

AULA

9

POTÊNCIAS HI-FI SOM AMBIENTE 3

- Amplificador Classe D - características
- Amplificador Classe D em ponte (bridge)
- Filtros finais - crossover - equalização
- Sonorização profissional PA (Public Address)
- Som ambiente e as linhas de 70V e 210V
- Processamento de áudio digital e saída DDX

AMPLIFICADOR CLASSE D

Vamos estudar agora uma outra classe de amplificação chamada de classe D, que apesar de existir há décadas, somente nos últimos anos é que passaram a ser utilizados em grande escala.

O amplificador classe D, caracteriza-se pelo funcionamento em corte e saturação dos transistores de saída, não permanecendo em meia polarização para amplificação da senoide de áudio, normal para os amplificadores convencionais. Isto traz um grande benefício, já que a dissipação de potência, em forma de calor, é muito pequena. Se fossem ideais, a eficiência energética seria aproximadamente 100%; mas na prática chegam perto de 80%. A letra D refere-se à continuação da série dos amplificadores (A, B, C, ...), mas muitas vezes é confundida como digital, não sendo correto, pois todo o princípio de funcionamento deste amplificador é analógico, apesar de alguns deles possuírem alguns controles digitais. O dispositivo elétrico assemelha-se

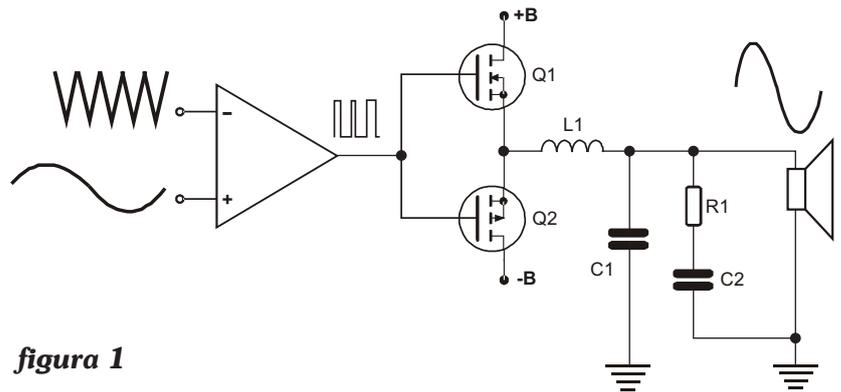


figura 1

mais com fontes chaveadas que com dispositivos digitais.

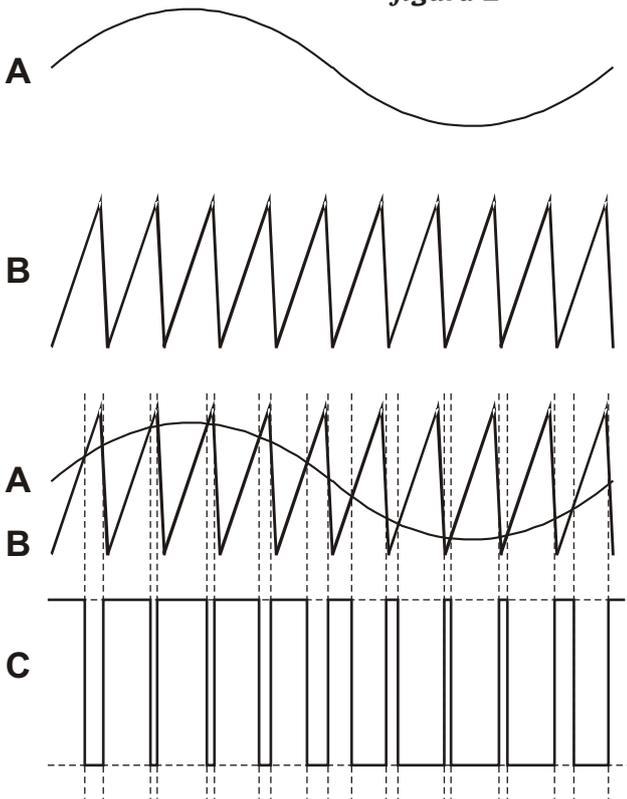
O circuito básico de funcionamento deste amplificador pode ser resumido na figura 1. Neste são usados transistores FET's complementares que operam como chaves, sendo que também poderiam ser usados transistores bipolares. Seus "gates" recebem a saída de um operacional, trabalhando como formador PWM, que compara o sinal de áudio com uma onda dente-de-serra, gerando uma onda retangular PWM (Pulse Width Modulator - Modulação por largura de pulso).

Quando o nível de saída do operacional é alto, Q1 satura levando a tensão de saída para +B, e quando o operacional fica em nível baixo, é Q2 que satura, cortando Q1, fazendo a tensão de saída ficar com -B. Com este corte e saturação dos transistores, teoricamente não haveria dissipação de potência, pois em saturação haveria corrente circulante por eles, mas não tensão entre dreno-source, e quando estivessem cortados, haveria tensão sobre dreno-source, mas não haveria corrente circulante, resultando em dissipação de potência zero (teoricamente).

O resultado é mostrado na figura 2, onde a tensão de saída é uma onda retangular (figura 2, forma de onda C), onde a largura dos pulsos, têm relação com a intensidade do sinal de entrada, uma espécie de modulação por largura de pulsos (PWM); a figura 2 mostra a comparação dos sinais de áudio (senoide) com a "dente-de-serra", gerando na saída do operacional a onda retangular mostrada em "C".

O filtro passa-baixas formado por L1 e C1 (figura 1) deixa passar para o alto-falante o valor médio da onda quadrada, recompondo o sinal senoidal (figura 2, forma de onda A). R1 e C2 atuam para eliminação de altas frequências (não audíveis), que poderiam gerar realimentações no amplificador, atrapalhando o trabalho

figura 2



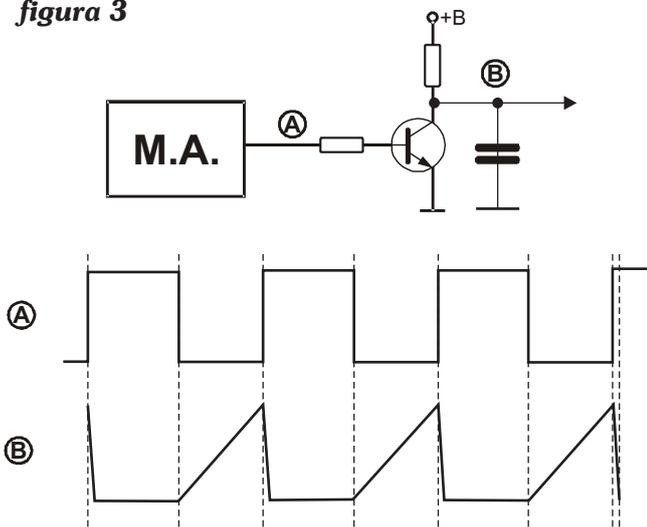
normal de corte e saturação dos transistores de saída, podendo inclusive levá-los à queima. Para uma boa interação do sinal de saída de áudio, a frequência da onda "dente-de-serra" deverá ter uma frequência muito maior que a frequência máxima do áudio em 20kHz. Os valores típicos estão na faixa de 100kHz a 500kHz, dependendo da fidelidade desejada.

Comparador PWM

A maioria dos amplificadores classe D é baseado num comparador PWM; a palavra PWM é a abreviação de Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulso) ou seja, transforma as variações em amplitude de um sinal, em variações na largura do pulso, mantendo a mesma frequência. Esta modulação é muito usada quando temos circuitos analógicos recebendo sinais ou comandos digitais (saídas do microprocessador por exemplo).

Para gerar a modulação na largura de pulso é preciso gerar uma onda quadrada ou retangular e

figura 3



posteriormente transformá-la em DENTE-DE-SERRA. Para gerar a onda pulsante pode-se utilizar um multivibrador astável e após aplicá-lo à um circuito integrador (figura 3).

O grande problema é que a onda DENTE-DE-SERRA permanece em um nível baixo (coletor do transistor) sempre que a onda quadrada estiver em nível alto (saída do multivibrador). Para tornar a onda DENTE-DE-SERRA correta, sem períodos de tensão contínua (nível baixo), podemos alterar o funcionamento do multivibrador astável de modo que no nível alto o tempo seja o mais curto possível e durante o nível baixo o tempo seja o mais longo possível. Assim na figura 4 temos detalhes do que foi exposto.

Notamos agora, que o tempo que Q1 fica saturado é muito menor que o tempo que Q2 fica saturado, devido à constante de tempo R3/C2 ser maior que a constante de tempo R2/C1. Assim, a forma de onda no coletor de Q2 é mostrada também na figura 4 na onda "A".

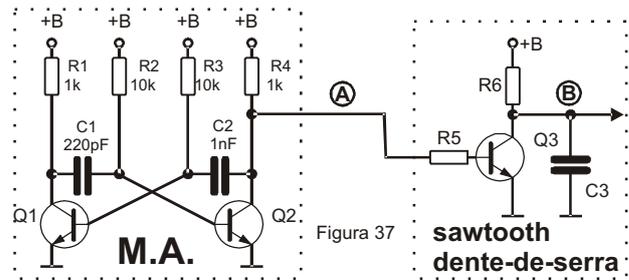


figura 4

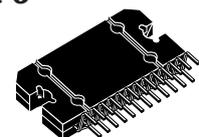
Quando o transistor Q3 estiver cortado, o capacitor C3 se carregará lentamente através de R6. Quando o pulso positivo atingir novamente a base de Q3, ele satura descarregando C3, reiniciando o ciclo.

O que foi visto até aqui, é o básico de um amplificador classe D. Outras implementações podem existir, como realimentação negativa para melhor qualidade e operação em ponte com 4 FET's. Como exemplo real, podemos pegar o integrado TDA7490, que é um amplificador estéreo de 25W + 25W (50W RMS); ele poderá ser usado como em amplificador classe D estéreo com 2 canais (L e R), como mostra a figura 5.

Neste diagrama podemos ver a configuração interna (resumida) do integrado com suas entradas L e R pelos pinos 10 e 18, já suas saídas para os alto-falantes serão pelos pinos 3 e 23. Temos ainda as realimentações negativas que serão feitas através do 1/2Vcc retornando para os pinos 7 e 19, controlando assim o ganho dos pré-amplificadores e diminuindo as distorções do sinal de saída.

Na figura 6, podemos ver o aspecto real do circuito integrado

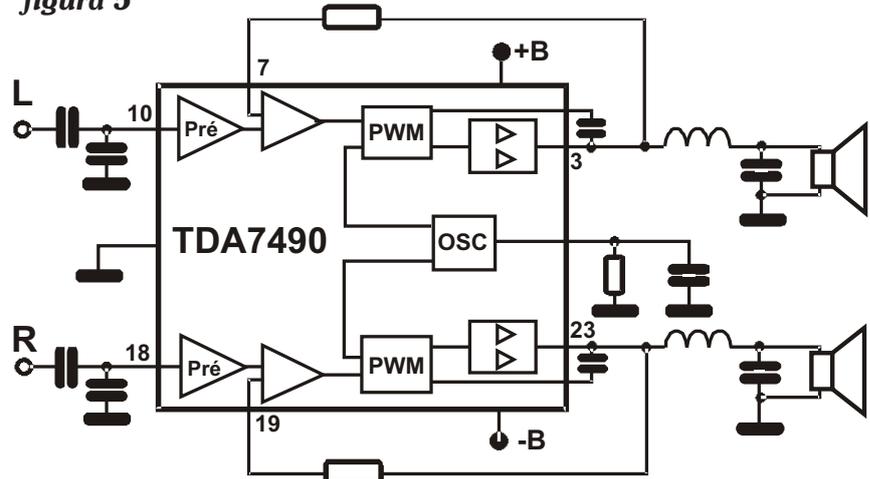
figura 6



Flexiwatt 25

ORDERING NUMBER: TDA7490

figura 5



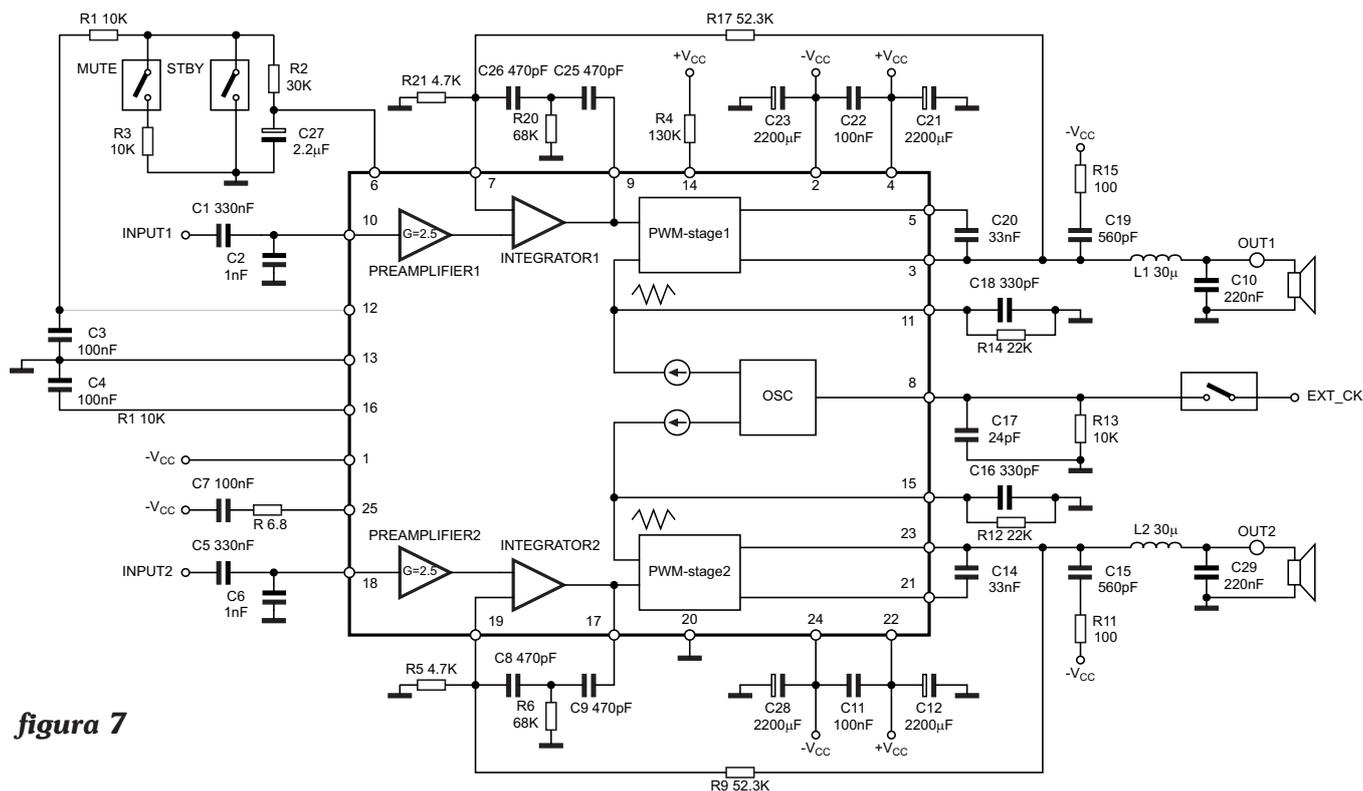


figura 7

TDA7490 e na figura 7 o diagrama elétrico completo deste amplificador classe D.

