 100 Vrms a esta carga.

Alguns exemplos de amplificadores de potência comerciais:

Crown DC 300, EUA, 1974.

http://www.crownaudio.com/gen_htm/legacy/legacamp.htm

Crown Macrotech, EUA, 1995.

http://www.crownaudio.com

Phase Linear 400, EUA, 1971-1972.

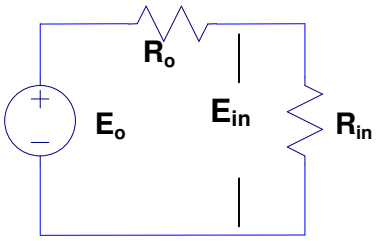
http://www.phaselinearhistory.com

Série 400 da Attack do Brasil ind. e com. ltda, 2005.

http://www.attack.com.br

11. Modelo elétrico linear para um amplificador de tensão

Válido fora dos limites de tensão e corrente do amplificador.



Onde

E_o = tensão de saída em circuito aberto do amplificador;

R_o = resistência de saída do amplificador;

E_{in} = tensão de entrada do próximo estágio ou sobre a carga;

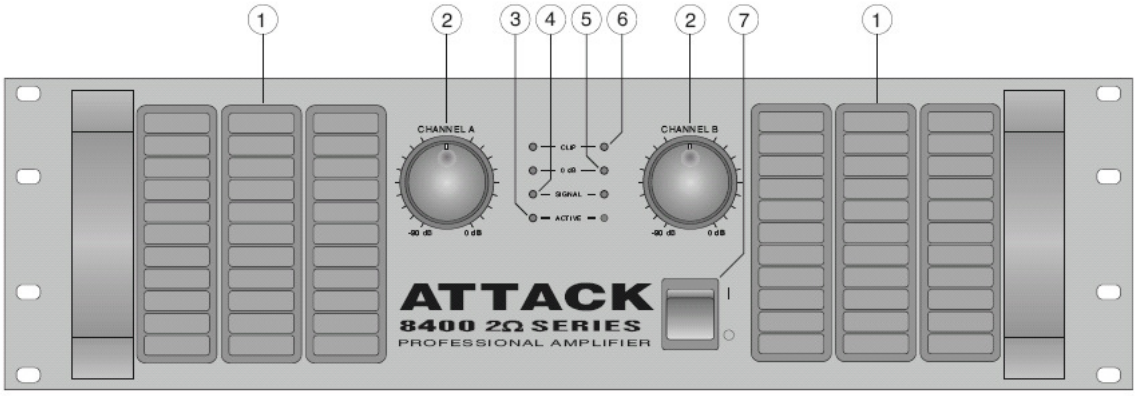
R_{in} ou R_L = resistência de entrada do próximo estágio ou de carga.

12. Amplificadores de Potência

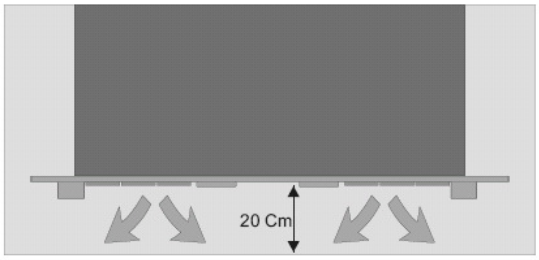
Os amplificadores ou estágios de amplificação empregados em sistemas de áudio são, em sua grande maioria, amplificadores de tensão. Os amplificadores que devem alimentar os alto-falantes e constituem o último estágio da cadeia de amplificação são chamados amplificadores de potência.

Vamos observar um exemplo de amplificador linear de potência atual, com uma olhada em seu manual que apresenta seus controles e conexões de entrada e saída:

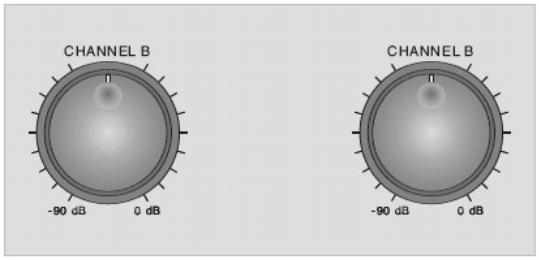
(Cortesia da Attack do Brasil)