O que temos a destacar neste circuito, além do que já foi dito, é que existe uma realimentação negativa do pino 3 para o pino 7 (um canal) e do pino 23 para o pino 19 (outro canal).

A amostra que é pega no pino 3, deverá ser uma onda variando de +30V à -30V, ou seja, 60Vpp. Quando não há sinal de áudio, ainda assim haverá esta variação de 60Vpp, que deverá ter o semiciclo em exatos 50%, para que na média seja gerada uma tensão de exatamente zero Volt. Qualquer desvio nesta proporção exata entre os semiciclos positivo e negativo, gerará uma tensão DC acima ou abaixo da massa, causando corrente contínua circulante pelo alto-falante, aumentando o consumo e em casos mais graves podendo levar a queima o alto-falante ou a etapa amplificadora.

Assim, a variação da saída em 60Vpp será reduzida para cerca de 5Vpp nos pinos 7 e 19 (realimentação negativa)

e considerando que haverá uma realimentação por frequência do pino 9 para o pino 7, praticamente não haverá variação em alta frequência. O objetivo final será gerar uma tensão DC que na verdade representa o áudio, que irá atuar no comparador-PWM, que na ausência de áudio, mantenha o circuito de comutação de saída trabalhando exatamente com o mesmo período de tempo para cada um dos semiciclos

É bom que se note que a malha de realimentação negativa (pinos 7 e 19 do integrado), possui resistores de precisão e qualquer alteração deles, seja

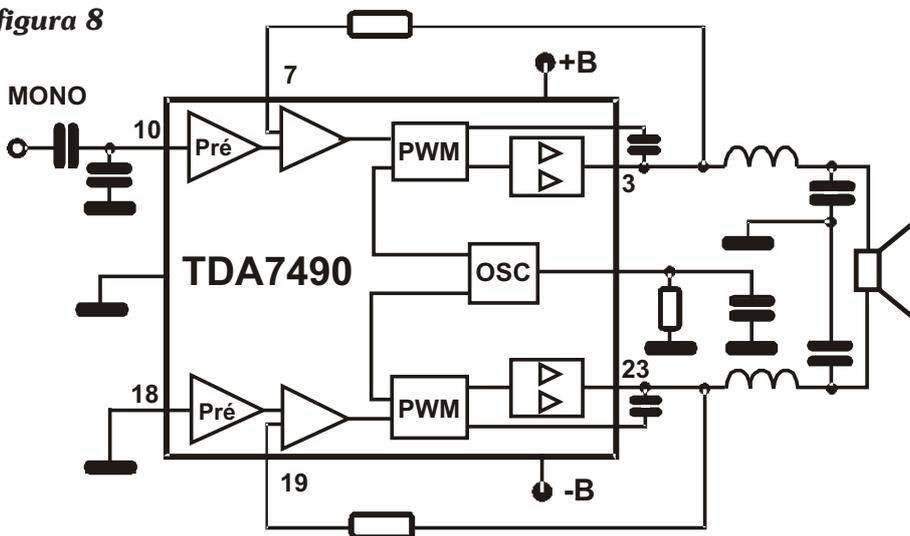
por defeito ou manipulação indevida do técnico, produzirá a imediata queima dos transistores de saída, caso não haja um circuito eficaz, que desligue os alto-falantes da saída de som.

Ainda destacamos que o integrado possui dois amplificadores internos, utilizando um circuito oscilador comum, para gerar a rampa ou dente-de-serra para atuar no circuito formador PWM. O capacitor formador de rampa, encontra-se no pino 8 do integrado.

Outra configuração que pode ser utilizada para o integrado TDA7490 é a configuração em ponte (bridge), que foi estudada nos capítulos anteriores, e este integrado permite muito bem esta utilização, como mostra o diagrama da figura 8.

Nesta configuração, temos apenas um canal mono cuja entrada é feita pelo pino 10 e a saída em ponte é feita pelos mesmos pinos 3 e 23, mantendo também a realimentação negativa pelos pinos 7 e 19; teremos então um amplificador de 50W.

figura 8



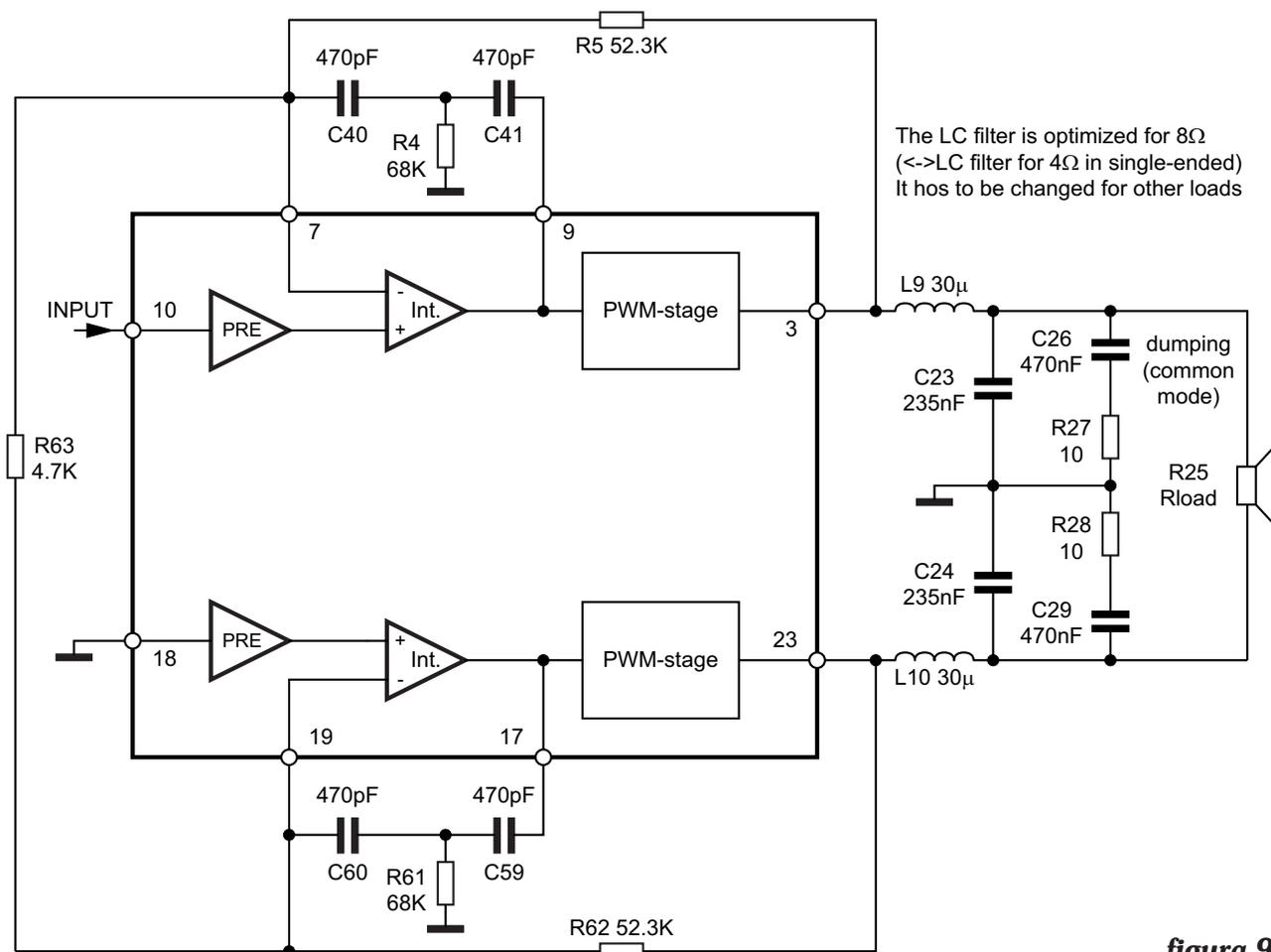


figura 9

Na figura 9, podemos ver o diagrama esquemático (diferenças do circuito anterior) do integrado TDA7490, sendo utilizado em ponte no formato mono.

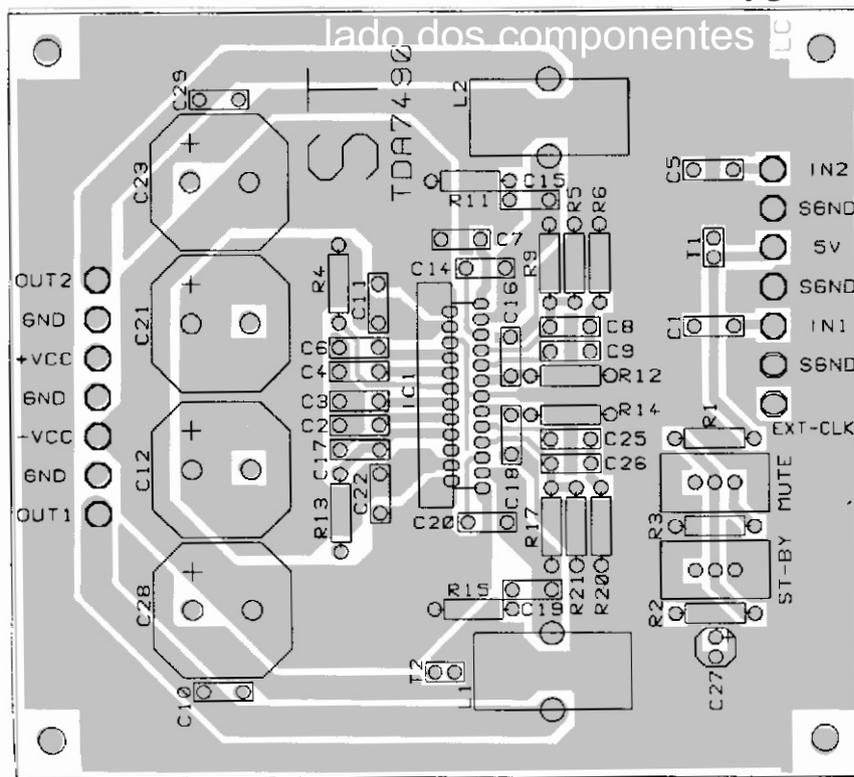
Novamente destaca-se aqui a preocupação com a malha de realimentação negativa, pois agora o alto-falante não estará posicionado na massa, mas nos pinos de saída de cada amplificador.

Quando não há sinal de áudio excitando o amplificador, as saídas continuarão funcionando e apesar da inversão de fase entre as saídas, os semiciclos deverão ser exatamente iguais, garantindo que na média o que sai de um pino seja exatamente igual ao outro.

Caso o aluno queira montar este amplificador classe D, na figura 10 é sugerido o desenho da placa de circuito impresso (lado dos componentes). Antes de iniciar qualquer montagem, sempre é bom fazer um levantamento se em sua região existe facilidade para obtenção dos componentes gerais (principalmente o integrado TDA7490). Para outras montagens de amplificadores classe D, sugerimos entrar no site da st microelectronics, onde lá haverá uma variedade muito grande desta classe de amplificação.

Existem muitas outras configurações para os amplificadores classe D, com ou sem integrado, todos eles baseando-se no mesmo princípio de chaveamento da saída de som.

figura 10



Características dos amplificadores classe D (TDA7490)

A seguir mostraremos uma série de gráficos que indicam a performance dos amplificadores classe D:

A figura 11, mostra-nos a distorção harmônica total (THD) pela potência de saída para uma carga de 8 ohms, com tensão de alimentação em 21V. Quando temos uma potência com cerca de 1W de saída, vemos que a distorção harmônica total, é menor que 0,03%; esta distorção aumenta consideravelmente quando chegamos próximos à 6W, atingindo cerca de 0,1% de distorção. Vemos então que a partir de 16W de potência de saída a distorção em níveis maiores, chegando a 1% (em 18 W). Acima de 20 W teremos uma distorção superior à 5%.

A figura 12, mostra-nos um gráfico muito semelhante ao anterior, diferindo apenas na tensão de alimentação aplicada na carga, que no caso é de 4 ohms. A única diferença substancial que podemos ver é um pequeno aumento na distorção em potência baixa até cerca de 6 W.

A figura 13, apresenta o nível de decibéis do crosstalk (distorção na passagem de condução de

um transistor para outro) em relação à frequência de trabalho. Vimos que se manterá de -55dB a -50dB, de 10Hz até 10kHz, o que também é uma característica muito boa.

A figura 14, mostra-nos a resposta de frequência deste amplificador, que se mantém em zero dB de 60Hz até 11kHz, apresentando uma queda de -3dB em 15kHz.

A grande característica do amplificador em classe D é apresentada na figura 15, que é a potência dissipada em calor, pela potência sonora entregue. Podemos ver que em uma potência de 2W, a dissipação de calor é de 2,5W (considerada pequena). A medida que o amplificador vai aumentando sua potência sonora, dissipação de calor aumenta pouco. Em 6W de saída de som, temos 3W de dissipação de calor. Em 10W de saída, pouco mais de 3,5W de dissipação de calor e em 20W sonoros, pouco mais de 5,5W de dissipação de calor.

A figura 16, nos dá a distorção no som pela potência, quando o integrado é colocado na configuração bridge (ponte). Podemos dizer que não houve variações consideráveis e que a distorção se mantém em níveis muito bons até cerca de 36W.

figura 11

Distortion vs. Output Power

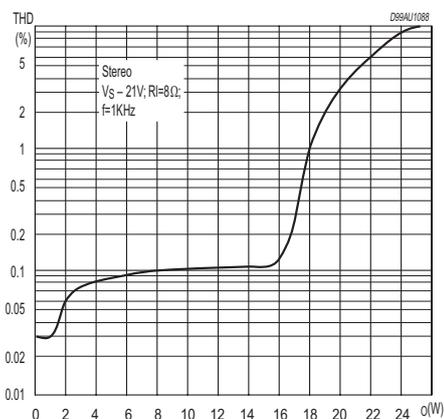


figura 12

Distortion vs. Output Power

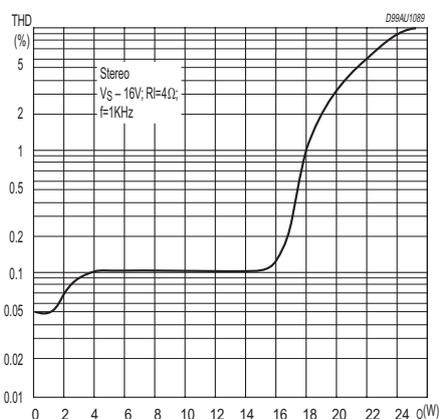


figura 13

Crosstalk vs. Frequency

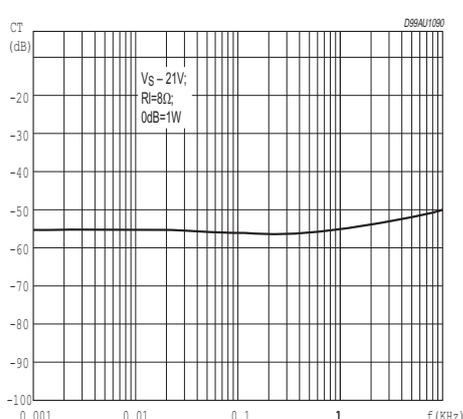


figura 14

Frequency Response

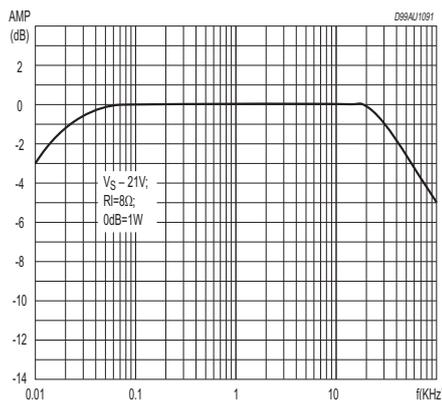


figura 15

Power Dissipation vs. Output Power

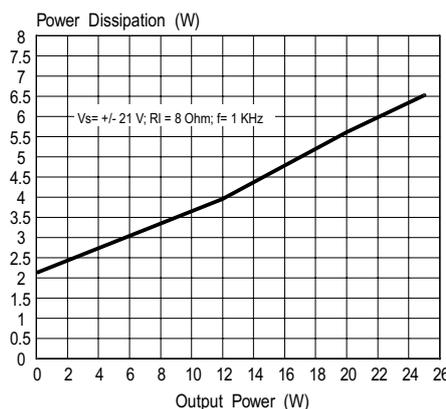
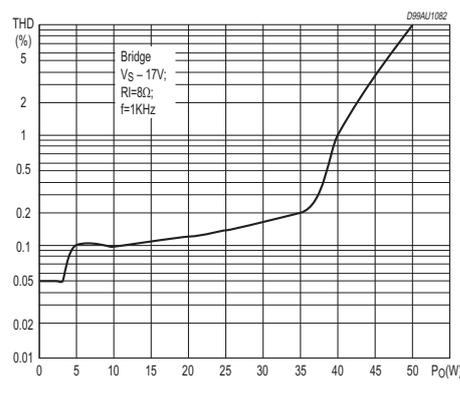


figura 16

Distortion vs Output Power in BTL



FILTROS FINAIS – CROSSOVER - EQUALIZAÇÃO

O sinal de áudio é formado por uma série de frequências que somadas apresentam-se como mostrado na figura 17. Nesta forma de onda podemos visualizar uma frequência média que está ondulando (seu nível geral sobe e depois cai), e mais uma alta frequência, que aparece nos picos dessa frequência média. Na verdade, a figura é uma junção de três frequências bem distintas, como mostramos na figura 18.

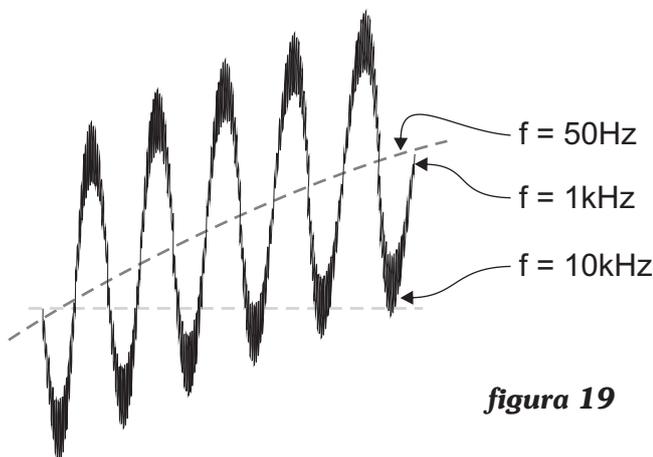
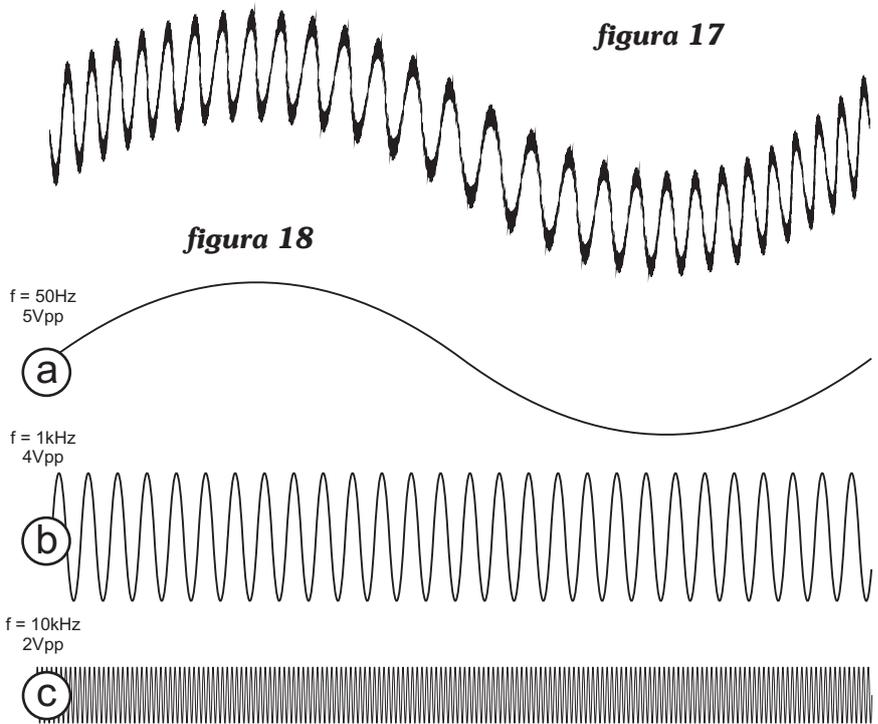
Podemos ver que na figura 18a, temos uma frequência de 50Hz com 5Vpp, enquanto que na figura 18b, temos uma frequência de 1kHz com 4Vpp; finalmente, na figura 18c, temos uma frequência de 10kHz com uma amplitude de 2Vpp.

A ondulação no sinal que aparece na figura de 17, diz respeito ao sinal de áudio de baixa frequência (50Hz); já as variações de alta frequência nos picos do sinal são as variações do sinal de 10 kHz.

Podemos dizer assim, que as frequências mais baixas transportam as frequências mais altas. Na figura 19, mostramos em detalhes a mistura dessas três frequências. A figura tracejada no centro da forma de onda, na verdade não existe, mas indica que está havendo uma variação de baixa frequência. As frequências de 1kHz e 10kHz podem ser melhor visualizadas. Dependendo do ajuste ou do tempo de varredura que posicionamos o osciloscópio, poderemos visualizar a baixa frequência presente no sinal. Lembramos que o osciloscópio poderá sincronizar uma das frequências mostradas, variando em muito o que se observa na tela. Considerando que o sinal de áudio é composto de muitas frequências e muitas delas ocorrem ao mesmo tempo, caberá ao amplificador de potência, amplificar os sinais para a saída, mantendo-os com a mesma amplitude da entrada para toda e qualquer frequência (audível). Considerando agora que todas essas frequências juntas são aplicadas a um alto-falante, já poderemos visualizar a dificuldade de reprodução de todas elas. Apesar de existirem alto-falantes chamados de "full-range" que trabalham com toda a faixa de frequências, eles na

verdade, não conseguem reproduzir de forma eficaz todas as frequências que um amplificador entrega à carga.

Temos na figura 20, uma amostra dos diversos tipos de alto-falantes existentes no mercado. Na figura 20a, temos chamado tweeter, que além de possuir um cone menor, possui grande rigidez neste. O motivo disso, está



no fato de que as frequência as altas, como a palavra já diz, movimentarão o cone milhares de vezes no segundo, sendo que o movimento inercial (do cone) ocorre de uma forma muito rápida. O tweeter trabalhará com frequências superiores a 5 kHz.

Na figura 20b, temos o chamado "mid-range" ou "full-range" que têm como função trabalhar com frequências entre 1kHz até cerca de 8kHz. Apesar de possuir um cone relativamente rígido, já possui certa mobilidade, permitindo que o movimento inercial ocorra com frequência mais baixa.

Na figura 20c, podemos ver outro "mid-range" ou "full-range", mas de dimensões maiores, que poderá trabalhar com e frequências acima de 200 Hz chegando até cerca de 5 kHz (reproduz até frequências maiores, mas com menor nível). Este alto-falante é ideal para amplificação da voz humana, que está dentro da faixa de frequência mencionada acima.

Finalmente temos o alto-falante chamado de "woofer", que se incumbirá de reproduzir frequências em torno de 100 Hz até cerca de 1 kHz (figura 20d). Ainda existem alto-falantes "woofer" capazes de reproduzir frequências abaixo de 20 hertz, mas para isto deverão ter um cone de grande dimensões (15 polegadas ou mais).

Voltando agora à etapa amplificadora de potência, havíamos dito que o amplificador entregará ao alto-falante uma grande faixa de frequências, como mostra a figura 21a. O alto-falante "woofer" ou "full-range", está recebendo toda a faixa de frequência da saída do amplificador, sendo que ignorará as altas frequências devido à sua indutância e também ao seu cone que

figura 20

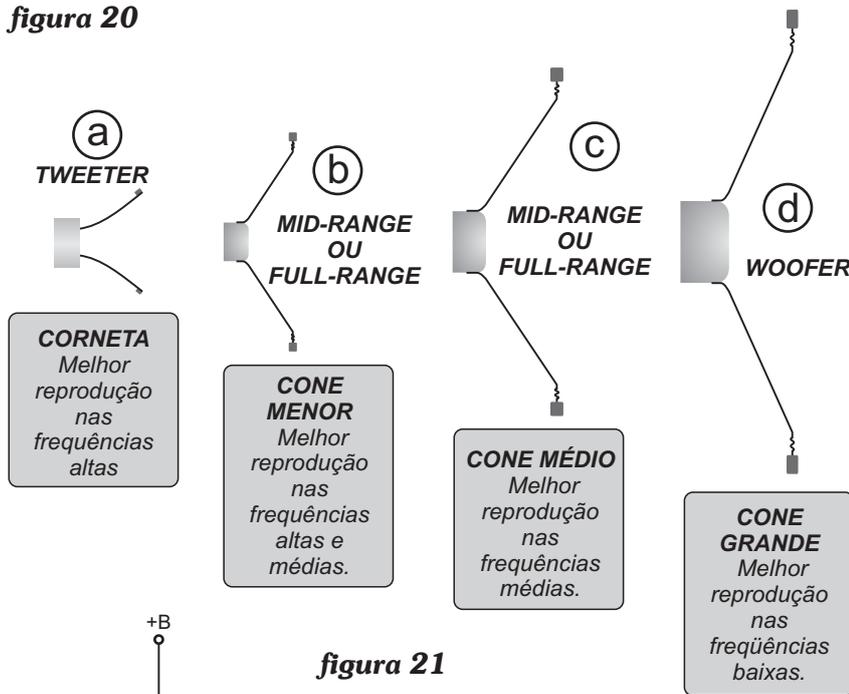


figura 21

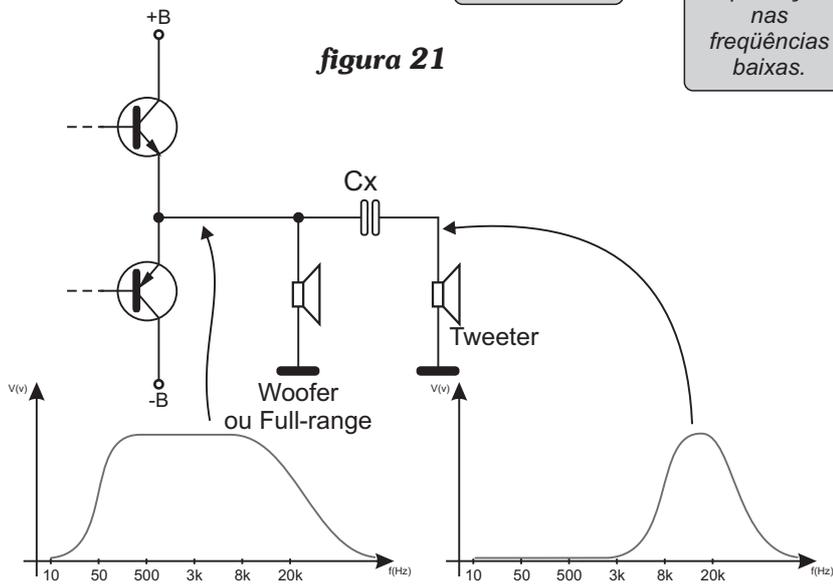
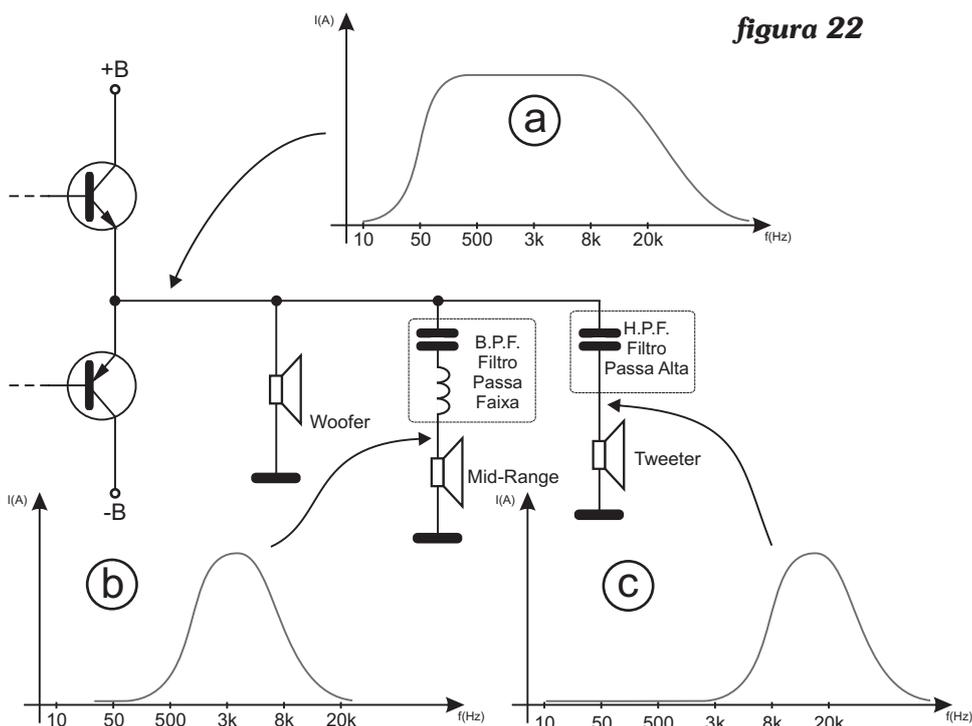


figura 22



possui boa mobilidade. Uma parte do sinal de áudio, será acoplado via capacitor C_x para o "tweeter". Neste acoplamento passam somente as frequências altas, evitando assim que o "tweeter" receba baixas frequências. Este acoplamento via capacitor é muito importante, pois caso o tweeter seja ligado diretamente à saída do amplificador, poderá sofrer sobrecarga, ou seja, uma alta corrente circulante, que poderá levar danos à bobina deste (aquecimento), causando curtos de espiras ou ruptura.