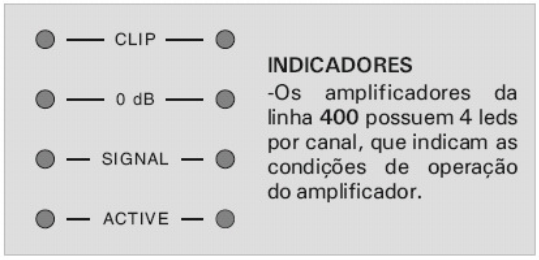
DESCRIÇÃO DO PAINEL FRONTAL



1 - VENTILAÇÃO - Saída de ventilação do painel frontal. Deve ficar totalmente desobstruída e distante de qualquer anteparo no mínimo 20 cm.



2 - CONTROLE DE VOLUME - individual para cada canal. Controla o nível de sinal para cada canal. Na posição -90dB, o nível de sinal é zero e na posição 0dB o nível é máximo. É aconselhável que se use o controle de volume na posição 0dB. Nesta posição é necessário 0,775 Volts para excitar totalmente o amplificador.



3 - ACTIVE - Led verde, indica que o amplificador está ativo (ligado).

No 8400 o led levará alguns segundos para acender pois este modelo possui um sistema de retardo, para minizar o surto decorrente no ato de ligar o amplificador, evitando desgaste precoce da chave e outros componentes.

4 - SIGNAL- Led verde, indica que existe sinal de áudio na saída do amplificador. Este led acende com -18dB abaixo do indicador de 0dB.

5 - 0dB - Led amarelo, indica que o amplificador está operando na faixa normal de potência, - 3dB de sua potência máxima. Apesar deste *headroom,* é aconselhável observar para não exceder, atingindo o clipamento.

6 - CLIP (limiter) - Led vermelho, quando este led acende indica que o controle de limite de potência entrou em operação (**smart limiter**). Nesta condição o amplificador está operando no máximo de potência e mínima distorção. Em muitos amplificadores esta seria uma situação de alerta, pois em longo período poderia causar a queima dos alto falantes, o que não acontece na linha **400**.

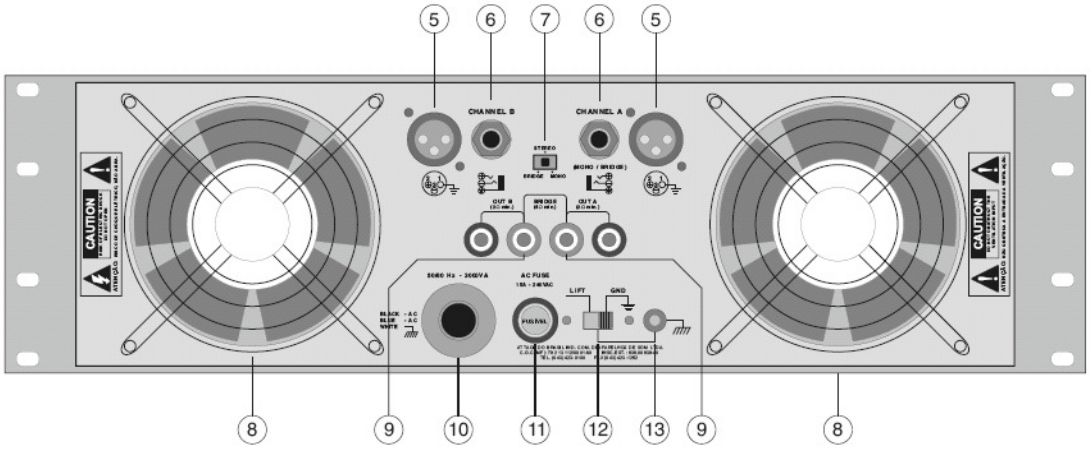
Em alguns amplificadores mesmo com limiter, apenas consideram a tensão de saída; uma vez que a tensão de rede baixar a distorção irá aumentar colocando em risco os alto falantes e principalmente drivers e tweeters, pois existe pouco deslocamento de ar na bobina, não suportando um super-aquecimento repentino.