Esta técnica de utilizar um capacitor de acoplamento para separar alta frequência e direcioná-la ao tweeter é muito usada, apesar da baixa qualidade. O ideal seria um filtro passa-alta mais eficaz. Na figura 21b, podemos ver as frequências que acabam passando pelo capacitor C_x e chegando até o tweeter.

Na figura 22, temos novamente o amplificador, levando uma faixa de frequência de 50 Hz até cerca de 18 kHz aos alto-falantes. Toda esta faixa vai diretamente para o alto-falante de baixas frequências (woofer), como mostrado no filtro 22a; para o falante mid-range, acaba passando uma faixa de frequências de 500Hz até 8 kHz (22b) e finalmente para o tweeter, acaba passando a faixa de frequência de 6kHz até 20kHz (22c).

Como dissemos anteriormente, toda faixa de frequências é levada ao alto-falante woofer, sendo que na verdade este deveria reproduzir as faixas de 50Hz até o máximo 1kHz. Para que ele não receba frequências que não lhe competem reproduzir,

poderemos fazer um filtro passa baixa, utilizando um indutor em série com ele e um capacitor em paralelo, como mostramos na figura 23.

Apesar dos filtros serem relativamente eficazes quanto à frequência, introduzem distorções no sinal amplificado, além apresentarem perdas em dissipação de calor.

Para termos ideia de como é importante ter um filtro de qualidade, basta lembrar que o próprio alto-falante pode ter uma diferença de qualidade muito grande na reprodução de sons, dependendo da qualidade do fio, imã e cone, além da estrutura geral de sustentação.

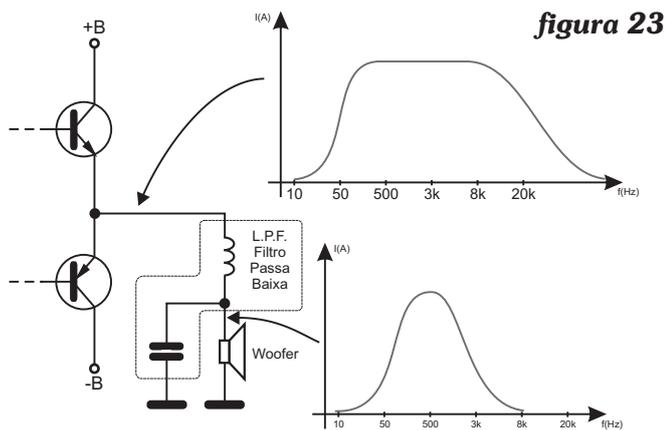


figura 23

OS FILTROS ATIVOS - O CROSSOVER

Como havíamos dito anteriormente, na saída de som temos uma baixa impedância, ou seja, uma grande circulação de corrente tanto no alto-falante como nos filtros que separam as frequências que irão à eles. Também como dissemos, tanto os alto-falantes com os filtros deverão ter alta qualidade nos materiais e montagem, para que a qualidade sonora não seja prejudicada.

Uma das formas de se excitar diretamente aos falantes (woofer, mid-range e tweeter), seria aplicar filtros ativos ainda no pré-amplificador, de forma a deixar passar cada uma das faixas específicas de amplificação dos respectivos alto-falantes.

A figura 24, ilustra bem o que estamos dizendo, pois o sinal de áudio, que possui uma resposta de frequência variando de 50Hz a 20 kHz, entrará em três vias de um pré-amplificador que possui filtros específicos, sintonizados nas frequências de 500Hz, 4kHz e 10kHz. Assim, na saída do primeiro BPF, teremos um sinal de áudio com resposta de frequência variando de 50Hz a 3kHz, que excitará um canal de amplificação de potência independente, e sua saída, diretamente ao alto-falante (woofer).

O mesmo sinal de áudio da entrada, passará também por um BPF de 4 kHz, ou seja, deixará passar frequências que variam de 1kHz a cerca de 8kHz. Este sinal de áudio, com faixa de frequência bem definida iria para um outro canal de amplificação de potência independente, que por sua vez excitaria diretamente o falante mid-range. Finalmente, o mesmo sinal de áudio da entrada, entrará em um BPF de 10kHz, permitindo a passagem de sinais que variam de 6kHz até cerca de 20kHz. Este sinal de áudio, já filtrado em alta frequência, entrará em um outro canal de amplificação de potência independente, excitando assim diretamente o alto-falante tweeter.

Considerando que na cadeia Hi-Fi, a qualidade dos alto-falantes tem importância fundamental, a não utilização de filtros passivos nas saídas de som, não inseriria

distorções desnecessárias, visto que já estamos filtrando as frequências específicas em um pré-amplificador de grande qualidade.

O equipamento que recebe um sinal de áudio em sua entrada (com banda passante de 20Hz até 20kHz), e entrega três ou mais saídas com sinais de áudio com frequências de resposta em determinadas faixas, é chamado de **crossover**. Esse aparelho é muito utilizado, quando necessita-se de grande potência sonora, sem perda na qualidade do som (ele evita a utilização de filtros passivos antes dos falantes).

Na figura 25, podemos ver a diagramação esquemática de um aparelho crossover, que possui uma entrada e três saídas de frequências independentes. Podemos ver ainda que esse equipamento, poderá ajustar os níveis de saída de cada uma das frequências selecionadas; este equipamento ainda dispõe de saídas de potência independentes, indo acionar diretamente os respectivos alto-falantes de graves, médios e agudos.

O sinal de áudio, com frequência entre 20Hz e 20 kHz, entrará pelo capacitor C11, e no primeiro amplificador operacional formado pelo integrado CI0. Neste operacional não haverá ganho de tensão, apesar do sinal ser reforçado em corrente, e distribuído à uma série de outros operacionais; começa aqui a etapa de separação das frequências específicas através de filtros ativos.

Os componentes R5, R6 e C20, serão responsáveis por deixar passar somente as frequências baixas, sendo essas frequências amplificadas pelo CI4A. O sinal de áudio com faixa de frequência variando de 20Hz a cerca de 2kHz passará por um ajuste de nível (potenciômetro P1G), indo à uma etapa amplificadora de potência (pino 1 do CI5G – G de graves). Este é o integrado de amplificação convencional classe AB, possuindo realimentação negativa aplicada ao pino 9.

A voltando novamente ao CI0 (reforçador de áudio), podemos ver que também entrega o sinal de áudio ao CI4C, que possui em sua entrada em um filtro passa-alta a partir de 1kHz; logo após, o sinal passará pelo amplificador e por um outro filtro (passa-baixa), que deixará passar frequências até no máximo 8kHz.

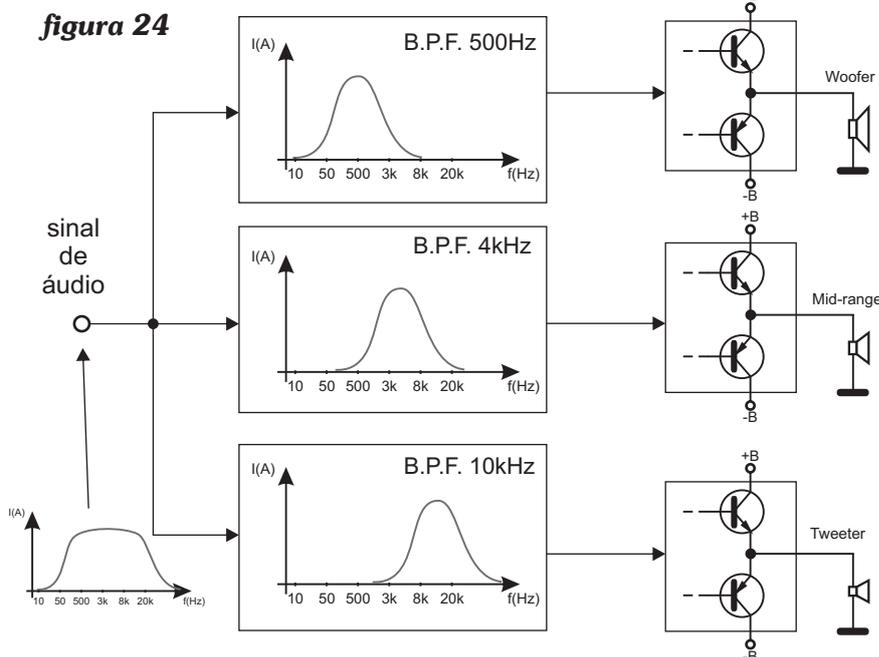


figura 24

Combinadas as atuações dos integrado CI4C e CI4D, amplificaremos uma faixa de frequência variando de 1 kHz a 8 kHz. Esta faixa de frequência vai passar por um ajuste de nível (P1M) e entrar no pino 1 do circuito integrado CI5M (M de médios), que fará amplificação em potência para as frequências médias. Finalmente, o sinal de áudio presente na saída do CI0, passará por um filtro passa alta, com corte acima de 6

kHz, sendo que o sinal filtrado será amplificado pelo CI4B, indo ao controle de nível P1A, entrando no pino 1 do integrado CI5A (A de agudos). Este amplificador será responsável pela excitação do tweeter. Esse equipamento será utilizado quando se deseja uma boa qualidade com média potência e principalmente estando tudo presente em um único módulo, agilizando o transporte e utilização.

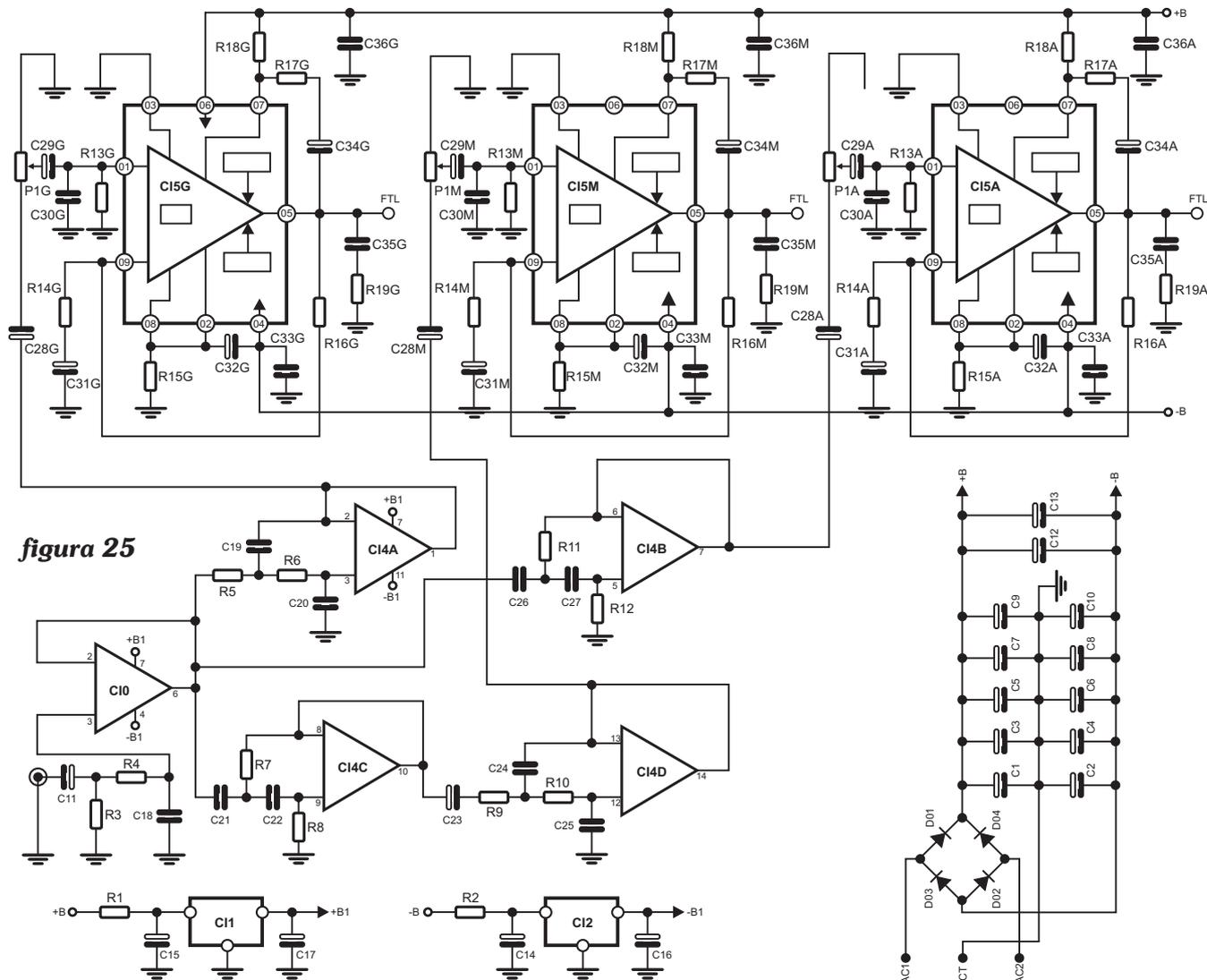


figura 25

SISTEMAS DE SONORIZAÇÃO PROFISSIONAL

A figura 26, mostra-nos de forma resumida como é um pequeno sistema de sonorização profissional, composto por mesa de som, crossover, amplificadores de potência e caixas acústicas.

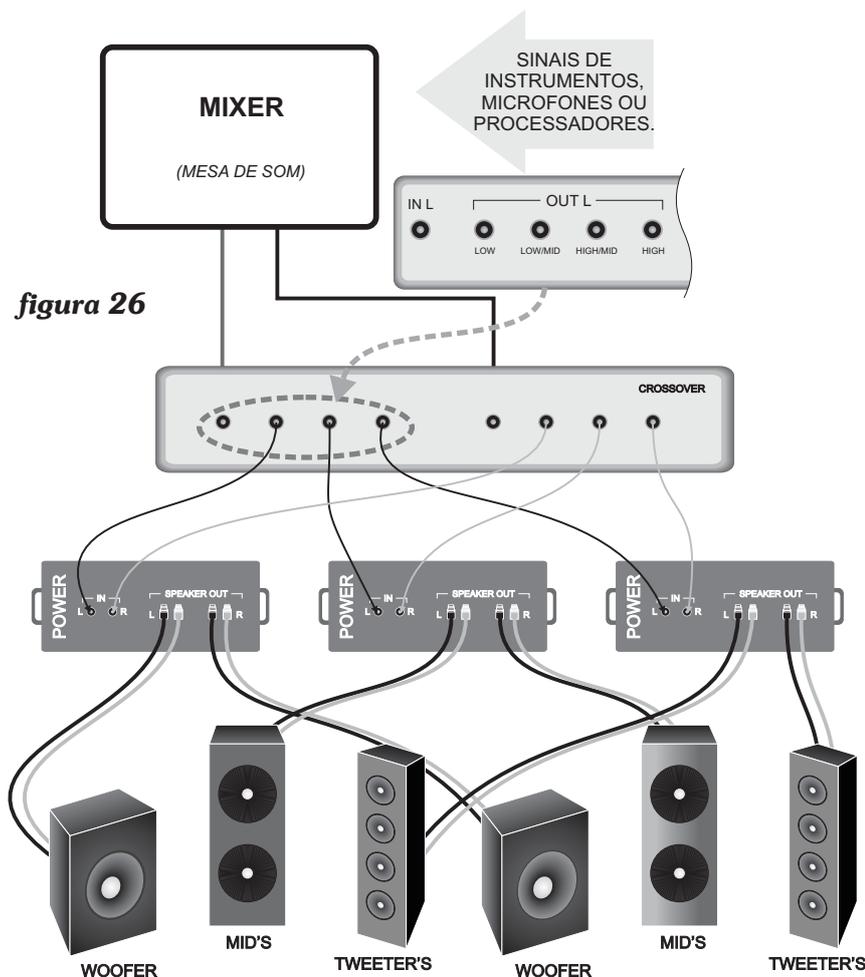
O mais interessante a se destacar neste sistema é que as caixas de som não possuem alto-falantes colocados de forma convencional, ou seja, alto-falantes para graves, médios e agudos utilizando filtros passivos, mais sim, caixas que possuem somente alto-falantes para graves (woofer), médios (mid-range) e agudos (tweeter ou driver's). **Pode-se também utilizar caixas que apesar de possuírem woofer's, mid-range's e tweeter's, possuam entradas independentes para excitação de cada um destes alto-falantes.**

A mesa de som ou mixer, receberá os sinais provenientes de diversas fontes: microfones de vozes, microfones de bateria, microfones do ambiente, instrumentos musicais

(violão, guitarra, teclado, etc), ou ainda sinais de processadores gerais de som.

Um dos principais objetivos da mesa será agrupar todos os sinais e entregá-los para a amplificação de potência em um ou dois canais. Além disso, poderemos fazer a equalização individual de cada uma das fontes ou ainda aplicar efeitos diversos (compressão, atraso, etc).

Na saída do mixer, teremos o sinal de áudio pronto para ser amplificado em potência. Neste sistema, o sinal de áudio entrará em um crossover, pela entrada IN-L e também pela entrada IN-R (mostramos em detalhes a entrada IN-L e também as saídas do crossover). Vemos que após o crossover, haverá três amplificadores de potência (poderia haver quatro ou mais amplificadores, caso fossem utilizadas as duas faixas de frequências médias, ou então, excitação de um sub-woofer), cada um trabalhando em uma determinada faixa de frequência.



A saída do crossover OUT-L-LOW, será aplicada à entrada L de um amplificador de potência, que irá trabalhar somente com frequências baixas. A saída OUT-R-LOW, será aplicada à entrada R do mesmo amplificador de potência, que também irá trabalhar somente com frequências baixas. Há de se destacar aqui que este amplificador deverá possuir uma potência de no mínimo 50% a mais do que o amplificador utilizado para as frequências médias.

Este amplificador para as frequências baixas, será ligado às caixas acústicas que possuem somente falantes woofer (cones de 12 à 18 polegadas).

A saída do crossover OUT-L-LOW-MID (frequências médias-baixas) ou OUT-L-HIGH-MID (frequências médias-altas) será aplicada à entrada L de outro amplificador de potência, que irá trabalhar somente com frequências médias. A saída OUT-R-LOW-MID (frequências médias-baixas) ou OUT-R-HIGH-MID (frequências médias-altas), será aplicada à entrada R do mesmo amplificador de potência, que também irá trabalhar somente com frequências médias.

Este amplificador das frequências médias, será ligado às caixas acústicas que possuem somente falantes mid-range (baterias de médios).

A saída do crossover OUT-L-HIGH, será aplicada à entrada L de um terceiro amplificador de potência, que irá trabalhar somente com frequências altas. A saída OUT-R-HIGH será aplicada à entrada R do mesmo amplificador de potência, que também irá trabalhar somente com frequências altas. Há de se destacar aqui que este amplificador poderá ter metade da potência em relação ao amplificador utilizado para os graves.

A saída deste amplificador das frequências altas, será ligado aos tweeter's ou driver's (baterias ou driver's).

Na figura 27, podemos ver um sistema Hi-Fi, utilizando aparelho crossover para separação das frequências do áudio no modo estéreo. Vemos que possui três amplificadores independentes, sendo o "power 1" responsável pela amplificação dos graves. O "power 2" se incumbirá de amplificar os sinais médios e o "power 3" os agudos. Neste arranjo, haverá caixa direita e esquerda somente de graves; do mesmo modo será feito para médios ou agudos. Poderá ser utilizada somente duas caixas para canal L e R, desde que tenham entradas independentes para cada um dos falantes.

figura 27

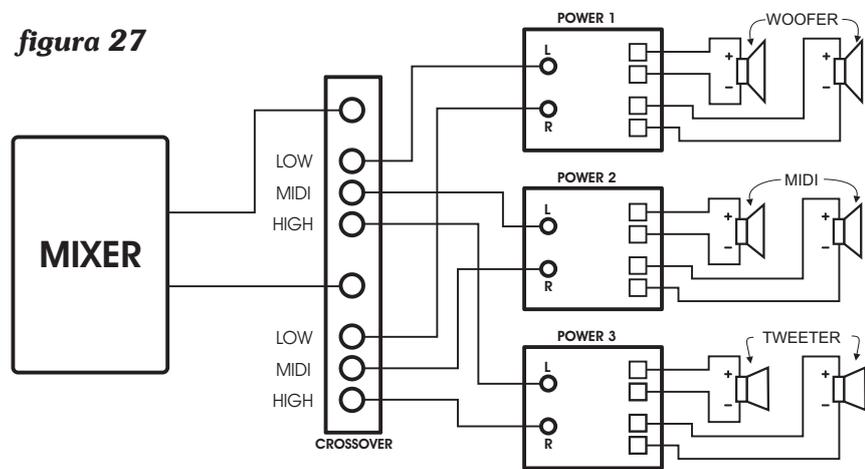
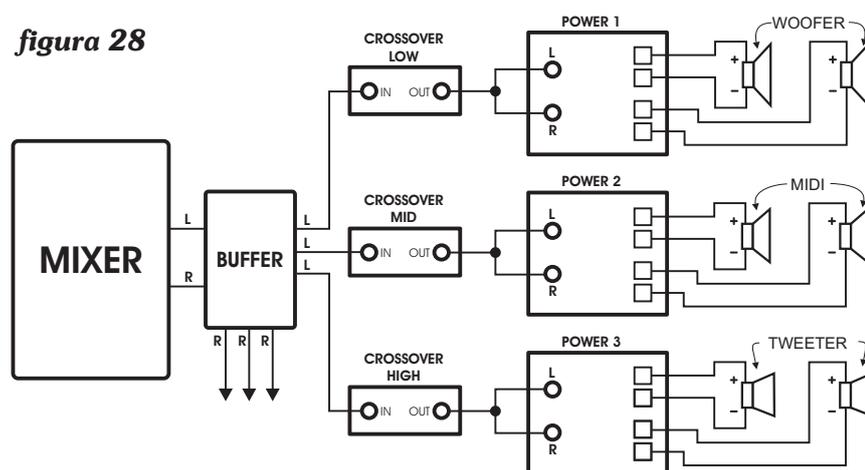


figura 28



Esta ligação utiliza-se para sistemas de "home theater" sofisticados, onde se quer estereofonia, ou efeitos surround, priorizando a qualidade do som. Para amplificação dos sinais surround, deverão haver amplificadores e caixas complementares (incluindo a caixa central). Ao mesmo pode-se dizer do circuito apresentado na figura 28, onde vemos crossover independentes para cada frequência, utilizando-se assim 6 sistemas independentes de sinais (3 como é mostrado na figura e mais 3 saídas que apesar de não serem mostradas utilizam a mesma diagramação). Apesar dos sistemas anteriores terem sido apresentados com amplificação estereofônica, ou seja, amplificação dos sinais em dois canais independentes (L e R), a sonorização em sistemas para grandes públicos não utiliza a técnica estereofônica, sendo o sinal amplificado de forma monofônica, mesmo que a reprodução seja feita por dois canais ou mais.

Public Address (PA) e o Ponto Único

Os sistemas de sonorização direcionados a grandes públicos, são chamados de PA (Public Address). Utilizam grandes potências sonoras, normalmente visando "impactar" as pessoas.

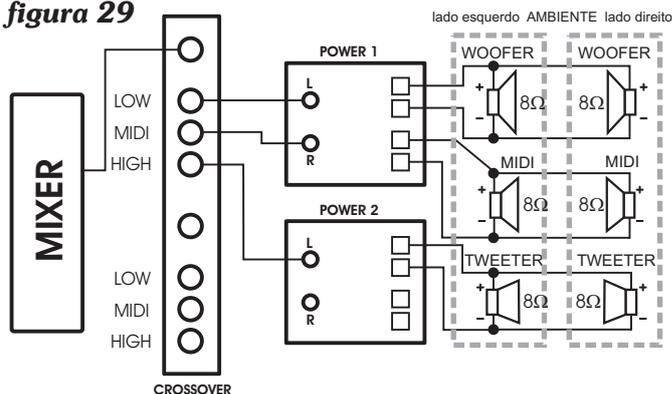
Na figura 29, podemos ver a configuração mais simples dos sistemas PA, onde uma das saídas da mesa (mixer-misturador), vai até um crossover, onde são feitas as separações em frequência (Low-Mid-High), indo somente a dois amplificadores, sendo que um dos canais (canal L) será responsável pela amplificação dos graves; o canal R do mesmo amplificador, será responsável pela amplificação dos médios. Já o outro amplificador será responsável somente em amplificar o sinal dos agudos, utilizando apenas um canal.

Como as saídas possuem alto-falantes de 8 ohms, eles são colocados em paralelo, ficando uma impedância de 4 ohms para cada canal. Notem que apesar de estarem ligados em paralelo, um dos alto-falantes estará de um lado do teatro (lado esquerdo) e o outro falante (trabalhando com o mesmo sinal e frequência), do outro lado do teatro.

O problema das reflexões Ondas Estacionárias

O grande problema do sistema PA, mostrado na figura 29, ocorre em recintos fechados, pois as reflexões dos sinais nas paredes-obstáculos do ambiente, geram sinais com algum atraso, gerando inclusive eco para o próprio ambiente. Outro grave problema é a geração das chamadas "ondas estacionárias" (somatórias e subtrações entre o sinal principal e os sinais atrasados-refletidos), que criam regiões de grande pressão sonora (som alto) e outras de pequena pressão sonora (som baixo). A figura 30,

figura 29



mostra o problema de posicionamento das caixas acústicas para amplificação PA.

Não estamos falando da distância da fonte geradora do som (caixas acústicas), mas de zonas próximas a elas que apresentarão este efeito. Podemos dizer que para frequências baixas (100Hz) uma zona de alta pressão sonora mudará para baixa pressão sonora em uma distância de dois ou três metros. Já para altas frequências, haverá zonas de maior ou menor pressão, distanciadas por alguns centímetros.

Quanto maior quantidade de paredes lisas, maior quantidade de reflexões, conseqüentemente gerando ondas estacionárias. Quanto menos fontes de sinal (caixas acústicas) ou reflexão, menos ondas estacionárias. Para verificação da incidência das ondas estacionárias, basta colocar na mesa de som um gerador de funções com frequência entre 60 e 100Hz, e reproduzir o sinal com potência normal para eventos. O ouvinte deverá deslocar-se em várias partes do ambiente e encontrar facilmente as zonas de grande pressão ou pequena pressão sonora. Isto poderá também ser feito com outros sinais de frequências maiores.