Note que, em baixas freqüências (graves), nosso ouvido não consegue detectar pequenas distorções; o amplificador pode estar saturando sem que percebamos isto. Mesmo que os alto-falantes estejam super dimensionados para o amplificador, poderão queimar por saturação e ainda levar à queima do amplificador.

No caso da linha **400, o smart limiter** analisa tensão de rede e impedância, liberando a potência ideal para o mínimo de distorção. O amplificador pode funcionar normalmente com este led acendendo, sem risco de danificar os alto falantes ou mesmo drivers, desde que o conjunto dos mesmos esteja bem dimensionado para a potência de cada amplificador, e de acordo com a impedância mínima suportada de 2 ohms.

O **smart limiter** funciona em qualquer impedância acima de 2 ohms, sem alterar as características do audio. Apenas a potência de saída será de acordo com a impedância e tensão de rede..

7 - CHAVE ON-OFF - Chave que liga e desliga o amplificador. Quando estiver na posição "**I**" o amplificador estará ligado, e na posição "**O**" estará desligado.

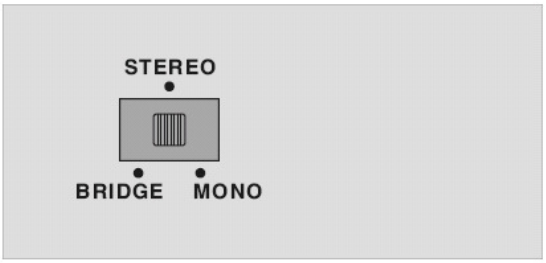


DESCRIÇÃO DO PAINEL TRASEIRO

5 - **ENTRADA DE AUDIO XLR** - Uma para cada canal. Estas entradas são balanceadas (*1 GND, 2 + hot, 3-cold*) ligadas em paralelo com as entradas 1/4 (P-10)de cada canal, isto permite que se faça ligação com outros amplificadores, bastando conectar o cabo de uma mesa ou periférico (crossover , equalizador etc.) a uma das entradas do canal, e conectar a entrada de um outro amplificador à entrada que está em paralelo.

6 - **ENTRADA DE AUDIO 1/4 (P-10)** - Uma para cada canal. Estas entradas são balanceadas e ligadas em paralelo com as entradas XLR de cada canal.

DESCRIÇÃO DO PAINEL TRASEIRO

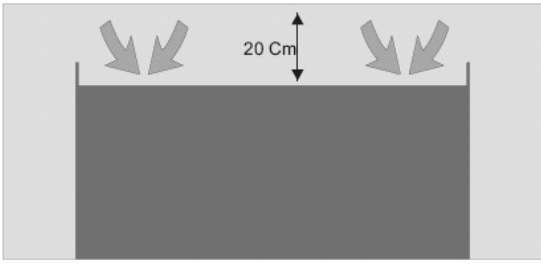


8 - **CHAVE SELETORA DE ENTRADA** - Esta chave possui 3 opções: MONO, STEREO e BRIDGE.

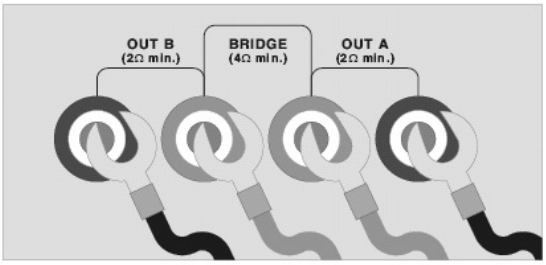
- MONO - Coloca as duas entradas A e B em paralelo.

- STEREO - Deixa as duas entradas separadas.

- BRIDGE - Inverte a entrada B, sendo correto para funcionamento em ponte entrar com sinal na entrada A.(Na opção bridge, somente utilizar os bornes Vermelhos do amplificador).



8 - **VENTILAÇÃO** - Entrada de ventilação do painel traseiro. Deve ficar totalmente desobstruída e distante de qualquer anteparo no mínimo 20 cm.