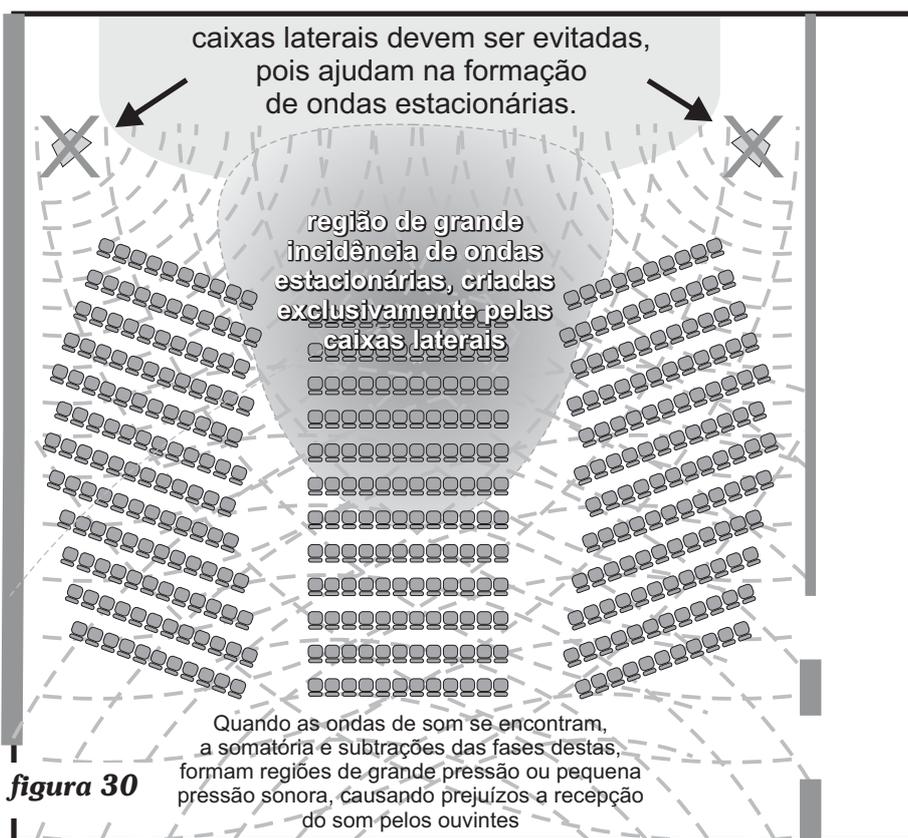


figura 30

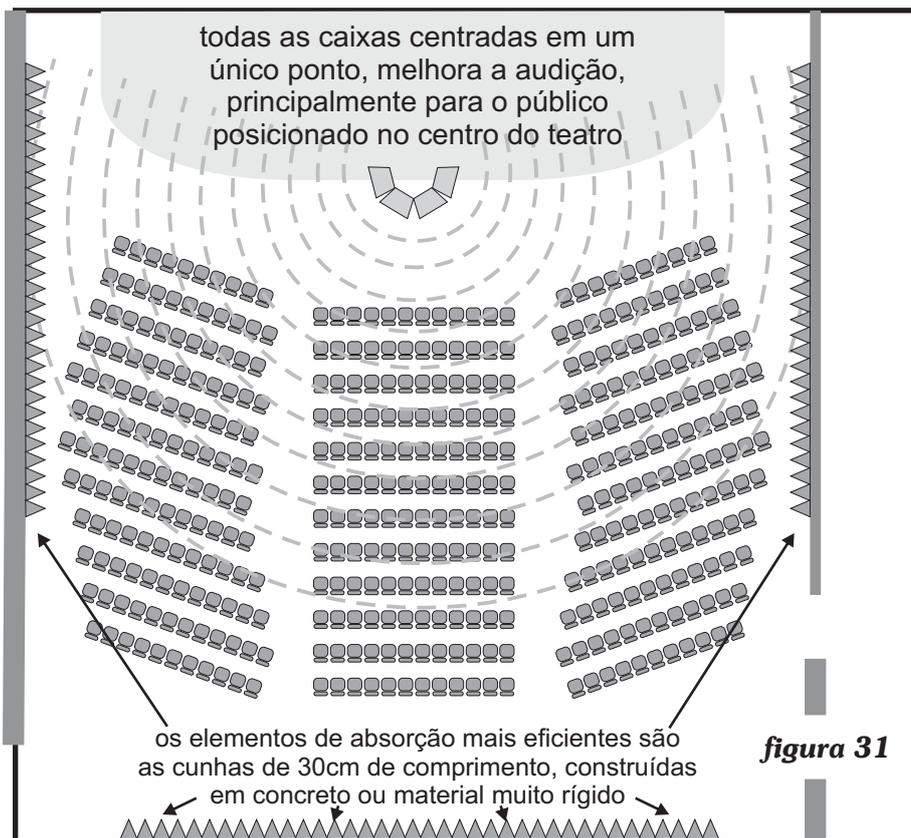


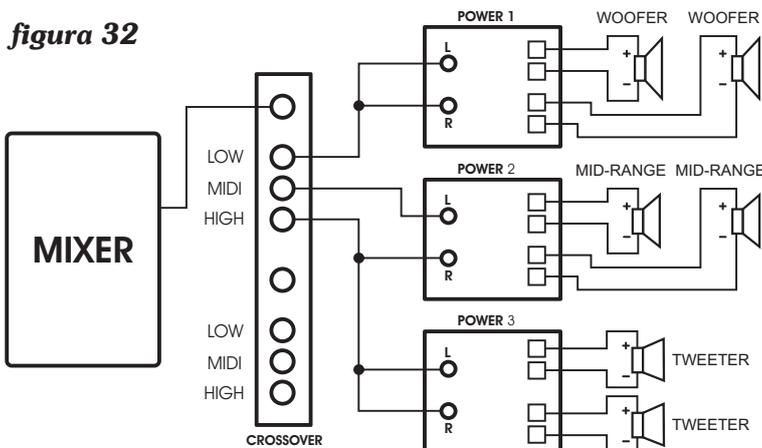
figura 31

Assim, deve-se fazer tratamento acústico no ambiente, lembrando que o chamado "Sonex" (material de revestimento de paredes ou teto, para absorção do som), tem pouca eficácia para frequências abaixo de 1kHz. Para evitar reflexões de graves deve-se fazer cunhas (bem agudas) preferivelmente de concreto e posicionadas na parede (como mostradas nas paredes laterais da figura 31).

Além disso, devemos destacar que a sonorização ambiente para grandes potências, deve ser projetada preferivelmente para que tenhamos um ponto único de liberação de som, ou seja, o conjunto de falantes (woofer's, mid-range's e tweeter's ou driver's) devem estar no mesmo ponto.

Ter as caixas acústicas reunidas em um único ponto (figura 31), diminuirá a incidência de ondas estacionárias, e conseqüentemente melhorará a qualidade da captação sonora pelo ouvinte, considerando os diversos pontos do ambiente em que o ouvinte poderá estar.

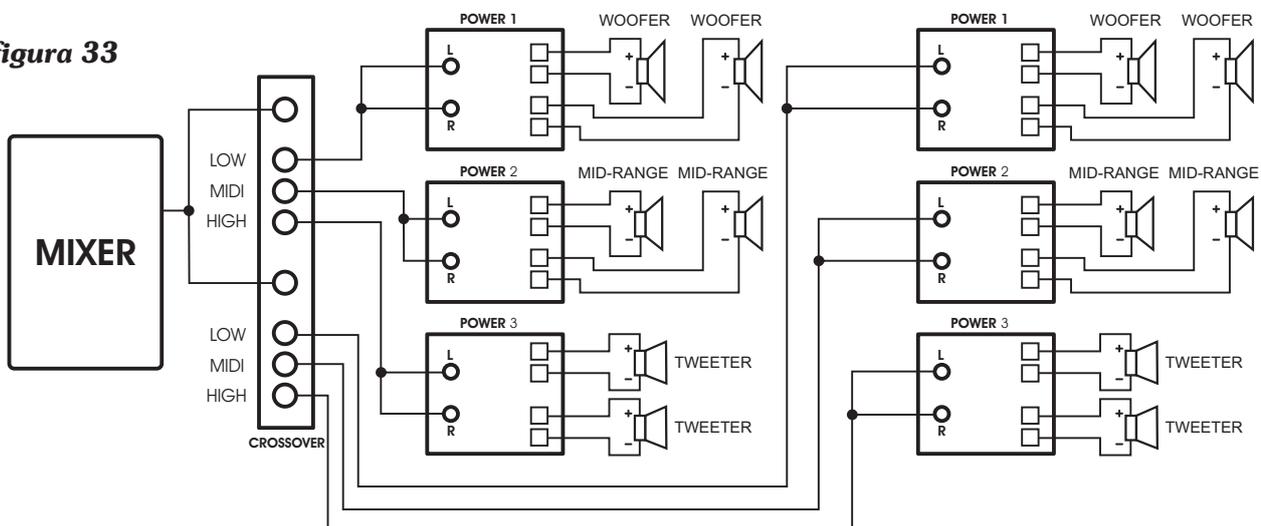
figura 32



Após entendido o funcionamento e a vantagem do ponto único, na figura 32, mostramos mais um sistema de ligação dos amplificadores PA. Nodem agora que estamos utilizando um amplificador para cada banda de frequência, ou seja, o "Power 1", trabalhará excitando somente os alto-falantes woofer's; o "Power 2" trabalhará excitando os falantes de médios (mid-range) e o "power 3" excitará somente os agudos ou baterias de tweeter's ou driver's. A única diferença deste sistema de ligações em relação à figura 29, é obter o dobro de potência sonora. Finalmente na figura 33, temos um sistema de PA, utilizando seis amplificadores e um total de 12 falantes.

Devemos destacar que no sistema de ligação em PONTO ÚNICO, deve-se colocar um mínimo de 4 caixas (como mostrou a figura 31)

figura 33



para que o sinal acesse os ouvintes em um ângulo de 180°. Apesar da propagação angular dos sinais graves ser ampla, a dos agudos será mais direcional e com ângulo reduzido. Assim, pode ser necessário cinco ou

mais cornetas (driver's) para cobrir todo o ângulo (180°). Para saber, basta consultar nos detalhes técnicos de cada fabricante, o ângulo de cobertura de cada falante .

O SOM AMBIENTE - LINHA DE 70 E 210 VOLTS

O sistema de som ambiente, diferentemente do sistema PA, necessita de pequenas potências em cada um dos pontos de execução de som (de 1W à 2W em funcionamento normal e no máximo 25W), apesar de que, na somatória de todas as caixas, podemos atingir centenas ou até milhares de watts.

O sistema é monofônico, ou seja, em uma única caixa, temos todas as informações do sinais que estariam no canal L e R (mesmo modo de trabalho para o sistema PA).

O grande problema da sonorização ambiente é a extensão dos fios que ligam o amplificador às caixas acústicas, chegando à centenas de metros. Disto, podemos concluir que se em uma dada metragem de fio, existe uma determinada resistência, centenas de metros multiplicará esta resistência centenas de vezes, criando não só um problema de impedância para a saída do amplificador, com distorções de sinal (saída de som feita para 4 ou 8 ohms, que dependendo da distância dos fios encontrará cerca de 50 ohms ou mais), mas também com respeito à excitação final das caixas, visto que elas receberão pouco mais de 10% de potência do amplificador (perda de potência nos próprios fios).

Isto foi resolvido com a instalação de um transformador elevador de tensão, também chamado de linha de 70V ou 210V, cujo primário funciona como se fosse um alto-falante, com impedância de 4 ou 8 ohms sendo que na saída, temos uma impedância muito maior, onde o sinal de saída é convertido em tensão, mas com baixa corrente, evitando assim as perdas que temos nos longos fios. Os falantes utilizados em cada uma das caixas ambientes, são de 4 ou 8 ohms e considerando agora que estão recebendo um sinal de média impedância, proveniente do amplificador, necessitaremos de um redutor de impedância, que nada mais é do que um

transformador de pequenas dimensões que vai transformar o sinal da linha de 70V ou 210V em um sinal de impedância de 4 ou 8 ohms.

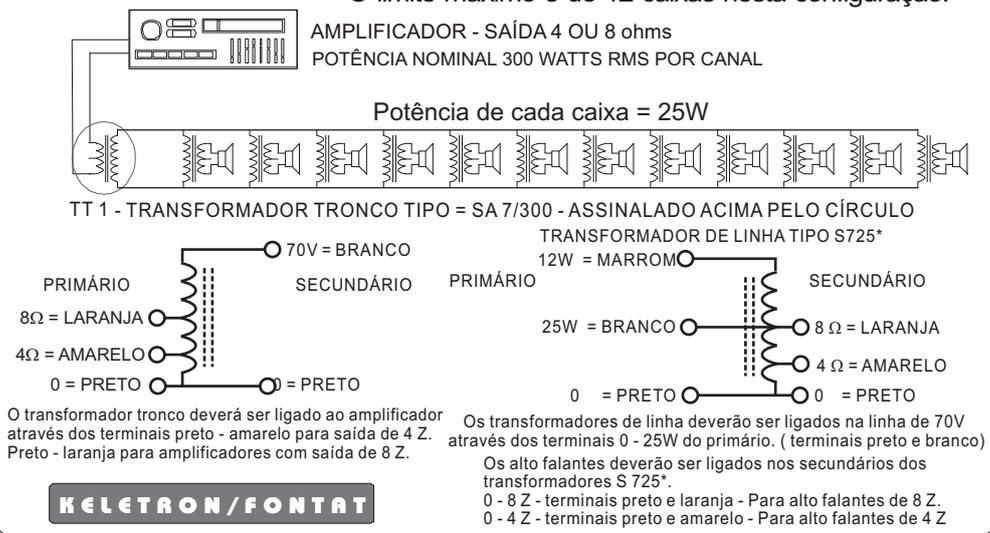
A figura 34, nos dá a noção exata de como o sistema é simples e eficaz. No exemplo de instalação vemos 12 caixas de no máximo 25W, possuindo cada uma um pequeno transformador casador de impedância, sendo todas ligadas em paralelo e estas ligadas à saída do transformador elevador de impedância, que por sua vez vai ligado ao amplificador de potência. Cada uma das caixas posicionadas no ambiente, poderá receber potenciômetros de fio para ajuste da potência individual

SISTEMA LINHA DE 70V - EXEMPLO DE UMA INSTALAÇÃO:

figura 34

AMPLIFICADOR DE 300 WATTS RMS POR CANAL E 12 CAIXAS DE SOM

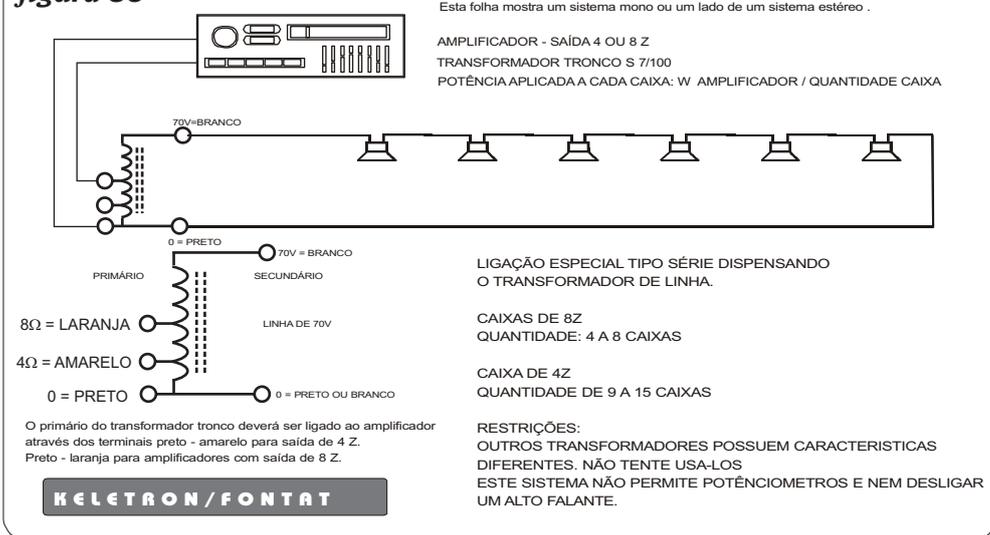
O limite máximo é de 12 caixas nesta configuração.



TRANSFORMADOR S 7/100 - EXEMPLO DE UMA INSTALAÇÃO:

AMPLIFICADOR DE 100 WATTS RMS POR CANAL E 6 CAIXAS DE SOM

figura 35



que é entregue a cada um dos falantes. Já na figura 35, vemos uma outra forma de ligar os falantes do ambiente - em série - sem a utilização dos transformadores abaixadores de impedância. É um sistema que apesar de feita mais econômica, introduz **figura 36**

TABELA PRÁTICA KELETRON/FONTAT				
AMPLIFICADOR WATT/CANAL RMS	ALTO FALANTES QUANTIDADE MÁXIMA	TRANSFORMADOR TRONCO	TRANSFORMADOR LINHA	DERIVAÇÃO POTENCIA W RMS
50	2	S 750*	S 725*	25W
50	4	S 750*	S 725*	12W
50	5	S 750*	S 7/10	10W
50	10	S 750*	S 7/10	5W
50	10	S 750*	S 7/5	5W
100	20	S 7/100	S 7/5	2,5W
100	4	S 7/100	S 725*	25W
100	8	S 7/100	S 725*	12W
100	10	S 7/100	S 7/10	10W
100	20	S 7/100	S 7/10	5W
100	20	S 7/100	S 7/5	5W
100	40	S 7/100	S 7/5	2,5W
180	7	SA 7/180	S 725*	25W
180	15	SA 7/180	S 725*	12W
180	18	SA 7/180	S 7/10	10W
180	36	SA 7/180	S 7/10	5W
180	36	SA 7/180	S 7/5	5W
300	12	SA 7/300	S 725*	25W
300	15	SA 7/300	S 225*	12W
300	30	SA 7/300	S 7/10	10W
300	60	SA 7/300	S 7/10	5W
300	60	SA 7/300	S 7/5	5W
300	120	SA 7/300	S 7/5	2,5W

problemas maiores. Caso um dos falantes tenha sua bobina interrompida, nenhum dos falantes do sistema funcionará. Também não há a possibilidade de fazer ajuste de volume individual, utilizando potenciômetros. Apresentamos na figura 36, uma tabela para montagem de sistemas de som ambiente (70V) com os transformadores Keletron-Fontat. Esta tabela é fundamental para um dimensionamento básico desses sistemas de som.

A linha de 210V

Todas as considerações feitas para a linha de 70V são as mesmas para a linha de 210V. Apesar disto, esta linha de saída de maior impedância permite que sejam feitas ligações superiores a 100m, sem gerar grandes perdas. Na figura 37, mostramos um sistema de som utilizando amplificador de 250Wrms, acionando 25 caixas de 10W cada. Para isto utilizamos um transformador tronco S 2/250 e 25 caixas com transformadores S 2/10 com 10W cada. Na figura 38, mostramos a tabela completa para sistemas de som ambiente, sendo que podemos utilizar uma potência de até 1200W, com até 240 caixas com potência de 10W cada (fonte: Keletron-Fontat).

Regras básicas (Keletron-Fontat)

- 1 - o transformador tronco (utilizado na saída do amplificador convencional) deverá ter potência igual ou superior à do amplificador (por canal) em RMS. Use sempre as potências RMS e não PMPO, pois não existe uma conversão oficial de um padrão para outro. As diferenças poderão chegar de 4 a 40 vezes.
- 2 - A soma das potências drenadas pelos transformadores de linha não deverá superar mais de

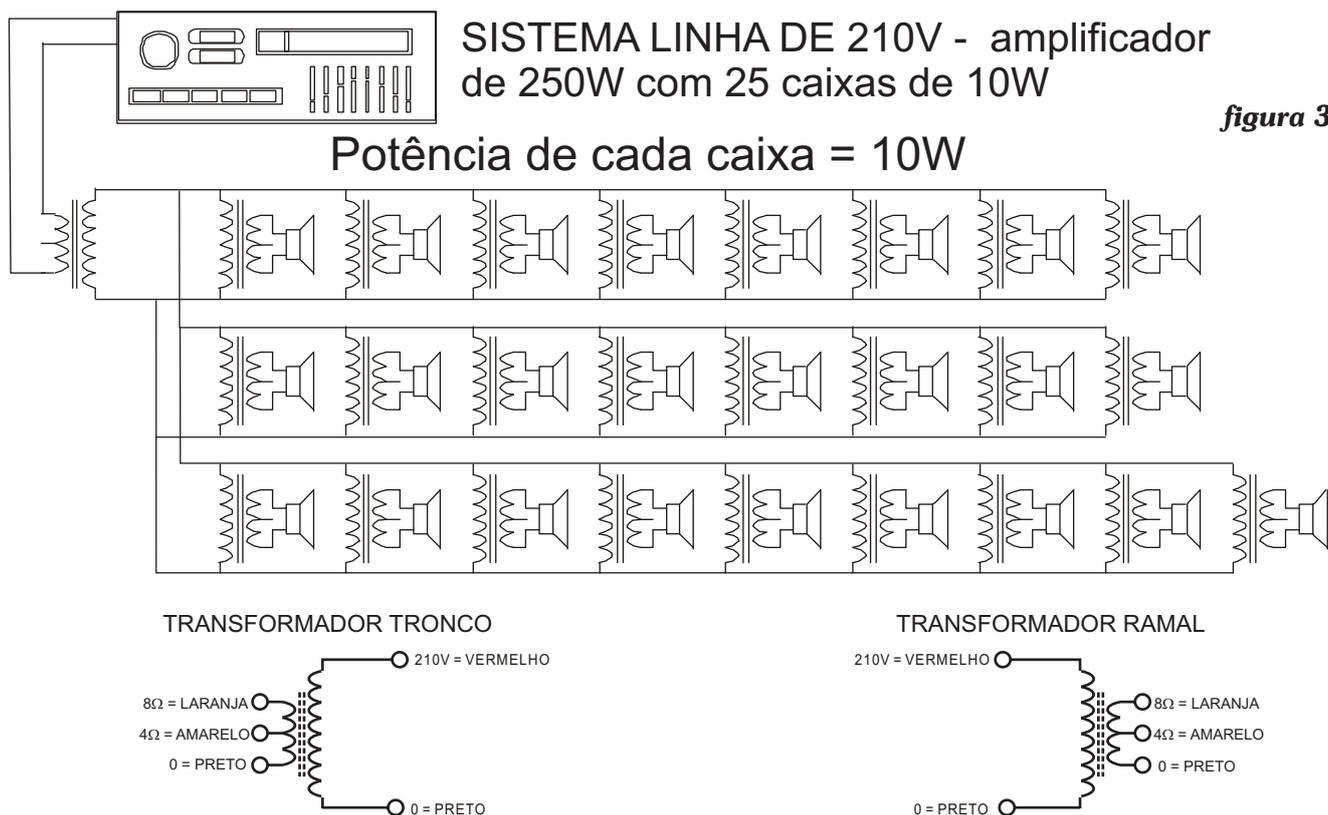


figura 37

20% do amplificador (por canal) em RMS.

3 - Alguns transformadores de linha de 70 volts possuem derivações que rebaixam pela metade a potência drenada, permitindo dobrar a quantidade de alto-falantes. Exemplo: em um amplificador de 100 W pode se ligar até 10 alto-falantes através do transformador S 7/100 drenando cada um deles 10 W. Se preferir até 20 alto-falantes usar a derivação de 5 W.

4 - Transformadores de potências diferentes poderão ser ligados na mesma linha, desde que a soma dessas potências não ultrapasse a do amplificador. A potência assinalada nos terminais é o que o transformador transfere ao alto-falante

5 - A linha de 70 volts deverá ser bem isolada, pois poderá ocasionar choques, se tocada sem a devida isolação.

6 - A instalação de sistemas de som ambiente, usando transformadores devem ser precedidos de uma criteriosa avaliação efetuado por técnicos com experiência em cálculos, projetos e escolha correta de materiais para linhas de som. Para cada caso deve ser efetuados cálculos separadamente.

7 - A linha de 70 V é destinado a pequenas e médias distâncias. Não é aconselhável seu uso em fiações superiores a 100 m. Para distâncias maiores opte pela linha de 210 V.

8 - Atualmente os transformadores de linha de 70 volts são fabricados apenas para reposições ou ampliações e sistemas antigos já existentes. Para novos projetos opte pelo atual sistema de linha de som de 210 V de custo semelhante e de maior alcance.

figura 38

TABELA PRÁTICA - 210V KELETRON / FONTAT				
AMPLIFICADOR WATT/CANAL RMS	ALTO-FALANTES QUANTIDADE MÁXIMA	TRANSFORMADOR TRONCO	TRANSFORMADOR LINHA	DERIVAÇÃO POTÊNCIA W RMS
50	5	S 2/50	S 2/10	10W
50	10	S 2/50	S 2/5	5W
100	4	S 2/100	S 2/25	25W
100	6	S 2/100	S 2/15	15W
100	10	S 2/100	S 2/10	10W
100	20	S 2/100	S 2/5	5W
250	5	S 2/250	S 2/50	50W
250	10	S 2/250	S 2/25	25W
250	16	S 2/250	S 2/15	15W
250	25	S 2/250	S 2/10	10W
250	50	S 2/250	S 2/5	5W
600	12	S 2/600	S 2/50	50W
600	24	S 2/600	S 2/25	25W
600	40	S 2/600	S 2/15	15W
600	60	S 2/600	S 2/10	10W
600	120	S 2/600	S 2/5	5W
1200	24	S 21KV2	S 2/50	50W
1200	48	S 21KV2	S 2/25	25W
1200	80	S 21KV2	S 2/15	15W
1200	120	S 21KV2	S 2/10	10W
1200	240	S 21KV2	S 2/5	10W

PROCESSAMENTO DE ÁUDIO DIGITAL

Muitos equipamentos, como DVD, microsystems digitais e amplificadores, trabalham com processamento de áudio digital. Estes equipamentos utilizam-se de codificação MPEG, para obter um sinal de áudio digital de grande qualidade e com até oito canais.

Na figura 39, podemos ver o sinal de áudio digital, chegando a um equipamento que vai processá-lo, até que alcance níveis para excitação do alto-falante.

Comparando o funcionamento de uma amplificador analógico, podemos dizer que o áudio digital passará pelo seu processamento, até que possa ser convertido novamente para analógico (DAC: Digital Analog-Converter). Após o sinal de áudio passar pelo amplificador de potência analógico, excitará o alto-falante ou caixas acústicas.

O processamento DDX (Direct Digital Amplification), ou Amplificação Digital Direta, trabalha com o mesmo áudio digital, que entrando no processador irá gerar os diversos canais ainda em forma digital. Após, entrará no dispositivo de potência DDX (em duas vias), indo a um filtro de alta frequência, podendo assim, excitar o alto-falante.