9 - **SAÍDAS P/ ALTO FALANTES** - Estes amplificadores possuem 2 bornes de saída para alto falantes, por canal, 1 vermelho e 1 preto, que servem para ligação com o conjunto de caixas acústicas. **Nunca utilize impedância menor que 2 Ohms no conjunto total de alto falantes.**

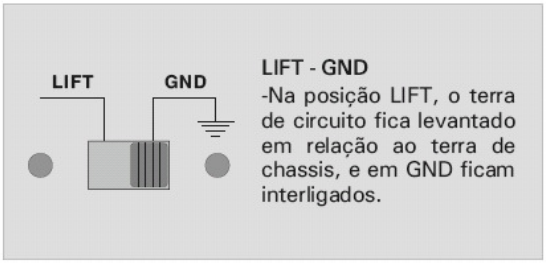
Se usar em modo BRIDGE, conecte somente os bornes vermelhos, **Nunca utilize impedância menor que 4 Ohms no modo BRIDGE para o conjunto total de alto falantes. Não ligar o fio dos alto falantes diretamente nos bornes.** O fio não tem a mesma área de contato com o borne, que o terminal. Devido a alta corrente que circula pelos bornes, um mal contato provocado pela conexão direta com os fios pode causar perda de potência e até danos ao sistema. Um outro risco, é que as pontas dos fios podem provocar um curto circuito entre os bornes, acionando o circuito de proteção. Utilize sempre terminais de boa qualidade. **Nunca faça nenhuma conexão com o amplificador ligado.**

10 - **CABO DE ALIMENTAÇÃO** - Cabo que conecta o amplificador à rede elétrica (230 VOLTS). Este cabo vem dimensionado para o consumo de cada amplificador, portanto nunca utilize um cabo com bitola menor para interligar o amplificador à rede elétrica. Quando for alimentar mais de um amplificador, calcular o consumo total dos amplificadores e usar cabo com bitola compatível. Na tabela 2 pag. 12, você encontra dados para dimensioná-lo. **Não conectar o cabo de força à rede elétrica com a chave do on-off ligada.**

11 - **PORTA FUSÍVEL** - Acondiciona um fusível de proteção. Sua amperagem deve ser impreterivelmente respeitada segundo tabela abaixo.

4400	6400	8400
10 A	15 A	20 A

Utilize somente fusíveis de boa qualidade e com valor correto para cada modelo garantindo a funcionalidade desta proteção. **Não trocar o fusível com a tomada ligada à rede.** Sempre que for trocar ou verificar o fusível, retire antes a tomada da rede.

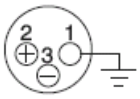


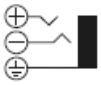
12 - **CHAVE LIFT-GND** - Conecta ou desconecta o terra de circuito do chassis que fica ligado pelo cabo de alimentação ao terra da rede. Em alguns casos de ruído (Hum) é necessário desconectar (LIFT) o terra de chassis do de circuito, para evitar um LOOP de terra.

13 - **BORNE DE ATERRAMENTO** - Serve para fazer um aterramento extra. Para sua segurança é recomendada esta conexão, pois caso haja falha por mal contato na conexão do fio de terra do cabo de alimentação, o equipamento ainda continuará aterrado. A bitola do fio deste terra deve ser igual ou maior que a do cabo de alimentação.

INSTALAÇÃO

CONECTANDO AS ENTRADAS - Este amplificador possui dois tipos de conectores para entrada de sinal, 1 XLR 3P e 1 1/4 (P-10) que estão ligados em paralelo. Ambos os conectores são balanceados e sua polaridade segue o padrão da AES. Veja abaixo.



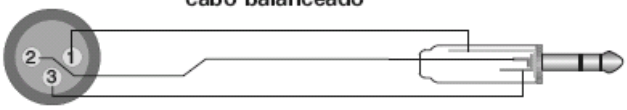


XLR
pino 1 - GND
pino 2 - Hot
pino 3 - Cold

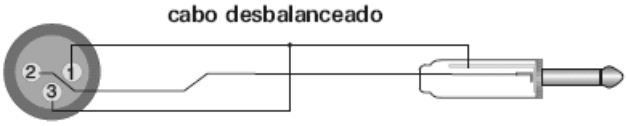
1/4"(P-10)
Ponta - Hot
Anel - Cold
Luva - GND

Para fazer uma conexão com uma fonte desbalanceada, ligue o pino 1 com pino 3, como mostra a figura abaixo.