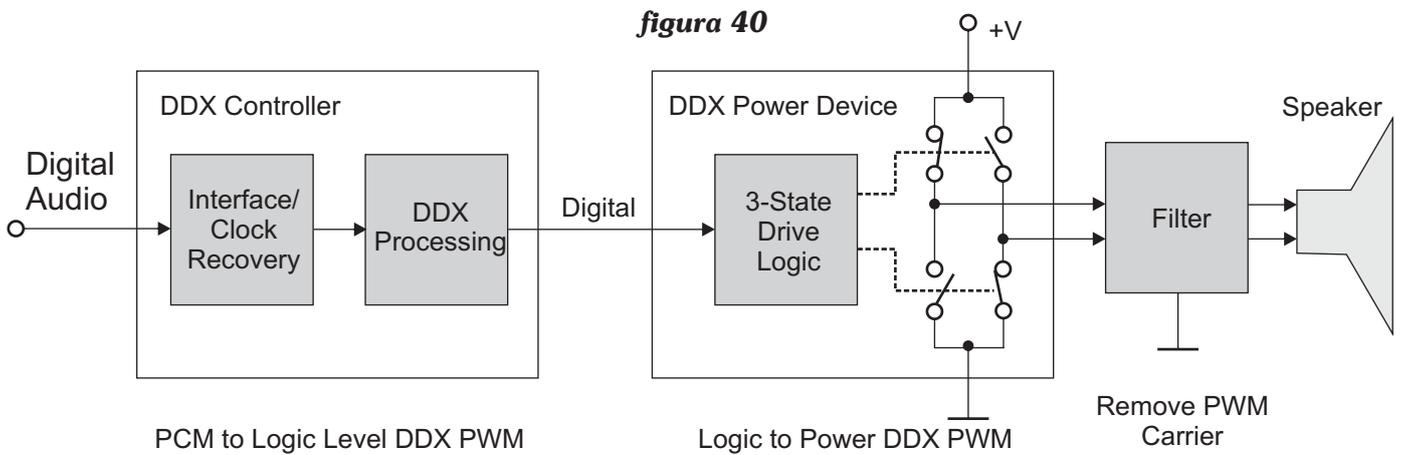
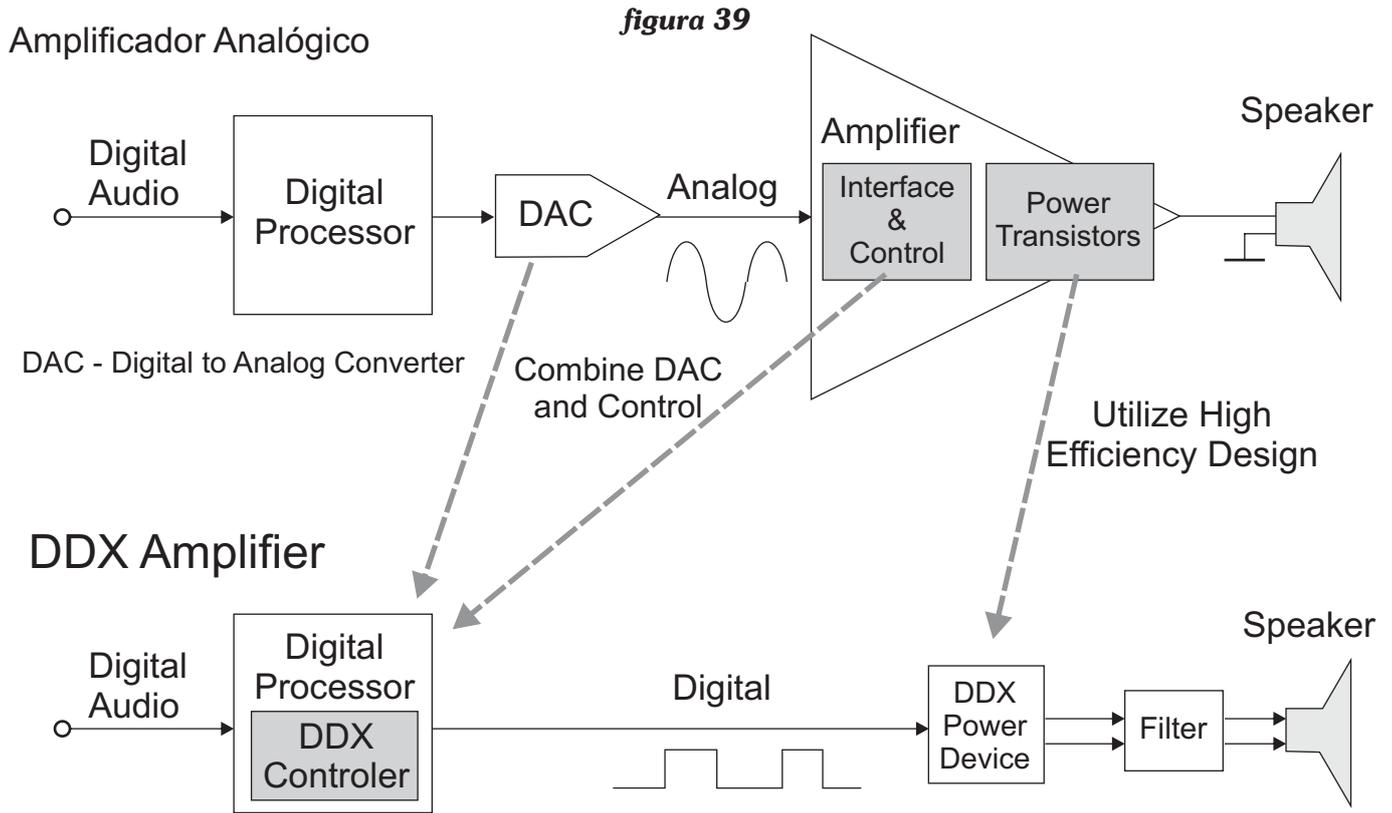
Anteriormente, quando falamos do amplificador classe D, notamos que seu objetivo era melhorar a eficiência da saída de som (em termos de dissipação de calor), mas o sinal em sua entrada era o analógico convencional. No

sistema DDX, todo o processamento é completamente digital, até chegar ao alto-falante.

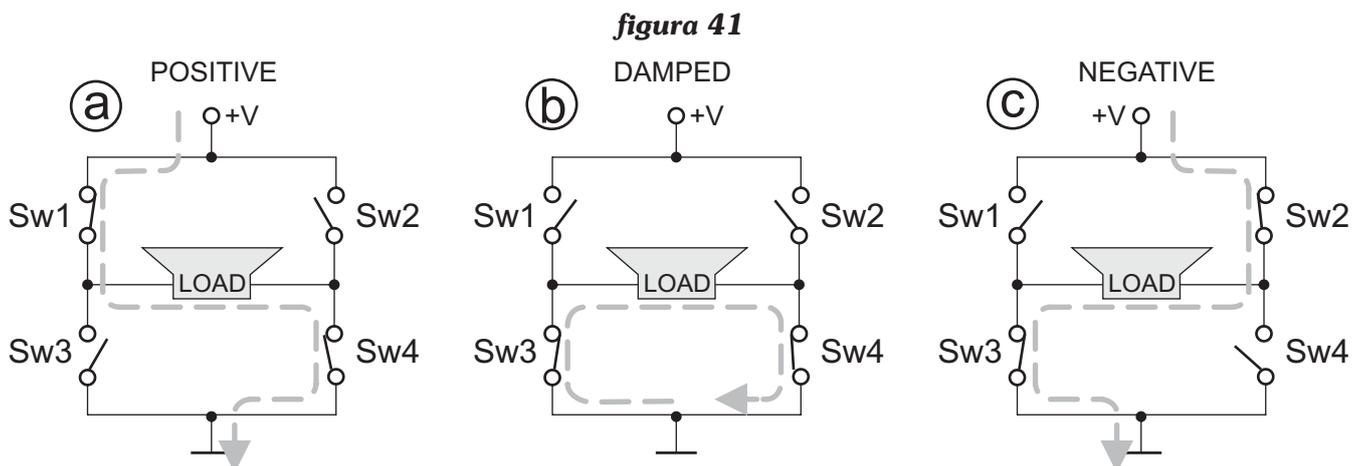
Na figura 40, temos um pouco mais de detalhes sobre o sinal de áudio digital entrando no DDX controller. Como o sinal vem na codificação PCM (modulação por códigos de pulsos), este código, trará informações de comando, bem como, os diversos sinais de áudio que foram gerados pela fonte de sinais. Após a recomposição dos diversos sinais de áudio (sinal ainda digital), deverão criar sinais variando em PWM (modulação por largura de pulso), que entrarão no dispositivo de potência DDX, excitando os diversos transistores FET's da saída de som. Como na saída do circuito temos uma frequência de chaveamento muito alta, deveremos filtrá-las para aí sim, excitar o alto-falante.

Para entender o funcionamento dessa saída de som, que é muito interessante e eficaz, vamos observar a figura 41. Quando temos o semiciclo positivo do sinal de áudio, teremos a chave SW1 e SW4 fechadas (figura 90a), permitindo uma circulação de corrente pelo alto-falante. Estas duas chaves, abrirão e fecharão muito rapidamente, ficando mais tempo fechadas, quando houver maior amplitude do sinal de áudio, e menos tempo fechadas, à medida que o sinal de áudio diminui de amplitude.

Quando o sinal de áudio chegar praticamente ao nível



PCM = Pulse Code Modulation (Modulação por Código de Pulsos)
 PWM = Pulse Width Modulation (Modulação por Largura de Pulsos)



Binário ou classe D

DDX Damped Ternary

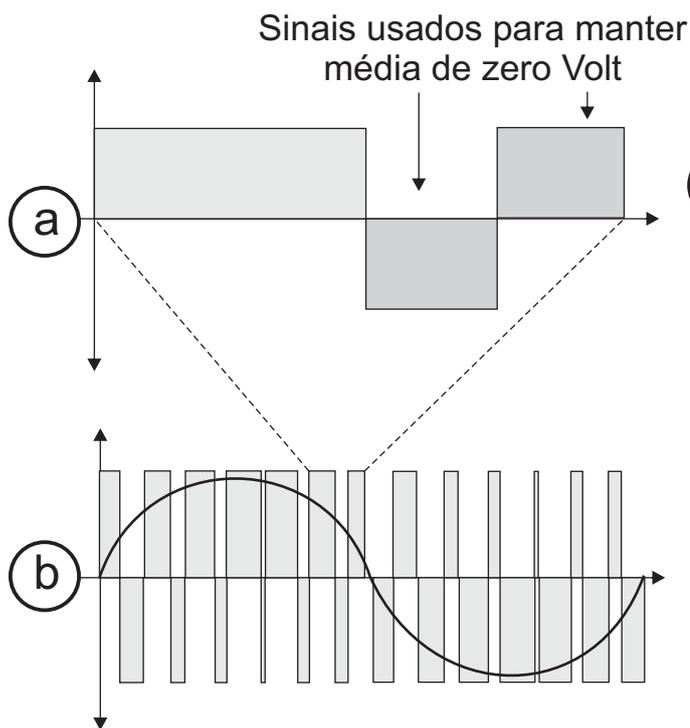


figura 42

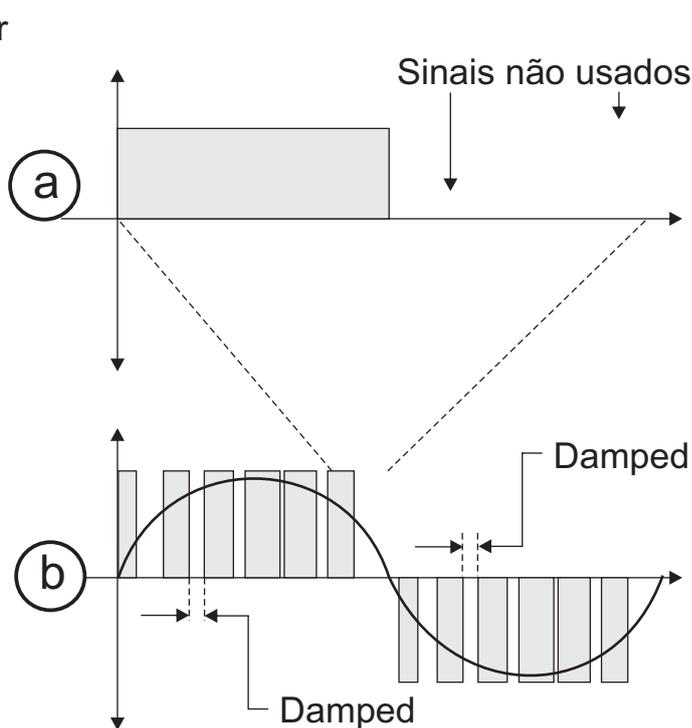


figura 43

zero, essa saída de som ficará como mostrado na figura 41b, ou seja, com as chaves SW1 e SW2, abertas enquanto as chaves SW3 e SW4, ficarão fechadas. Com isto, mantemos a carga (alto-falante), sem corrente circulante e sem incidência de força contra eletromotriz induzida.

Quando começar o novo ciclo do sinal de áudio, ou seja, o semiciclo negativo, haverá agora o chaveamento em alta frequência das chaves SW2 e SW3, que se manterão mais tempo fechadas, à medida que o sinal de áudio alcança maior amplitude negativa.

Na figura 42 e 43, podemos ver a comparação entre o trabalho de saída de potência de um amplificador classe D (figura 42) e um amplificador DDX (figura 43). Em um amplificador classe D convencional, a saída de som fica chaveando constantemente entre a alimentação de +B e -B, como mostramos na figura 42a e 42b, onde destacamos 3 semiciclos (figura 42a), muito próximos ao nível zero do sinal de áudio.

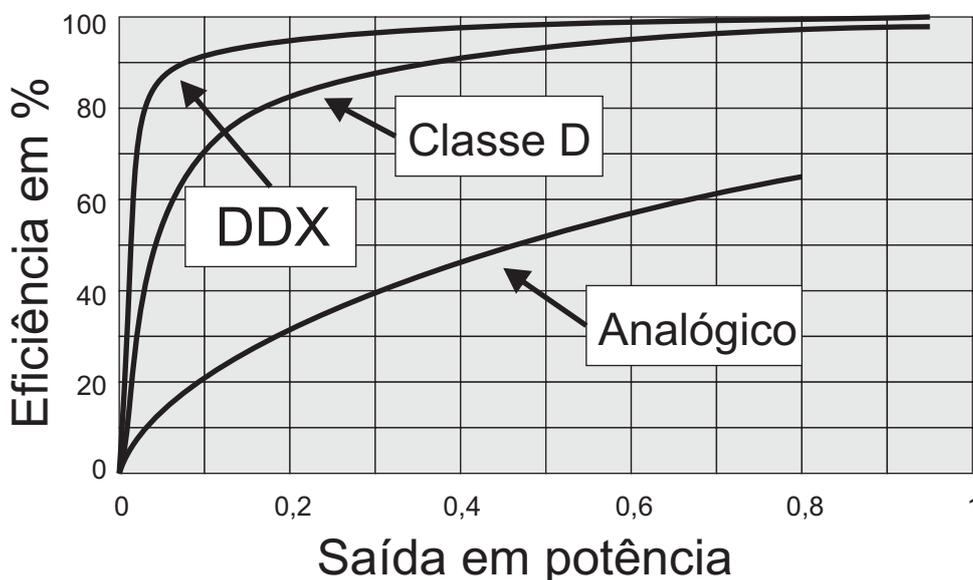
Já figura 43, podemos ver que no mesmo período de tempo, haverá a excitação do amplificador a nível positivo, e no momento em que o sinal de áudio estaria se aproximando do zero volt, não seriam utilizados os chaveamentos,

tanto positivos como negativos, que são comuns no amplificador classe D convencional. Como em um amplificador DDX não temos a conexão ao +B e -B simultaneamente, haverá um menor consumo, como também a redução nos valores dos componentes utilizados no filtro de alta frequência.

Notamos na figura 43b, que existe uma indicação "damped" que significa "conectado", ou seja, apesar da chave que liga o alto-falante ao nível positivo, naquele instante estar aberta, o alto-falante será conectado ao nível negativo da tensão de alimentação, tanto de um

figura 44

Vantagens da Eficiência do DDX



lado como de outro.

A figura 44, mostra um gráfico comparativo entre os amplificadores de potência analógico, classe D e DDX. Vemos que em baixa potência, o amplificador DDX chega a apresentar uma eficiência maior que 90%, enquanto que o amplificador classe D, se mantém em uma faixa de 80% de eficiência; os amplificadores analógicos apresentam somente 40% de eficiência nas baixas potências.

Na figura 45, vemos um amplificador DDX, com saída em ponte, onde podemos notar que não há realimentação negativa, como existe para o amplificador classe D. Isto se deve ao fato de que, com o sinal de áudio zerado, não há de variações no PWM de saída com semiciclo idêntico.

Montagens e circuitos integrados utilizados na configuração DDX, podem ser encontrados no site www.st.com

figura 45