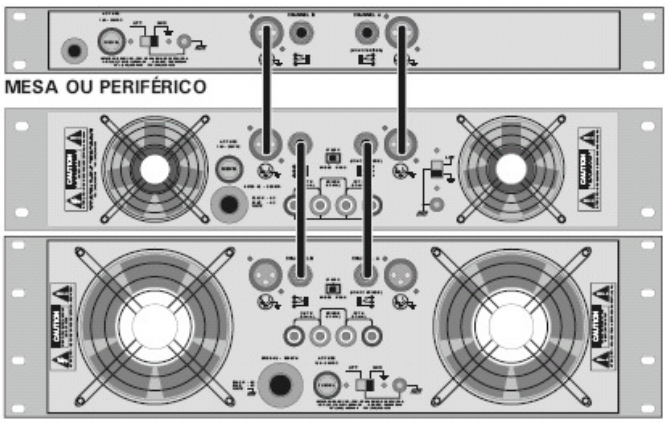
cabo balanceado



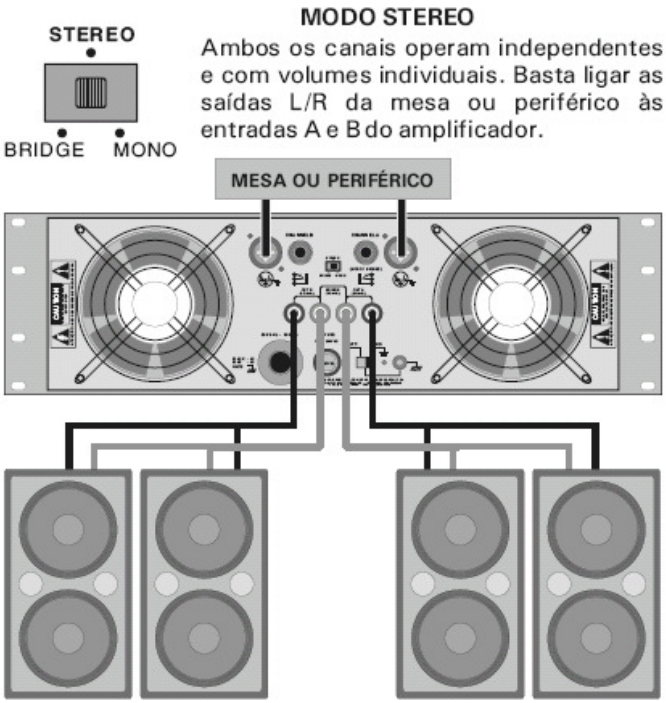
cabo desbalanceado



LIGANDO OUTRO AMPLIFICADOR - É possível ligar vários amplificadores em uma linha de entrada. Isto é muito utilizado em sistemas de P.A. de grande porte. Como os conectores das entradas estão ligados em paralelo, basta conectar o cabo de uma mesa ou periférico (crossover , equalizador etc.) a uma das entradas do canal, e conectar a entrada de um outro amplificador a outra que está em paralelo. Veja figura abaixo.

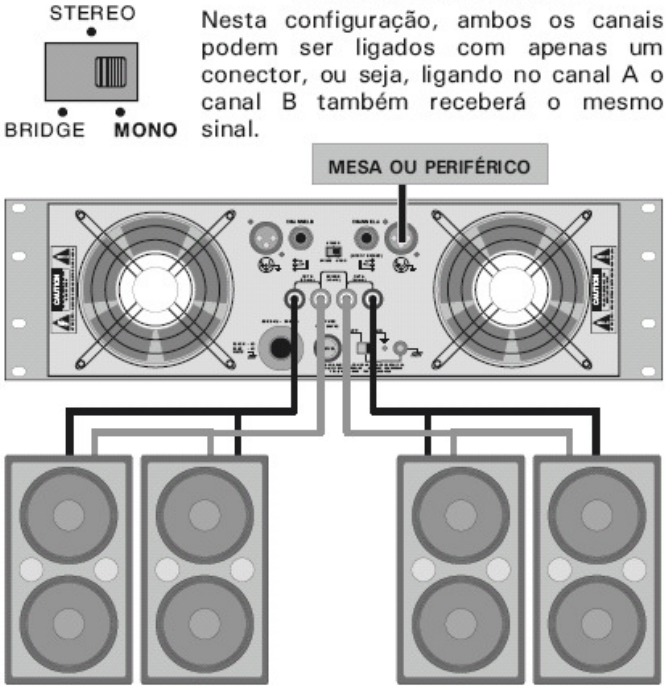


Nesta ligação, a chave seletora da entrada de todos os amplificadores deve estar em STEREO, pois se alguma estiver em MONO, todo o sistema ficará mono. **Nunca ligue dois amplificadores com chave em BRIDGE.**



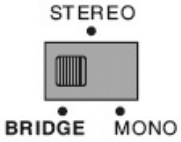
MODO STEREO

Ambos os canais operam independentes e com volumes individuais. Basta ligar as saídas L/R da mesa ou periférico às entradas A e B do amplificador.



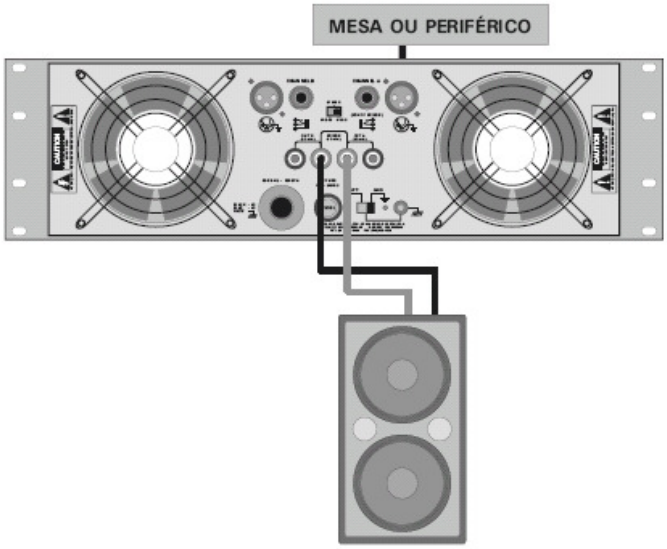
MODO MONO PARALELO

Nesta configuração, ambos os canais podem ser ligados com apenas um conector, ou seja, ligando no canal A o canal B também receberá o mesmo sinal.



MODO MONO BRIDGE

A operação em bridge (ponte) é normalmente utilizada para conseguir maior potência, pois terá o dobro da tensão para a mesma impedância, mas o amplificador não aceitará 2 Ohms. **Nunca utilize impedância menor que 4 Ohms no modo BRIDGE para o conjunto total de alto falantes.** Com a chave nesta posição, o canal A fica sendo o mestre e somente a sua entrada deverá estar conectada. Porém, os dois volumes continuarão independentes e deverão estar na mesma posição. Recomenda-se estarem no máximo para não haver enganos quanto a sua posição. **Somente utilize os bornes vermelhos no modo BRIDGE.** Nesta configuração não são utilizados os bornes PRETOS. **Não ligue os bornes vermelhos a nenhum terra.**



13. Conexões

Agora vamos cuidar das interligações entre os elementos do sistema. Para começar, será conveniente separá-las conforme o nível de sinal que circula e a sua finalidade, entrada ou saída.

Podemos classificar as conexões de nosso sistema em três níveis (considerando valores nominais ou de especificação eficazes ou rms):

- Nível de sinal de microfone, entre -20 e -60 dBV ou menos;
- Nível de sinal de linha, entre +20 e -20 dBV;
- Nível de sinal de alto-falante, acima de +20 dBV.

Para conduzir sinais de microfone e linha, são usados, em sistemas profissionais de áudio, cabos com blindagem e conexões balanceadas.

13.1. Conexões Balanceadas

São as conexões entre equipamentos em que a corrente de sinal circula de forma independente de ligação do condutor de referência ao 0 V do circuito de saída ou de entrada e nas quais a malha de blindagem do cabo, quando existir, tem somente a função de evitar a penetração de interferência eletromagnética, sem conduzir corrente de sinal.

Para termos uma conexão balanceada, precisamos de um circuito de saída que gere tensões simétricas em relação ao 0 V de referência e de um **amplificador ou receptor diferencial**, isto é, um amplificador cuja tensão de saída seja proporcional à diferença de potencial entre seus terminais de entrada ou um transformador, e um cabo com dois condutores e uma malha de blindagem. A blindagem vai ser usada onde ela for necessária, pois em certos casos como as linhas telefônicas ou transmissão de dados a curtas distâncias, um simples par trançado de condutores, pode resolver o problema.

Amplificador com entradas balanceadas XLR e saídas em conectores Speakon NL4 (cortesia Studio R).

Alguns exemplos de cabo usado em conexões balanceadas de microfone e linha:

WC 220 MIC

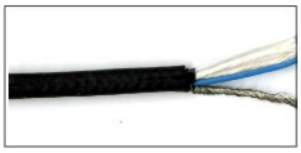
- CABO BALANCEADO PARA MICROFONE 2x30 AWG
- CAPA EXTERNA: PVC SUPER FLEXÍVEL PRETO
- CONDUTORES, DRENO E MALHA: COBRE ESTANHADO
- EMBALAGEM: rolo 100 metros
- PESO/METRO: 0,054 kg
- DIÂMETRO EXTERNO: 6,60± 0,20mm

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS:

RESISTÊNCIA DO CONDUTOR:	20ºC (max)	<95 Ohm/km
CAPACITÂNCIA NOMINAL:	COND x COND	70nF/km
CAPACITÂNCIA NOMINAL:	COND x BLIND + COND	137nF/km
IMPEDÂNCIA:		75Ohm
RESISTÊNCIA DO DRENO:	20ºC (max)	<50Ohm/km

WC 230 MIC PRO

- CABO BALANCEADO PARA MICROFONE 2x30 AWG
- CAPA EXTERNA: PVC SUPER FLEXÍVEL PRETO
- CONDUTORES, DRENO E MALHA: COBRE ESTANHADO
- EMBALAGEM: rolo 100 metros
- PESO/METRO: 0,054 kg
- DIÂMETRO EXTERNO: 6,60± 0,20mm



ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS:

RESISTÊNCIA DO CONDUTOR:	20ºC (max)	<95 Ohm/km
CAPACITÂNCIA NOMINAL:	COND x COND	70nF/km
CAPACITÂNCIA NOMINAL:	COND x BLIND + COND	137nF/km
IMPEDÂNCIA:		75Ohm
RESISTÊNCIA DO DRENO:	20ºC (max)	<50Ohm/km

(cortesia Wireconex)

Os cabos empregam conectores XLR de 3 pinos, com trava, para garantir uma conexão de alta confiabilidade.

Conectores de cabo

WC 853 3P

Conector XLR macho de linha 3 polos metal

EMBALAGEM: 20 pçs

7320

WC 856 3P

Conector XLR fêmea de linha 3 polos metal

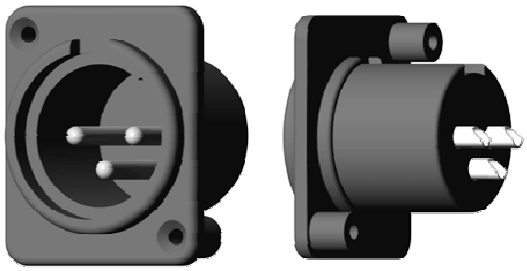
EMBALAGEM: 20 pçs

7319

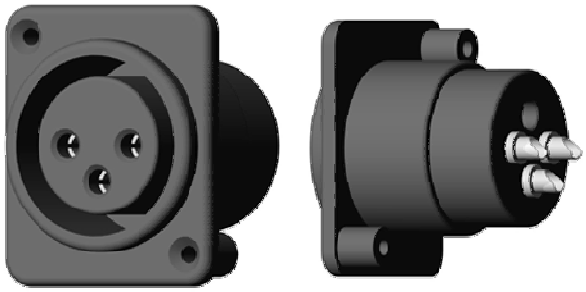
(cortesia Wireconex)

Conectores de painel

1. Macho – saída de sinal;



2. Fêmea – entrada de sinal.



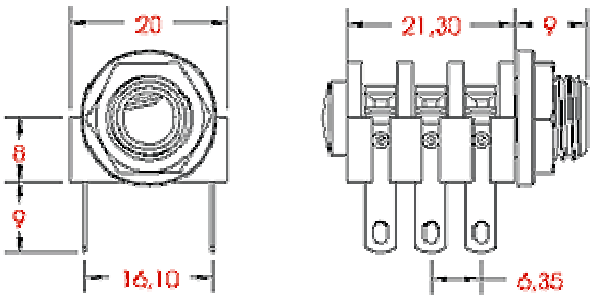
(cortesia Stecon)

Podem ser usados também conectores e jacks do tipo **TRS** ou "P10 estéreo" com diâmetro de ¼ de polegada (6,35 mm), herança das primeiras mesas de comutação telefônica (um sistema com conexões balanceadas) e usados também em fones estéreo, **onde fazem parte de uma ligação não balanceada**. Os conectores dos cabos são chamados "plugs" e os de painel são os "jacks".

(Cortesia Wireconnex)

Plug TRS ¼ polegada (Cortesia Santo Ângelo):

Jack (conector de painel) de ¼ polegada (cortesia Stecon):



13.2.1. Padrões de polaridade

A convenção atual de polaridade nos conectores profissionais mais comuns em ligações balanceadas é a seguinte:

13.2.1.1. Conectores XLR

Pino	Função
1	Aterramento, malha de blindagem.
2	Sinal em fase, polaridade de referência positiva (+).
3	Sinal em contra fase, retorno de corrente, polaridade de referência negativa (-).

13.2.2. Conectores TRS

Pino	Função
Luva ou carcaça metálica (Sleeve)	Aterramento, malha de blindagem.
Ponta (Tip)	Sinal em fase, polaridade de referência positiva (+).
Anel (Ring)	Sinal em contra fase, retorno de corrente, polaridade de referência negativa (-).

13.2. Conexões Desbalanceadas

São as conexões entre equipamentos em que a corrente de sinal retorna por um condutor ligado à referência de 0 V do circuito de saída e nas quais, a função da malha de blindagem do cabo, além de evitar a penetração de interferência eletromagnética, também pode ser conduzir a corrente de sinal.

Em conexões desbalanceadas de sinal em nível de linha, usamos cabo blindado coaxial com um condutor e uma malha de blindagem. Os plugs mais usados são os **TS** ou "P10" e, em equipamentos domésticos ou semiprofissionais, os "RCA". São conexões comuns em sistemas de áudio e vídeo domésticos, sendo também usadas em instrumentos musicais para conexão aos seus amplificadores.

Plug **TS** ou **P10**:

(Cortesia Santo Ângelo)

Cabo com plugs **TS** para instrumentos musicais:

Plugs **"RCA"** para ponta de cabo:

(Cortesia Wireconex)

Conectores "**RCA**": fêmeas de painel e plugs de cabo.

(da Wikipédia)

Cabo com conectores "**RCA**":

(cortesia CSR)

Nestas conexões é normalmente usado um cabo blindado com um único condutor isolado revestido por uma malha de blindagem, que é usada como retorno para a corrente de sinal. Sobre a malha é usada mais uma camada de isolante que serve também para proteger o cabo durante o uso.

Notação empregada no texto:

A_v = ganho de tensão;

A_i = ganho de corrente;

e = tensão elétrica alternada em volts (V), valor instantâneo;

e_{omic}= tensão de saída do microfone;

e_{out} = tensão de saída do amplificador;

e_{in} = tensão de entrada do amplificador;

E = tensão RMS ou contínua (C.C.);

f = força mecânica, newtons (N);

G_m = transcondutância;

G_P= ganho de potência;

i = corrente elétrica alternada em ampères (A);

i_{out} = corrente de saída do amplificador;

i_{in} = corrente de entrada do amplificador;

L_{omic} = nível de tensão de saída do microfone, dado em dBV ou dBu;

p = pressão sonora em pascal;

p_{ref} = pressão de referencia da especificação do microfone.

P = potência em watts (W);

P_e = potência elétrica, watts;

P_m = potência mecânica, watts;

P_a = potência acústica, watts;

p = pressão sonora em pascal (Pa) ou N/m^2;

S_M = sensibilidade do microfone em V/Pa;

v = velocidade linear m/s;

U = velocidade volumétrica m^3/s;

R_{in} = resistência de entrada do amplificador;

R_{out} = resistência de saída do amplificador;

R_m = transresistência.